

**MEVCUT YIĞMA YAPILARIN DEPREM
YÜKLERİNE KARŞI GÜÇLENDİRİLMESİNDE
PÜSKÜRTME BETON KULLANIMI**

Hilal ALEMDAROĞLU ORULKAYA

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zekeriya AYDIN

2019

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MEVCUT YIĞMA YAPILARIN DEPREM YÜKLERİNE KARŞI
GÜÇLENDİRİLMESİNDE PÜSKÜRTME BETON KULLANIMI**

Hilal ALEMDAROĞLU ORULKAYA

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Doç. Dr. Zekeriya AYDIN

TEKİRDAĞ-2019

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. Zekeriya AYDIN danışmanlığında, Hilal ALEMDAROĞLU ORULKAYA tarafından hazırlanan “MEVCUT YIĞMA YAPILARIN DEPREM YÜKLERİNE KARŞI GÜÇLENDİRİLMESİNDE PÜSKÜRTME BETON KULLANIMI” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Doç.Dr. Serkan BEKİROĞLU *İmza :*

Üye : Doç.Dr. Zekeriya AYDIN *İmza :*

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Aydın ÖZMUTLU *İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MEVCUT YIĞMA YAPILARIN DEPREM YÜKLERİNE KARŞI GÜÇLENDİRİLMESİNDE PÜSKÜRTME BETON KULLANIMI

Hilal ALEMDAROĞLU ORULKAYA

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zekeriya AYDIN

Bu çalışmada yığma yapıların güçlendirilmesi püskürtme beton kullanımı tekniği ile araştırılmıştır. İlk olarak yığma yapı tanımı, yığma yapıların neden tercih edildiği ve neden hala yapımına devam edildiği açıklanmıştır. Yığma yapılarda kullanılan güçlendirme türlerine göre yapılan geniş bir literatür özeti verilmiş, akabinde yığma yapıların yatay deprem kuvvetleri altındaki davranışları ve oluşan hasar türlerinden bahsedilmiştir. Yığma yapılarda kullanılan malzemeler ve onların mekanik özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmanın esas kısmını oluşturan bölümde örnek olarak bir yığma yapı seçilmiş deprem kuvvetleri altındaki performansları belirlenmiştir. Yapı analiz programı olarak SAP2000 programı kullanılmıştır. Programda yığma duvarlar "shell" elemanlar olarak modellenmiştir. Pencere ve kapı boşlukları oluşturulan "shell" elemanlar içerisinde tanımlanmıştır. Yığma duvar ölü yüklerine ilaveten, yapıdaki diğer sabit yükleri tanımlamak için ek ölü yükler ve hareketli yükler tanımlanmış, bunlar döşemelere etki ettirilmiştir. Deprem analizi olarak davranış spektrumu kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmede, yapının yeterli deprem dayanımı olmadığı anlaşılmıştır. Bundan sonra yapı için püskürtme beton uygulaması ile beş farklı güçlendirme çözümü üretilmiş ve bu çözümlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Güçlendirme sonrası yapılan değerlendirmeler sonucunda yapının, bazı çözümlerde yeterli güvenliğe ulaştığı görülürken bazı çözümlerde bu sağlanamamıştır.

Anahtar kelimeler: Yığma yapı, güçlendirme, püskürtme beton

2019, 115 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

THE USE OF SHOTCRETE METHOD IN STRENGTHENING OF THE EXISTING MASONRY STRUCTURES AGAINST EARTHQUAKE FORCES

Hilal ALEMDAROĞLU ORULKAYA

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zekeriya AYDIN

In this study, the strengthening of masonry structures is examined by using the shotcrete technique. First of all, the definition of masonry buildings, the reasons for why masonry structures are preferred and the reasons for why masonry construction is still continued are given. A broad literature survey according to the strengthening techniques utilized in masonry structures is supplied. Then, the response of masonry structure under horizontal earthquake loading is explained and the possible damage scenarios are discussed. The construction materials employed in masonry structures and their mechanical properties are defined. In the section forming the basis of the study, an example masonry structure is selected and its behavior under earthquake loads is determined. SAP2000 commercial software is utilized as the structural analysis program. The load carrying masonry walls are modelled as shell elements in the program. The openings due to windows and doors are defined at necessary locations of the shell elements. In addition to dead loads of wall elements, other superimposed dead loads and live loads are described and imposed on the floor slabs. The response spectrum method is used as the earthquake analysis method. After the analyses, it is understood that the selected building does not have enough capacity against to earthquake forces. After that, five different solution methods were created then those methods were compared. The analyses made after the strengthening procedure showed that some of the solution regarded necessary lateral capacity while some of them are not.

Keywords: Masonry structure, strengthening, shotcrete

2019, 115 pages

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER	III
ÇİZELGE DİZİNİ	V
ŞEKİL DİZİNİ	VII
ÖNSÖZ	IX
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	4
2.1. Yığma Yapıların Nümerik Simülasyonu ile İlgili Çalışmalar	4
2.2. Yığma Yapı Sistem Güçlendirmesi	6
2.3. Yığma Yapıların FRP ile Güçlendirmesi.....	8
2.4. Yığma Yapıların Çelik Elemanlar ile Güçlendirmesi.....	10
2.5. Yığma Yapıların Betonarme Elemanlar ile Güçlendirmesi.....	11
2.6. Yığma Yapıların İlgili Teorik Çalışmalar.....	12
2.7. Yığma Yapıların Püskürtme Beton ile Güçlendirmesi.....	14
2.8. Literatür Araştırma Değerlendirmesi.....	15
3. YIĞMA YAPILAR	16
3.1. Yığma Yapıların Genel Özellikleri ve Sınıflandırılması.....	16
3.2. Yığma Yapılara İlişkin Yönetmelikte Yer Alan Bilgilerin Özeti (DBYBHY 2007)	17
3.2.1. Kat adedi.....	18
3.2.2. Kat yükseklikleri	18
3.2.3. Taşıyıcı duvar kalınlıkları.....	18
3.2.4. Taşıyıcı duvarlarda bırakılacak boşluklarla ilgili sınırlamalar	19
3.2.5. Lentolarla ilgili kurallar.....	20
3.2.6. Yatay hatıllarla ilgili kurallar	21
3.2.7. Düşey hatıllarla ilgili kurallar	21
3.2.8. Döşemeler.....	21
3.3. Yığma Yapı Duvarlarında Kullanılan Malzemeler	22
3.3.1. Doğal taş.....	22
3.3.2. Tuğla.....	23
3.3.3. Kerpiç	24
3.3.4. Beton briketler	25
3.3.5. Hafif beton bloklar.....	26
3.3.6. Dolgu duvar harçları.....	26
3.4. Duvar Dayanımı	27
3.4.1. Duvar basınç dayanımı	27
3.4.2. Duvar kayma dayanımı.....	28
3.4.3. Duvar elastisite modülü	29
4. YIĞMA YAPILARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI ve GÜÇLENDİRİLMESİ	30
4.1. Yığma Yapıların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı	30
4.2. Yığma Yapılarda Oluşan Hasar Türleri.....	34
4.3. Yığma Yapıların Güçlendirilmesi	35
4.3.1. Çimento enjeksiyonu ile güçlendirme	36
4.3.2. Çelik elemanlar ile güçlendirme.....	36
4.3.3. Betonarme hatıllar ile güçlendirme	39
4.3.4. Ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirme.....	39

4.3.5. Normal dökme beton ile güçlendirme	39
4.3.6. Kendiliğinden yerleşen beton ile güçlendirme	40
4.3.7. FRP ile güçlendirme	40
4.3.8. Kullanılmış araba lastiği ile güçlendirme	41
4.3.9. Perde duvar ile güçlendirme	41
4.4. Yığma Yapıların Püskürtme Beton ile Güçlendirilmesi.....	42
4.4.1. Uygulama yöntemleri ve teknikleri	42
4.4.2. Püskürtme beton uygulamasında dikkat edilmesi gereken başlıca hususlar	44
4.4.3. Yöntemin diğer yöntemlerle karşılaştırılması	45
4.4.4. Yöntemin üstünlükleri ve sakıncaları	45
5. ÖRNEK BİR YAPININ DEPREM PERFORMANSI ve GÜÇLENDİRİLMESİ	46
5.1. Örnek Bina.....	46
5.1.1. Örnek binanın deprem şartnamesine göre incelenmesi	46
5.1.1.1. Kat adedi ve kat yükseklikleri	49
5.1.1.2. Duvarların planda düzenlenmesi	49
5.1.1.3. Duvar kalınlıkları.....	49
5.1.1.4. Planda duvar uzunluklar	51
5.1.1.5. Taşıyıcı duvar boşlukları	53
5.1.2. Örnek binanın modellenmesi.....	57
5.1.2.1. Yığma yapı malzeme ve kesit tanımlamaları	58
5.1.2.2. Yığma yapıya etkiyen yükler ve kombinasyonları	59
5.1.3. Yapısal analiz sonuçları.....	61
5.1.3.1. Modal analiz sonuçları	61
5.1.3.2. Düşey yük analizi	62
5.1.3.3. Yatay yük analizi	64
5.2. Örnek Binanın Güçlendirilmesi.....	70
5.2.1. Birinci güçlendirme alternatifi: Tüm duvarların içten ve dıştan 5 cm püskürtme beton İle güçlendirilmesi	71
5.2.2. İkinci güçlendirme alternatifi: Tüm duvarların 5 cm püskürtme beton ile tek taraflı olarak güçlendirilmesi	78
5.2.3. Üçüncü güçlendirme alternatifi: Sadece dayanımı yetersiz duvarların içten ve dıştan 5 cm püskürtme beton ile güçlendirilmesi.....	84
5.2.4. Dördüncü güçlendirme alternatifi: Tüm iç duvarların her iki taraftan 5 cm püskürtme beton ile güçlendirilmesi	92
5.2.5. Beşinci güçlendirme alternatifi: Tüm dış duvarların içten ve dıştan 5 cm püskürtme beton ile güçlendirilmesi	99
6. SONUÇLAR.....	109
7. KAYNAKLAR.....	111
ÖZGEÇMİŞ	115

ÇİZELGE DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 İzin verilen en çok kat sayısı	18
Çizelge 3.2. Taşıyıcı duvarların en küçük kalınlıkları.....	19
Çizelge 3.3. Doğal yapı taşları ve ortalama mekanik özellikleri.....	23
Çizelge 3.4. Duvarlarda kesme dayanımı	29
Çizelge 5.1. Toplam duvar uzunlukları ve kat alanlarına oranları	52
Çizelge 5.2. Yığma yapının ilk 10 periyodu	61
Çizelge 5.3. Modal analizde yığma yapının x ve y doğrultuları için kütle katılım oranları	62
Çizelge 5.4. Yapı kat ağırlıkları ve toplam yapı ağırlığı	62
Çizelge 5.5 Örnek binaya ait zemin kat duvarlarının mevcut durum için değerlendirmesi	69
Çizelge 5.6. Örnek binaya ait birinci kat duvarlarının mevcut durum için değerlendirmesi ...	70
Çizelge 5.7. Birinci güçlendirme alternatifi için yapı kat ağırlıkları ve toplam yapı ağırlığı ..	74
Çizelge 5.8. Birinci güçlendirme alternatifi için kompozit malzeme birim hacim ağırlıkları ve elastisite modülleri	75
Çizelge 5.9. Birinci güçlendirme alternatifi için elde edilen ilk 10 periyot	76
Çizelge 5.10. Birinci güçlendirme alternatifi için zemin kat duvarlarının değerlendirilmesi ..	77
Çizelge 5.11. Birinci güçlendirme alternatifi için birinci kat duvarlarının değerlendirilmesi .	78
Çizelge 5.12. İkinci güçlendirme alternatifi için yapı kat aralıkları ve toplam yapı ağırlığı....	81
Çizelge 5.13. İkinci güçlendirme alternatifi için kompozit malzeme birim hacim ağırlıkları ve elastisite modülleri	81
Çizelge 5.14. İkinci güçlendirme alternatifi için elde edilen ilk 10 periyot	82
Çizelge 5.15 İkinci güçlendirme alternatifi için zemin kat duvarlarının değerlendirilmesi.....	83
Çizelge 5.16. İkinci güçlendirme alternatifi için birinci kat duvarlarının değerlendirilmesi ...	84
Çizelge 5.17. Zemin kat kesme dayanımı yetersiz olan duvarlar için kompozit malzeme özellikleri.....	88
Çizelge 5.18. Birinci kat kesme dayanımı yetersiz olan duvarlar için kompozit malzeme özellikleri	88
Çizelge 5.19. Üçüncü güçlendirme alternatifi için zemin kat güçlendirilen duvarlara ait normal gerilme ve kayma emniyet gerilmesi	90
Çizelge 5.20. Üçüncü güçlendirme alternatifi için birinci kat güçlendirilen duvarlara ait normal gerilme ve kayma emniyet gerilmesi	90
Çizelge 5.21. Üçüncü güçlendirme alternatifi için zemin kat duvarlarının değerlendirilmesi .	91
Çizelge 5.22. Üçüncü güçlendirme alternatifi için birinci kat duvarlarının değerlendirilmesi	92
Çizelge 5.23. Zemin katta güçlendirilen iç duvarların kompozit malzeme özellikleri.....	95
Çizelge 5.24. Birinci katta güçlendirilen iç duvarların kompozit malzeme özellikleri	95
Çizelge 5.25. Dördüncü güçlendirme alternatifi için zemin kat güçlendirilen duvarlara ait normal gerilme ve kayma emniyet gerilmesi	97
Çizelge 5.26. Dördüncü güçlendirme alternatifi için birinci kat güçlendirilen duvarlara ait normal gerilme ve kayma emniyet gerilmesi	97
Çizelge 5.27. Dördüncü güçlendirme alternatifi için zemin kat duvarlarının değerlendirilmesi	98
Çizelge 5.28. Dördüncü güçlendirme alternatifi için birinci kat duvarlarının değerlendirilmesi	99
Çizelge 5.29. Zemin katta güçlendirilen dış duvarların kompozit malzeme özellikleri.....	102
Çizelge 5.30. Birinci katta güçlendirilen dış duvarların kompozit malzeme özellikleri	103
Çizelge 5.31. Beşinci güçlendirme alternatifi için zemin kat güçlendirilen duvarlara ait normal gerilme ve kayma emniyet gerilmesi	104

Çizelge 5.32. Beşinci güçlendirme alternatifi için birinci kat güçlendirilen duvarlara ait normal gerilme ve kayma emniyet gerilmesi	105
Çizelge 5.33. Beşinci güçlendirme alternatifi için zemin kat duvarlarının değerlendirilmesi..	107
Çizelge 5.34. Beşinci güçlendirme alternatifi için birinci kat duvarlarının değerlendirilmesi .	108

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Doğal harman tuğlası	23
Şekil 3.2. 190 x 190 x 85 mm boyutlarına sahip fabrika tuğlası	24
Şekil 3.3. Kerpiç malzemesi	25
Şekil 3.4. Beton briketler	25
Şekil 3.5. Hafif beton bloklar	26
Şekil 4.1. Yığma yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışlarının şematik açıklanması	31
Şekil 4.2. Deprem kuvvetlerinin aktarılması	32
Şekil 4.3. Deprem kuvvetleri altında yapı köşelerinin davranışı.....	33
Şekil 4.4. Taşıyıcı duvarlarda göçme türleri: a) Yatay ötelenme göçmesi, b) eğilme göçmesi, c) kesme göçmesi	34
Şekil 4.5. Eğik çekme çatlakları için yerleştirilen donatılar.....	37
Şekil 4.6. Gergi çubuklar ve çelik levhalar ile duvarın sıkıştırılması.....	37
Şekil 4.7. Boşluklar arası hasarlı duvarın çelik levha ve köşebentlerle güçlendirilmesi	38
Şekil 4.8. Taşıyıcı yığma duvarların gergi çubukları ile güçlendirmesi.....	38
Şekil 4.9. Tek taraflı püskürtme beton uygulaması	43
Şekil 4.10. İki taraflı püskürtme beton uygulaması.....	44
Şekil 5.1. Zemin kat planı.....	47
Şekil 5.2. Birinci kat planı	48
Şekil 5.3. Zemin kat duvarları	50
Şekil 5.4. Birinci kat duvarları	50
Şekil 5.5. Zemin katta bulunan ve duvar kalınlığı kıstaslarına uymayan duvarlar	51
Şekil 5.6. Gösterilen deprem doğrultusunda toplam duvar uzunluğu	52
Şekil 5.7. Duvarlarda bulunan boşluklar	53
Şekil 5.8 Yapı köşelerinde duvar uzunluk kuralına uymayan duvarlar, zemin kat.....	54
Şekil 5.9. Yapı köşelerinde duvar uzunluk kuralına uymayan duvarlar, birinci kat	54
Şekil 5.10. Kapı/pencere boşlukları arasında kalan duvar uzunluk kuralına uymayan duvarlar, zemin kat.....	55
Şekil 5.11. Kapı/pencere boşlukları arasında kalan duvar uzunluk kuralına uymayan duvarlar, birinci kat.....	55
Şekil 5.12. Kesim noktasına en yakın pencere/kapı boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak duvar uzunluğu kuralına uymayan duvarlar, zemin kat.....	56
Şekil 5.13. Kesim noktasına en yakın pencere/kapı boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak duvar uzunluğu kuralına uymayan duvarlar, birinci kat	56
Şekil 5.14. Yığma yapı x ve y aks sistemi.....	57
Şekil 5.15. Yığma yapının sonlu elemanlar modeli	58
Şekil 5.16. SAP2000 programı kullanılarak yığma yapıya uygulanan ivme spektrumu.....	60
Şekil 5.17. SAP2000 "shell" eleman lokal eksenleri ve gerilme doğrultuları.....	63
Şekil 5.18. Yapının geneli için G+Q yüklemesi altında S22 gerilmeleri (MPa).....	63
Şekil 5.19. "1" aksı için G+Q yüklemesi altında S22 gerilmeleri (MPa).....	64
Şekil 5.20. G+Q+EX+0,3EY yüklemesi altında maksimum S12 gerilmeleri (MPa).....	65
Şekil 5.21. G+Q+EX+0,3EY yüklemesi altında "1" aksı boyunca S12 gerilmeleri (kPa)	65
Şekil 5.22. G+Q+EX+0,3EY yüklemesi altında "A" aksı boyunca S12 gerilmeleri (kPa)	66
Şekil 5.23. Zemin kat duvar isimleri	67
Şekil 5.24. Birinci kat duvar isimleri.....	68
Şekil 5.25. Birinci güçlendirme alternatifi için zemin kat planı.....	72
Şekil 5.26 Birinci güçlendirme alternatifi için birinci kat planı	73
Şekil 5.27. İkinci güçlendirme alternatifi için zemin kat planı	79

Şekil 5.28. İkinci güçlendirme alternatifi için birinci kat planı.....	80
Şekil 5.29. Üçüncü güçlendirme alternatifi için zemin kat planı	86
Şekil 5.30. Üçüncü güçlendirme alternatifi için birinci kat planı.....	87
Şekil 5.31. Mevcut yapıda sadece zayıf olan duvarların güçlendirilmesi ile oluşan model.....	89
Şekil 5.32. Dördüncü güçlendirme alternatifi için zemin kat planı.....	93
Şekil 5.33. Dördüncü güçlendirme alternatifi için birinci kat planı	94
Şekil 5.34. Mevcut yapıda sadece iç duvarların hem içten hemde dıştan 5cm püskürtme beton ile güçlendirilmesi sonucu oluşan model.....	96
Şekil 5.35. Beşinci güçlendirme alternatifi için zemin kat planı.....	100
Şekil 5.36. Beşinci güçlendirme alternatifi için birinci kat planı	101
Şekil 5.37. Mevcut yapıda sadece dış duvarların güçlendirilmesi ile oluşan zemin kat modeli.....	106
Şekil 5.38. Mevcut yapıda sadece dış duvarların güçlendirilmesi ile oluşan birinci kat modeli.....	106

ÖNSÖZ

Yüksek Lisansa başlamamda ve bende dahil tüm çocuklarımı eğitim konusunda bir yukarıya taşımak için ellerinden gelen tüm maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok sevdiğim annem ve babam Gönül – Sedat ALEMDAROĞLU ‘na sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek Lisansımda yanımda olarak manevi desteğini her zaman hissettiğim, Uykusuz gecelerimde kızımıza hem annelik hemde babalık yapan sevgili eşim Rıza ORULKAYA 'ya tüm kalbimle teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince benden bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, eğitimim için elinden gelen emeği harcayan, hem akademisyenliğini hem de insani yanını örnek aldığım, saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Zekeriya AYDIN’a sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunmaktan mutluluk duyarım.

Bana tez konusunda bilgi ve deneyimleriyle yol gösteren, inşaat tecrübesi ile yardımını ve emeğini esirgemeyen sevgili aile dostumuz Yüksek İnşaat Mühendisi Avukat Hüseyin IŞIK’a tüm saygılarımla teşekkürü borç bilirim.

Mayıs 2019

Hilal ALEMDAROĞLU ORULKAYA

İnşaat Mühendisi

1. GİRİŞ

İnsanoğlu var olduğu andan günümüze kadar yaşamak için yapılar, ırmakları geçmek için köprüler ve kemerler, suları toplamak için sarnıçlar, suları iletmek için su kanalları inşa etmiştir. İnsanoğlu bu yapıları inşa ederken çeşitli malzemeler, yapım yöntemleri ve zamanın teknolojisini kullanmıştır. Günümüzde inşa edilen bina türü yapılar kullanılan malzemenin çeşidine göre genel itibari ile betonarme, çelik, ahşap ve yığma olarak sınıflandırılabilir. Günümüzde her ne kadar betonarme ve çelik yapılar daha yaygın yapım sınıfları olsa da, ahşap ve yığma yapılar da hala inşa edilmektedir. 2005 yılındaki verilere göre Türkiye'deki mevcut yapı stokunun yaklaşık % 45'ni yığma yapılar oluşturmaktadır (DİE 2005).

Taş, tuğla v.b. malzemelerin çeşitli nizamda üst üste konulup, genellikle harç adı verilen bir bağlayıcı birleştirilmesi ile yığma taşıyıcı duvar sistemleri oluşturulur. Düşey taşıyıcıları genel itibari ile yığma taşıyıcı duvarlardan oluşan yapılara yığma yapı adı verilmektedir. Bu tür yapılarda döşemeler duvarlara genellikle hatıllar aracılığıyla birleştirilmektedir. Yığma yapılarda kullanılan duvarların hem mimari hem de taşıyıcı özelliği vardır (Bayülke 2001-a).

Kâgir yapılar, yapının inşa edileceği bölgede bulunan malzemeler kullanılarak imal edilebileceği için bu yapılar nispeten kolay ve düşük bir maliyetle üretilebilmektedir (Uzun 2017). Bunun yanı sıra, yığma yapıların tercih edilme nedenleri arasında, ısı ve ses yalıtımının iyi olması, yangın dayanımının yüksek olması ve hızlı inşa edilebilir olması sayılabilir.

Taşıyıcı yığma yapı duvar yapımında kullanılan taş, tuğla, kerpiç, harç ve beton gibi malzemelerin basınç dayanımı oldukça yüksek fakat çekme mukavemetleri düşüktür. Ayrıca bu malzemelerin hepsi nispeten gevrek davranış gösteren malzemelerdir. Dolayısıyla maruz bırakılan kuvvetler altında yığma taşıyıcı duvar elemanlarının yeterince şekil değiştirme yapma kapasiteleri bulunmamaktadır. Oysaki deprem esnasında yapı malzemelerinden ve bu malzemelerle oluşturulan taşıyıcı elemanlardan, şekil değiştirme kapasitesi yüksek ve belirli bir şekil değiştirme altında sınırlı dayanım kaybı yani sünek davranış beklenmektedir.

Yığma yapılarda deprem ivmelerinden veya zeminde meydana gelen farklı oturmalarından dolayı çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Yeterince kayma gerilmesi ya da çekme

gerilmesi dayanımı olmayan taşıyıcı elemanlarda çekme çatlakları meydana gelmektedir. Deprem kuvvetlerinin yön değiştirmesiyle birlikte bu çatlakların yönleri veya çatlak oluşumları, yapının işçiliği, kullanılan malzemelere ve duvarlardaki boşluk alanlarına göre değişiklikler gösterebilir. Bu çatlaklar genellikle kapı ve pencere kenarları ve boşlukları çevresindeki duvar bölümlerinde meydana gelir (Batur 1999).

2000 yılında yapılan bina sayımına göre, belediyelerin mücavir alanlarında toplam 224.971 bina tespit edilmiştir. Bu binaların taşıyıcı sistemine göre %51,1'i yığma ve %48,4'ü ise çerçeve sistem olarak tespit edilmiştir. Yığma yapılarda dolgu maddesi cinslerine göre ise en yüksek payı %59,6 ile tuğla almaktadır. Tuğlayı %18,0 ile briket, %9,8 ile taş ve %7,9 ile kerpiç izlemektedir. Aynı verilere göre Ankara, İzmir, İstanbul ve Adana gibi büyük dört şehirde bulunan yığma yapıların, bu şehirlerdeki toplam bina sayısına oranı %40-45'ler gibi önemli seviyelerde bulunmaktadır (DİE 2000).

Son yıllarda meydana gelen depremlerde (1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1999 Sakarya-Kocaeli, 1999 Düzce ve 2011 Van-Erciş) çok sayıda yığma ve betonarme binada büyük yapısal hasarlar ve göçmeler oluşmuştur. Bu yıkımlardan dolayı önemli sayıda can ve mal kayıpları gerçekleşmiştir. Özellikle kırsal kesimlerde meydana gelen can ve mal kayıpları en çok; taş, tuğla, kerpiç, ağaç vb. geleneksel ve yöresel malzemeler ile yapılan yığma yapılarda görülmüştür. Bu veriler göz önüne alındığında, yığma binaların deprem etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi ve konuyla alakalı olarak daha çok araştırma yapılması gerektiği gözükmemektedir (Kant ve ark. 2005). Depremlerde hasar görmesi muhtemel yığma yapıların ve özellikle tarihi eserlerin onarılması, iyileştirilmesi ve gerekirse güçlendirilmesi önem kazanmaktadır.

Yapıda bulunan sınırlı bir hasarın giderilmesi için taşıyıcı sisteme müdahale işleminin yapılmasına veya depremde hasar görüp taşıma dayanımı azalmış bileşenlere deprem öncesi taşıma dayanımını yeniden kazandırma işlemine "onarım" denir. Hasara bağlı kalmaksızın bir taşıyıcı sistemin bütününe ya da sınırlı sayıda elemanların taşıma gücünü arttırmak veya ekonomik ömrü içerisinde sıklıkla olması beklenen servis depremin düzeyinde hasar gören yapının aynı büyüklükte depremlerin birçok kez yinelenmesi olasılığı karşısında benzer hasarın tekrarlanmaması için eski durumundan daha güçlü ve dayanıklı duruma getirilmesi işlemlerine "güçlendirme" denir (Köse 2003).

Yığma yapılar için geliştirilen çeşitli onarım ve güçlendirme yöntemleri bulunmaktadır. Yığma yapılarda yapılacak olan onarım işlemleri genellikle o zamana kadar deprem kuvvetlerinden, rüzgâr etkilerinden ya da zemindeki farklı oturmalarından kaynaklanan çatlakların ve diğer hasarların giderilmesi amacıyla yapılmaktadır. Bu tür onarım için çimento şerbeti, çimento enjeksiyonu, reçine enjeksiyonu ve sıvama yöntemleri uygulanmaktadır. Yığma yapıların güçlendirilmesi için geliştirilmiş metotlar arasında ise; çimento enjeksiyonu, püskürtme beton ile güçlendirme, gergi demirleri ile güçlendirme, betonarme hatıllarla güçlendirme, ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirme, FRP plakalar ile güçlendirme, perde duvar ile güçlendirme ve dıştan perde duvar ile güçlendirme gibi yöntemler yer almaktadır (Kalkan 2008).

Buradaki çalışmada yığma yapıların deprem kuvvetleri altındaki kapasiteleri nümerik olarak belirlenecektir. Örnek olarak seçilen bir yığma yapının yatay kuvvetler altındaki dayanımı belirlenecektir. Eğer dayanım yeterli değilse yığma yapılar güçlendirilerek olası tasarım depremlerine dayanıklı hale getirilecektir.

Buradaki çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde yığma yapı tanımı, ülkemizden bulunun yığma yapı stoku, ülkemizin depremselliği ve yığma yapıların deprem davranışları ve tez konusu ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde yığma yapılar ve yığma yapıların güçlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar hakkında literatür özeti verilmiştir. Üçüncü bölümde yığma yapıların sınıflandırılması, yığma yapılar hakkında deprem yönetmeliğinde bulunan esaslar ve yığma yapılarda kullanılan malzemeler hakkında bilgi verilmektedir. Dördüncü bölümde yığma yapıların yatay yükler altındaki davranışları, yığma yapı hasar türleri ve yığma yapıların güçlendirilmesi, özellikle püskürtme beton ile güçlendirme hakkında bilgilere yer verilmiştir. Beşinci bölümde bu çalışmada seçilen iki örnek yapı hakkında bilgiler, yapılan güçlendirme çalışmaları ve gerçekleştirilen analizler hakkında açıklama yapılmıştır. En son altıncı bölümde çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümde literatür taraması yapılmış olup, elde edilen öz bilgiler sunulmuştur. Literatür taraması gerçekleştirilirken çalışmalar belli gruplar halinde tasnif edilmiş ve o şekilde sunulmuştur. Bu şekilde hem yapılan çalışmaların hem de literatür özetinin daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır.

2.1. Yığma Yapıların Nümerik Simülasyonu ile İlgili Çalışmalar

Khaled (1995) yığma yapıların farklı yüklemeler altındaki davranışlarını sonlu elemanlar kullanarak araştırmıştır. Yapılan deneysel çalışmada ise bölme duvarların çevrimsel kuvvet altındaki performansını, düşey yönde yapılan güçlendirme miktarı ve uygulanan dış yük seviyesine bağlı olarak araştırılmıştır. Nümerik ve deneysel çalışmalar sonucunda, yığma yapıların bölme duvarlarında yeterli sünekliğin elde edilememesinin ve gerekli dayanımın sağlanmamasının temel problem olduğu belirtilmiştir.

Yığma bir yapının mekanik davranışı Luciano ve Sacco (1998) tarafından incelenmiştir. Yığma yapıdaki malzemeler bileşik bir malzeme olarak değerlendirilmiştir. Yığma yapının genel karakteristiklerini elde etmek amacıyla mikromekanik bir yaklaşım önerilmiştir. Daha sonra FRP katmanlı saçlarla desteklenmiş yığma bir duvar analiz edilmiştir. Desteklenmiş ve desteklenmemiş yığma yapıların genel davranışını matematiksel olarak modellemek için harcın, bloğun ve FRP saç katmanlarının ilerleyen hasarını da göz önüne alan basit bir homojenleştirme metodu önerilmiştir.

Gambarotta ve Lagomarsino (1997) literatürde önerilen çimento harç birleşim noktaları için bir hasar modeli önermişlerdir. Aynı zamanda tuğla yığma yapıların kesme duvarlarının plandaki yüklemelerinin yatay davranışlarının değerlendirilmesi için bir metot uygulamışlardır. Tuğla bir yığma yapı için oluşturan denklemler, tuğla katmanları için oluşturulan basit hasar denklemleri ve literatürde önerilen hasar modelini içeren bir homojenleştirme metodu ile elde edilmektedir. Model sonlu elemanlar analizi kullanılarak elde edilmiştir.

Pluijm (1999) tarafından yapılan çalışmada yığma yapıların birleşim ve mafsallık bölgelerindeki davranışları belirlenmiştir. Örnek alınan bazı bölgelere kendi özelliklerine uyan homojen izotropik metaller yerleştirilerek deneye tabi tutulmuştur. Yığma yapı davranışlarını belirlemek amacıyla, düğüm noktalarına kuvvet uygulanarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış ve gevrek olan malzemelerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yığma yapıların birleşim ve mafsallık bölgelerindeki harçların etkisi ile oluşacak çatlama ve kırılma davranışları incelenmiştir. Yığma duvarın yatay burulma, düşey burulma ve dayanım kriterleri araştırılmıştır. Aynı zamanda yatay mafsallara kuvvet uygulandığında, burulma momentinin oluştuğu belirlenmiştir.

Marfia ve Sacco (2001) tarafından Yenilikçi kompozit malzemelerle güçlendirilen duvar malzemesinin genel tepkisinin değerlendirilmesi için bir mikro mekanik inceleme geliştirilmiştir. Duvar, düzenli bir blok uygulamasıyla harç matrisi haline getirilen heterojen bir ortam olarak kabul edilmiştir. Harç ve bloğun ilerleyen hasar ve plastisitesini göz önünde bulundurarak, tek boyutlu güçlendirilmiş bir modeli geliştirilmiştir. Ayrıca, fiber takviyeli plastik ortamın kırılma dayanımı da hesaba katılmıştır. Kompozit tabakaların duvar elemanından delaminasyon etkisi de modellenmiştir. Malzemenin aksel ve eğilme tepkisi ile ilgili sayısal uygulamalar sunulmuştur.

Carlos (2000) genel olarak, yığma duvarlı yapıların yapımında güçlendirilmiş duvarların kullanımını incelemiştir. Deprem kuvvetlerine dayanacak duvarları güçlendirmek için kullanılan farklı yollar anlatılmıştır. Özellikle sistemin sismik direnç yetenekleri ile ilgili güncel ilgi alanları ve araştırma alanları tartışılmıştır. Çalışmada ayrıca, Amerika kıtasının sismik bölgelerinde yer alan ülkelerdeki mevcut durumu, özellikle Latin Amerika ülkelerinde vurgulanarak gözden geçirilmiştir.

Yığma binaların analizi için değişik nümerik metotların uygulanabilirliği Giordano ve ark. (2002) tarafından incelenmiştir. Nümerik analiz sonuçları, 1/1 ölçekli yığma yapı modeli üzerinden temin edilen deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Nümerik analiz için üç metot hesaba katılmıştır.

Mamari ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada deprem kuvvetleri altındaki yığma duvarların geleneksel malzemelerle kaplanarak iyileştirilmesi ve güçlendirilmesini incelemiştir. Kâgir duvarlar yanal olarak destekleyen malzemelerle güçlendirilmiştir. Bu

şekilde elde edilen yığma duvarlar sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu metot kullanarak yapılan güçlendirme deprem bölgeleri için önerilmiştir.

2.2. Yığma Yapı Sistem Güçlendirmesi

Bayülke (1986) sarsma tablasında boşluk içeren beton bloklardan imal edilmiş iki model yapıyı test etmiştir. Test sonuçlarına göre blok boşluklarının harçla doldurulması yığma yapı dayanımını daha da arttırdığı tespit edilmiştir.

Binda ve ark. (1997) uygun çimento harçların enjeksiyonu ile taş yığma duvarların, doğru bir şekilde seçilen ve kontrol edilen malzemelerle güçlendirilmesi ve tamiri konusunda bir teknik sunmuşlardır. Önerilen tekniğin başlangıçta yapı yerinde enjeksiyon testleri yoluyla ayarlanması gerektiği düşünülmüş daha sonra boşlukların sağlam kısımlarını doldurulmuştur.

Rao (1996) son yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde ABD'deki yüksek yığma yapıların deprem riski altında olduğunu belirtmiştir. Bu binaların deprem yükleri düşünülmeden tasarım edildikleri ve bu nedenle yeniden uyarlanması ve güçlendirilmesi gerektiğini vurgulanmıştır. Deneysel çalışmada 1/3 ölçeğinde numunelerin sarsma tablası üzerinde deprem güvenliği araştırılmıştır. Betonarme ile güçlendirilen yapıların analizini sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada 10 farklı yükleme 2 aşamada uygulanmıştır.

Juha'sova (2001) tarafından yığma duvar yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışları incelenmiştir. Geniş ve ağır olan modelin sarsma tablasında deney süresince hareketinin modellenmesi anlatılmıştır. Araştırmanın ana hedefini orta ve kuvvetli sismik kuvvetler altında eski yığma yapıların dinamik kapasitelerinin artırılması oluşturmaktadır. Teorik ve sayısal analizlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Güçlendirme, onarım ve yığma yapıların özel lifli harçlar kullanarak iyileştirilmesi ve yapının yığma bölümlerinin güçlendirilmesi konusunda araştırma bilgileri sunulmuştur.

Simsir (2004) tarafından Düzlem dışı yüklere maruz duvarların deprem davranışı sarsma tablası kullanarak araştırılmıştır. Güçlendirme çalışmasında menteşeler kullanmıştır. Yığma yapıda her duvara belirli mesafelerle menteşe yerleştirilerek, yükleme yapılmış ve çalışma sonuçları Tek Serbestlik Dereceli Sistem (TSDS) ve Çok Serbestlik Dereceli Sistem

(ÇSDS) modelleri ile kıyaslanmıştır. Gerçekleştirilen deneyde FEMA 356 kullanılmış, çatlama ve rijitlik diyagramları oluşturulmuştur.

Kanit ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada, yığma yapıların deprem davranışları özetlenmiştir. Düzlem dışı değişen yüklere maruz kâgir duvarların deneysel verileri sunulmuş ve açıklanmıştır. Tersinir yükün yönüne göre yığma duvar tepkisi gözlemlenmiştir. Duvarların erken göçmelerine, duvarın çevre mesnetlerinde çekme gerilmesi oluşturan yükleme altında olduğu tespit edilmiştir.

Kanit ve Atımtay (2006) tarafından yapılan çalışmada, düzlem dışı yüklenen kâgir duvarların kırılma hareketi nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir. Düzlem dışı yüklere maruz kâgir duvarın çatlama davranışı, aynı boyutlara sahip bir prototip yığma duvar sayesinde deneysel olarak araştırılmıştır. Deprem kuvvetlerinin özelliklerini modelleyen tersinir, düzlem dışı kuvvetler altında kâgir duvarın, betonarme döşemede meydana gelen akma çizgilerine benzer biçimde kırılma çizgileri oluşturarak kırıldığı tespit edilmiştir.

Kun (2006) tarafından yapılan çalışmada yığma duvarların davranışlarını hesap etmek amacıyla on adet büyük ölçekli yığma duvar üretilmiş ve deneye tabi tutulmuştur. Yüksekliği 2390 mm, uzunluğu 790 mm ve kalınlığı 140 mm olan numunelerden, iki duvar eksantrik kuvvetle, dört duvar tekil kuvvetle, üç duvar da tersinir kuvvetle yüklenmiştir. Numunelerin yük taşıma kapasiteleri, tatbik edilen moment değerleri, yanal ötelenme miktarları ve sünme değerleri hesap edilmiştir.

Mosalam (1996) tarafından Deprem yükleri altındaki boşluklu yığma binaların beton blokla güçlendirilmesi incelemiştir. Yapılan çalışma üç aşamadan oluşmuştur: statik yükleme, dinamik yükleme ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi. Statik yükleme kısmında hasarlı ve hasarsız yığma duvarlara yükleme yapılmış ve boşluklu çerçevede ötelenmeler tespit edilirken, duvarların köşelerinde ve içlerinde çatlamlar oluşmuştur. Dinamik yükleme kısmında kontrol algoritmaları geliştirilmiştir. Düşey yüklere göre hesap edilen çerçevelerin deprem yüklemelerinde kullanabileceği iddia edilmiştir. Üçüncü bölümde ise birden fazla hesap yöntemi geliştirilmiş ve sunulmuştur. Yığma binaların davranışlarının tahmin edilmesinde sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır.

Hutchinson ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada yığma yapıların deprem kuvvetlerine karşı tasarlanmış olsalar dahi, deprem esnasında düzlem dışı yüklenmeye maruz kalabileceklerinden dolayı, hasar görebilecekleri belirtilmiştir. Bu sebeple güncel malzemeler ve yeni çözümler ile iyileştirilmeleri gerektiği ifade edilmiştir. Poliüretan, poliüretan-fiber karışımları ile güçlendirilmiş kâgir duvarlarda düzlem dışı yüklenme uygulanmış ve yığma duvarlar deneye tabi tutulmuştur. Yığma duvarların yük-yer değiştirme grafikleri ve hasar özellikleri gösterilmiştir. Düzlem dışı yüke maruz yığma duvarın, tek tabaka poliüretan ile dahi desteklenmesinin çatlak kontrolünde önemli gelişmeler sağladığı, fakat tercih gerektiğinde, birden fazla katmandan oluşan poliüretan malzemesiyle güçlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Türer ve ark. (2005) tarafından yapılan araştırmada kullanılmış araba lastiği ile ekonomik ve kolay bir şekilde uygulanabilen yapı güçlendirme metotları geliştirmeye çalışılmıştır. Araştırma kapsamında geliştirilmekte olan metotların, nümerik çalışma ve laboratuvar uygulamaları yapılmıştır. Tatbik aşamasında karşılaşılan sorunların anlaşılması için Antalya'da pilot olarak seçilen bir binay güçlendirilmiştir.

Döndüren (2008) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada aynı geometrik karakteristiklere sahip iki kâgir duvar, depremi benzeştiren kuvvetler altında düzlem dışı yüklere maruz bırakılarak test edilmiştir. Deney elemanlarından birincisi dolu harman tuğlası ve normal harç kullanılarak imal edilmiş, ikincisi ise dolu harman tuğlası ve bağlayıcı özelliği artırılmış harç kullanılarak imal edilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre bağlayıcı özelliği fazlaştırılmış harç malzemesi kullanılmasının kırılma olayını geciktirdiği belirlenmiştir.

2.3. Yığma Yapıların FRP ile Güçlendirmesi

Saadatmanesh ve Ehsani (1991) yaptıkları çalışmada yığma ve beton yapıların iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için fiber katkılı polimer malzemelerin kullanımı sunulmuştur. FRP malzemesinin üç farklı uygulaması tartışılmıştır. İlk uygulamada kompozit levhaların nihai dayanımını artırmak için esas kirişlerin alt yüzeyine epoksi uygulanarak FRP yapılmıştır. Onun üzerinde yapılan analitik ve deneysel çalışmanın sonucunda kirişlerin, önerilen güçlendirme tekniğiyle önemli dayanım kazanıldığı görülmüştür. İkinci uygulamada FRP şeritler beton köprü kolonların deprem dayanımını arttırmak için kolon dış yüzeylerine uygulanmıştır. FRP ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş numuneler arasında 4 kata varan

dayanım kazancı elde edilmiştir. Üçüncü uygulamada ise kompozit dokular takviyesiz yığma duvarların yüzeyine epoksiyle uygulanarak yapıştırılmıştır. Deneylerde yığma duvarların deprem yüklemeleri altında düzlem içi ve düzlem dışı davranışları belirlenmiştir. Bu sayede deprem davranışlarında önemli gelişmeler çalışmada gözlemlenmiştir.

Dimas (1998) deprem mühendisliği alanında güçlendirilmemiş yığma yapı kullanımının pek tercih edilmediğini iddia etmiştir. Bu yapıların en ciddi sorunun düzlem dışı yüklenme altındaki verdikleri tepki olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmalarda güçlendirme için fiber birleşimler kullanılmıştır.

Jai (1999) deprem kuvvetlerine maruz kalmış yığma yapı duvarların, ince katman fiberle güçlendirilmesini araştırmıştır. Yığma duvarlara düzlem içi yük uygulaması yapılırken kapı ve pencere boşlukları göz önüne alınmıştır. Yapılan deneylerde kil tuğlalar, ahşap tuğlalar ve harçlar test edilmiştir. Kâğıt gibi ince katmanlı fiberle yapılan güçlendirmenin yığma duvarın yük taşıma kapasitesini artırdığı gösterilmiştir.

Albert ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada düzlem dışı yükler altında yığma duvarların FRP ile güçlendirildikten sonra duvarın yük taşıma kapasitesini araştırmışlardır. Çalışma dâhilinde toplam 10 adet duvara 13 adet test uygulanmıştır. Duvarlar ankastre mesnet koşullarını oluşturacak şekilde metal temellere oturtulmuştur. Hasarlı ve hasarsız yığma duvarlar, FRP türüne göre, FRP malzeme miktarına göre, FRP tatbikat cinsine göre, uygulanan aksenal normal kuvvete göre ve döngüsel kuvvete göre farklı testlere tabi tutulmuştur. Elde edilen deney sonuçlarına göre FRP malzemesiyle güçlendirmenin neden tercih edilmesi gerektiği açıklanmıştır.

Stierwalt ve Hamilton (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada FRP kompozitleri ile güçlendirilmiş yığma duvarların doğrusal olmayan davranışları ile beraber geleneksel donatılı yığma duvar davranışları karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Sekiz adet 1/1 ölçekli donatısız beton yığma duvar, uzun süreli düzlem dışı deplasmanın hesap edilmesi için üretilmiştir. Bu duvarlar dış taraftan kenetlenmeli CFRP veya GFRP kompozit malzemeleri ile güçlendirilmiştir. İki duvar ise harçla kuşatılmış donatı ile imal edilmiştir. FRP katkılı duvardaki sünme hareketinden dolayı oluşan uzun süreli yer değiştirmeler çelikle kuvvetlendirilmiş duvarinkinden % 22–56 daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Milao (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmada kâgir duvarların dış taraftan CFRP ile güçlendirilmesi araştırılmıştır. Dört numune yığma duvar, düzlem içi yanal kuvvet ve düşey yük uygulanarak test edilmiştir. Yanal yükleme neticesinde ötelenme, çatlama deseni ve CFRP malzemesinden oluşan tabakaların duvara olan etkileri belirlenemeye çalışılmıştır. CFRP malzemesiyle güçlendirilen yığma duvarların yükleme kapasitelerinde ve yer değiştirme kabiliyetlerinde ciddi miktarda iyileşmeler ve duvarın yanal kuvvet altındaki taşıyıcılığında artışlar gözlemlenmiştir.

Çöğürçü (2007) tarafından yapılan çalışmada aynı geometrik özelliklere sahip iki adet kâgir duvar üretilmiş, deprem ivmelerini simüle eden tersinir – tekrarlanır yatay kuvvete maruz düzlem dışı yüklenerek deneye tabi tutulmuştur. Deney örneklerinden ilki dolu harman tuğlası ile normal bir biçimde örülmüş, ikinci numune dolu harman tuğlası ile imal edildikten sonra FRP malzemesiyle güçlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda düzlem dışı yüklerin uygulanması, kuvvet taşıyan kargir duvarları hasar oluşumlarına karşı çok hassas bir hale getirdiği belirlenmiştir. Düzlem dışı tersinir tekrarlı yüklere maruz duvarlarda çok fazla ivme kuvvetleri artışları oluşmuştur. Yığma duvarlarda iki yönlü betonarme döşemelerin kırılmalarını andıran çatlaklar oluşmuş ve bu çatlaklar akım çizgilerine dönüşerek yığma duvarın göçmesine sebep olmuştur. Deneye tabi tutulan model yığma duvar 65 kN'luk bir kuvvet altında göçmekte iken, güçlendirilmiş duvar 80 kN'luk kuvvet altında kırılmıştır.

2.4. Yığma Yapıların Çelik Elemanlar ile Güçlendirmesi

Aliaari ve Memari (2004) tarafından önerilen bir yöntem ile hasar görmüş kolon ve taşıyıcı duvarların iyileştirilmesi ve gelecek hasarların en az seviyeye indirilmesi hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada, iki düşey ve bir yatay çelik elemanla çelik çerçeve sistemi oluşturularak, yığma yapının orta şiddetteki deprem hasarına karşı dayanımı araştırılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak tek katlı, iki katlı ve üç katlı sistemlerin deprem kuvvetlerine karşı dayanımları, güçlendirilmeden ve güçlendirildikten sonra araştırılmıştır. Çelik çerçeveler ile kuvvetlendirilen duvarların yüksek dayanıklılık sağladığı ve bu yöntemin sekiz katlı yapılara kadar tatbik edilebileceği ifade edilmiştir.

Altın ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışma kapsamında düşey delikli tuğladan imal edilmiş üç boyutlu ve tek katlı kâgir bir yapı sarsma tablasında deneye tabi tutularak önce hasar verilmiş, arkasından bu yapı dört değişik şekilde düzenlenen çelik şeritlerle

güçlendirilerek yeniden test edilmiştir. Deney sonuçlarına göre tatbik edilen iyileştirme metodunun başarılı olduğunu gösterilmiş ve deney esnasında ciddi olarak değerlendirilebilecek çatlak gelişimine rastlanılmamıştır.

2.5. Yığma Yapıların Betonarme Elemanlar ile Güçlendirmesi

Zarnic ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada betonarme çerçeveye güçlendirilmiş iki yığma yapıyı sarsma tablası üzerinde test etmişlerdir. Tek katlı ve iki katlı kutu şeklinde ve 1/4 ölçeğinde orijinaline uygun olarak güçlü tuğla ve zayıf harçla üretilen yığma duvarlardaki çatlak oluşumu incelenmiştir. Betonarme çerçeve ile güçlendirilen yığma duvarların düzlem içi ve düzlem dışı kuvvetler altındaki davranışları belirlenmiştir. Yığma duvar sistemi doğrusal olmayan test yöntemleri ile analiz edilmiş ve sonuçların geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Dafnis ve ark. (2002) tarafından deprem kuvvetleri ile yüklenen yığma panellerin beton çerçeveler ile güçlendirilmesi araştırılmıştır. Duvarın üst noktalarındaki boşlukların fazlaşması, duvar örülürken kullanılan harcın yüksek kalitede olmayışı gibi nedenler ve deprem esnasında oluşan düzlem dışı yükleme nedeniyle çökmeler olduğu belirtilmiştir. Yığma duvarların rijit elemanlarla güçlendirilmesi durumunda yapının yeterli sünekliği ve dayanımı gösterebildiğini belirtilmiştir.

Mohamed ve ark. (2003) tarafından yığma yapıların betonla güçlendirilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla 6 adet ve 1/3 ölçeğinde tek katlı numuneler test edilmiştir. Çalışmada üç numune eski yöntemlerle üretilirken, diğer üç numune yeni yöntemler kullanılarak üretilmiştir. Yapılan inşaat yönteminin taşıyıcılığa olan etkisini belirlemek amacıyla düşey yükleme yapılmış ve yanal kuvvetlere karşı koymak için beton paneller duvara yerleştirilmiştir. Deneylerde dayanıklılık, enerji tüketimi ve çatlama kontrolü yapılmıştır. Beton panellerle takviye edilen yığma duvar yapısının son yatay yüklemeden etkilenmediği ifade edilmiştir. Yük arttığında diyagonal çatlakların olduğu ve bu çatlakların temele kadar devam ettiği ancak çatlak dağılımının dengeli ve eşit miktarda olduğu, beton panellerin diyagonal çatlaklara karşı etkin bir şekilde karşı koyduğu belirlenmiştir.

Tokgöz (2011) tarafından yapılan çalışmada, dıştan perde duvarla güçlendirme işinde perde – hatıl birleşim bölgesinde kullanılan bulon sayısının etkisi araştırılmıştır. Üç farklı

deney numunesinde $\Phi 18$ bulonlardan istifade edilmiştir. Deney elemanlarında sırasıyla 4, 5 ve 6 adet bulon kullanılmıştır. Deney sonucunda tüm deney elemanlarında bağlantı çubukları akmaya ulaşmadan önce döşeme hatılında ezilmeler ve çatlaklar gözlemlenmiş ve deneylere ara verilmiştir. Bağlantılarda kullanılan çubukların sayısı arttıkça numunelerin de yük taşıma kapasitesinde bir artış olduğu belirlenmiştir. Deney elemanlarının yatay ötelenmelerinde ise çubuk adedine bağlı olarak bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

2.6. Yığma Yapılarla İlgili Teorik Çalışmalar

Christen ve ark. (1996) geçmiş yıllarda yapılan yığma yapıların çok azının deprem kuvvetlerine göre tasarlandıklarını belirtmiştir. Son yıllarda ABD, Japonya ve diğer ülkelerde hasar alan yapıların çoğunun yatay deprem kuvvetlerinden hasar gördükleri söylenilmiştir. Birçok güçlendirme yönteminin yığma yapılara etkin olarak uygulanmadığını ve ancak bazılarının ekonomik ve estetik oldukları vurgulanmıştır. Son zamanlarda plastik esaslı malzemelerle yapılan güçlendirmenin yığma yapıların yatay yük taşıma kapasitesini artırdığı ve bu yöntemler uygulanarak güçlendirilen yapı temellerinin deprem ivmelerinden çok az etkilendiği gösterilmiştir.

Hendry (2001) çalışmasında güncel yığma duvarların imalatının araştırılması, uygulama örneklerinin özetle açıklanması ve imalatların oluşturulmasının avantajlarını irdelemiştir. Yığma duvar malzemeleri kil, beton ve kalsiyum silikat içeren ve birim ölçülerinin, şekillerinin ve renklerinin çok değişiklik içereceği biçimde üretilebildiği açıklanmıştır. Harçlara genellikle çimento, kum ile diğer kireç veya plastik özellik sağlayıcılar ilave edilerek işlenebilirliğinin artırılacağı izah edilmiştir. Son günlerde ince sıva harçları ve ısı özelliklerinin iyileştirildiği harçları muhteva eden harçların yeni türlerinin geliştirildiği belirtilmiştir. Çalışmada yük taşıyan ve taşımayan yığma duvarların tasarımının önemi özetlenmiştir.

Salonikios ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada mevcut yapıların sismik kapasitelerinin değerlendirilmesine yönelik FEMA 273 kılavuzlarında önerilen metodun, donatısız duvar tipi düzlem çerçeveler için uygulanmıştır. Yığma düzlem çerçevelerinin karşılaştırmalı itme analizlerinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Hesaplamalar SAP2000 Nonlinear ve CAST3M programları tarafından gerçekleştirilmiştir. SAP2000 Nonlinear programında modelleme için uygun plastik mafsallara sahip doğrusal elemanlar kullanılmıştır.

CAST3M programı tarafından yapılan analizde, iki farklı tipte model incelenerek, ya homojen düzlem elemanları ya da ayrı tuğla ve bağlantı elemanları kullanılarak incelenmiştir. Analitik sonuçlardan, sismik yanal yüklerin üç farklı dağılımı altında duvar karelerinin dayanım ve elastik olmayan davranışları üzerine faydalı sonuçlar çıkarılmıştır.

Cluni ve Gusella (2004) tarafından Yığma duvar yapılarının mekanik özelliklerini değerlendirmek için bir homojenizasyon yaklaşımı sunulmuştur. Gerçek bir duvarın analiz edilmesi için, periyodik duvarlar için literatürde kullanılan periyodik hücre kavramı, temsili hacim elemanının yerini almıştır. Bu hacim sonlu boyutlu test pencerelerine dayalı bir formülasyon kullanılarak bulunmuştur. Homojenleştirilmiş ortam sertlik tensörü, temel ve doğal sınır koşullarına göre tahminlerin hiyerarşisi göz önüne alınarak elde edilmiştir. Ayrıca, verilen yapı üzerinde farklı test pencereleri konumunu dikkate alarak bir topluluk ortalaması gerçekleştirilmiştir. Bir örnek ile önerilen yaklaşımın etkinliği gösterilmiştir.

Kaya (2003) tarafından yapılan çalışmada, hasarlı veya kısmen yıkıma uğramış yığma binaların onarım, iyileştirme ve güçlendirilmesi araştırılmıştır. Onarım ve güçlendirme metotlarında betonarme ve çelik elemanların ne gibi durumlarda ve ne şekilde kullanılabileceği üzerine araştırmalarını yoğunlaştırmışlardır. Az veya çok hasarlı tarihi ve mimari yığma yapıların onarımları ve güçlendirme yöntemleri incelenmiştir.

Karaşin ve Karaesmen (2005) tarafından yapılan inceleme çalışmasında Bingöl, 2003'de oluşan depremde hasara uğrayan yapıların birçoğunun yığma yapı olduğu belirtilmiştir. Hasara uğrayan yığma duvarlı kâgir yapıların hatıllarının tam olmadığı, köşe düğüm noktalarının sağlam olmadığı ve köşe noktaları iri taştan imal edilmiş yapıların daha az hasar gördüğü ifade edilmiştir. Deprem kuvvetleri açısından riski fazla olan yapılarda güçlendirme çalışmalarının bir an önce başlaması gerektiği vurgulanmıştır.

Korkmaz (2014) tarafından yapılmış olan çalışmada, kâgir yapılarda kullanılan dört değişik malzeme türünün yığma yapı deprem davranışına olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda SAP2000 programında, dört farklı yapı zaman alanında analiz metodu kullanılarak modellenmiştir. Zaman tanım analizi için 12 değişik deprem kaydı kullanılmış ve yapılan analizler sonucunda yığma yapılarda oluşan deplasman değerleri incelenmiştir.

2.7. Yığma Yapıların Püskürtme Beton ile Güçlendirmesi

ElGawady ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada, püskürtme beton kullanılarak güçlendirilen yığma duvarlarının düzlem içi davranışını inceleyen statik döngüsel testlerin sonuçları sunulmuştur. ½ ölçekli tuğla kil duvar üniteleri ve zayıf harç kullanılarak üç adet ½ ölçekli duvar inşa edilmiştir. Numunelerden bir tanesi referans numune olarak test edilmiştir. Numunelerden bir diğeri 40 mm kalınlığında püskürtme beton tabakası ile tek taraflı olarak güçlendirilmiştir. Sonuncu numune ise 20 mm kalınlıktaki katmanlar kullanılarak çift taraflı olarak güçlendirilmiştir. Güçlendirilen her iki numune de aynı beton kalınlığı ve güçlendirmesine sahiptir. Yapılan deneyler püskürtme beton kullanılarak imal edilen güçlendirmenin, numunelerin yatay dayanımını yaklaşık olarak 3,6 kat arttırabildiğini ortaya çıkarılmıştır. Çift taraflı yapılan güçlendirmede ise daha fazla süneklik ve enerji yutma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

Kalkan (2008) tarafından yapılan çalışmada, kâgir yapıların tek tarafının hasır donatı ve püskürtme beton ile güçlendirildikten sonra düzlem dışı tersinir kuvvetler altındaki davranışı incelenmiştir. Çalışmada bahsedilen yöntem deneysel olarak incelenmiştir. Bu hedef doğrultusunda aynı geometrik ve malzeme karakteristiklerine sahip iki farklı model duvar üretilmiştir. Bu numunelerden ikincisinin bir yüzü dış taraftan hasır donatı ve püskürtme betonla güçlendirilmiştir. Her iki duvar da aynı deney şartlarında teste tabi tutmuştur. Yapılan deney sonuçlarına göre güçlendirilmiş duvarın ilk çatlama yükünde, kırılma yükünde, dayanım ve sünekliğinde belirgin kazanımlar sağlanmıştır.

Ateş (2013) tarafından yapılan çalışmada içten ve dıştan donatılı püskürtme beton ile güçlendirilmiş yığma duvarların mekanik davranışı ve uygulanan güçlendirme metodunun yapı performansına olan etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan çalışma güçlendirilmemiş model duvarın davranışını inceleyen Kanıt ve Atımtay (2006) ve bir yüzünden püskürtme betonla güçlendirilmiş yığma duvarın davranışını inceleyen Kalkan (2008) tarafından yapılan araştırmaların bir devamı olarak düşünülmüştür. Yapılan deney sonucunda her iki yüzü püskürtme beton ile güçlendirilmiş kâgir duvarın, güçlendirilmemiş ve sadece bir yüzü püskürtme beton ile güçlendirilmiş duvarlara göre ilk çatlama yükünde, kırılma yükünde, sünekliğinde, ilk çatlama rijitliğinde, kırılma rijitliğinde ve enerji tüketiminde önemli artışlar sağlandığı tespit edilmiştir.

2.8. Literatür Araştırma Değerlendirmesi

Yukarıda yapılan kaynak araştırması çalışmasında yığma duvar yapılarla ilgili araştırmalara 1970'li yıllar civarında başlanıldığına işaret edildi. O zamandan günümüze kadar yığma yapıların davranışlarının teorik ve deneysel olarak belirlenmesi, 2 ve 3 boyut modelleme teknikleri, mikro ve makro modellemeleri, yığma duvarlı yapıların düzlem içi ve düzlem dışı kuvvetler altında davranışının belirlenmesi, yığma yapılarının çeşitli yöntemler kullanılarak onarılması, iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi üzerine pek çok araştırma çalışması yapılmıştır. Bununla birlikte kâgir yapıların güçlendirme açısından nasıl modellenmesi gerektiği konusunda tam olarak genel bir uzlaşma oluşmadığı anlaşılmaktadır. Güçlendirme konusunda özellikle FRP, GFRP, CRFC malzemeleri kullanılarak yapılan takviye çalışmalarının sayısı bir hayli fazla olduğu görülmektedir. Ne kadar gerçek hayatta çelik elemanlar ve betonarme elemanlar kullanılarak yapılan güçlendirme sayısı fazla ise de bu oran yapılan teorik ve deneysel çalışmalara yansımamıştır.

Ülkemizde yığma duvar yapıların davranışlarının belirlenmesi ve güçlendirilmesi konusu ülke gündemine son 15-20 yıl içerisinde girmiştir. Bu sürede yığma yapılar hakkında yapılan araştırma sayısı oldukça sınırlı kalmıştır.

Donatılı püskürtme beton uygulanarak elde edilen yığma yapı güçlendirmesi hakkında yapılan teorik ve deneysel araştırma sayısı literatür taramasından da görüleceği gibi hem ülkemizde hem de dünyada çok azdır. Buradaki yapılan çalışmada bu yüzden püskürtme beton kullanılarak yapılan güçlendirme çalışmasına değinilmiştir.

3. YIĞMA YAPILAR

Yığma yapı, yapay veya doğal taşların bir bağlayıcı harç ile oluşturdukları duvarlar vasıtasıyla düşey ve yatay kuvvetlere karşı koyan yapıdır. Bir kargir yapının dayanımı, duvarını oluşturan bloklar ile bağlayıcıların dayanımına ve duvarın kendi dayanımına bağlıdır. Türkiye’de duvarlarda kullanılan elemanlar; pişmiş topraktan yapılmış tuğlalar, beton blok veya boşluklu briket ve doğal taşlardan oluşmaktadır.

Yığma yapılarda düşey ve yatay yüklerin ana taşıyıcı elemanları taş veya tuğla duvarlardır. Bu duvarlar basınca karşı dayanıklı fakat çekmeye karşı dayanıklı değildir. Deprem kuşağında bir ülke olarak Türkiye’de, depreme dayanıklı yapı tasarımı hayati bir öneme sahiptir. Daha önceden de belirtildiği gibi ülkenin yapı stoğu incelendiğinde halen önemli bir yığma yapı stoğu olduğu gözükmemektedir. Kırsal bölgelerde yeni imal edilecek yapılarda yığma yapı sistemi, imalatı kolay ve maliyeti düşük olmasından dolayı, halen tercih edilmektedir.

Yığma yapıların yatay yükler altındaki davranışının gevrek olması, deprem performansı açısından olumsuz bir etkidir. Ancak yığma bir yapının doğru bir şekilde modellenmesi ve yapıda kullanılacak malzemelerin uygulama sırasında yeterli miktarda denetlenmesi, yığma yapılarda olası hasar seviyelerinin azalmasına yardımcı olacaktır. Bu anlamda, deprem riski yüksek olan ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de yığma yapıların ve bina türü yapıların boyutlandırılması ve donatılması konusunda çeşitli hükümler yer almaktadır.

3.1. Yığma Yapıların Genel Özellikleri ve Sınıflandırılması

Yığma yapıların taşıyıcı elemanlarını, döşemeler, bunların mesnetlendiği hatıllar, duvarlar ve duvar temelleri oluşturmaktadır. Döşemeler genellikle kirişli döşemedir ve duvarların üzerinde bulunan yatay hatıl kirişlerine mesnetli durumdadır. Nadiren döşeme olarak dişli döşemenin kullanıldığı durumlar da mevcut olabilir. Kompozit bir eleman olarak modellenebilen taşıyıcı duvarlar, döşemelerden transfer edilen düşey ve yatay etkileri karşılayarak, mesnetlendikleri şerit temellere iletirler.

Ülkemizde yığma yapılar, genellikle kırsal bölgelerde yerel malzemeler kullanılarak ve herhangi bir mühendislik hizmetine ihtiyaç duyulmayarak imal edilmektedirler. Dolayısıyla yığma binaya ülkemizde gereken önemin verilmediği barizdir. Bu sebepten bu tür binalarda çok çeşitli nitelikteki malzeme ve işçilik seviyesine rastlamak mümkündür. Yurt dışında donatılı yığma yapımı yaygın olduğu halde, bu tür yığma yapıya ülkemizde hemen hemen hiç rastlanılmamaktadır. Bunun en önemli nedeni, genellikle kırsal bölgelerde yığma binanın mühendislik hizmeti gerektirmeyen bir yapı olarak algılanmasıdır.

Türkiye’de meydana gelen depremler, yığma binaların sınıflandırılmasında kullanılabilecek en önemli yapısal parametrenin kat adedi olduğunu göstermektedir (Erberik 2007). Bu depremler sonrası, üç veya daha çok katlı yığma binaların, bir veya iki katlı yığma binalara oranla çok daha fazla hasar gördüğü gözlenmiştir.

Diğer bir sınıflandırma taşıyıcı yığma duvarı oluşturan malzemenin cinsine göre yapılmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre yığma yapılar; yığma duvarı dolu harman tuğlası, delikli fabrika tuğlası, beton briket veya kerpiç olan yığma yapı şeklinde sınıflandırılabilir.

Yukarıda bahsedilen sınıflandırma türlerinden başka, yığma yapının bulunduğu yer, kat yüksekliği ve yaklaşık alanları, projesi bulunup bulunmadığı, yığma binanın konumu, komşu binalarla derz durumu, kat seviyeleri, bodrumu olup olmadığı ve bodrum kat taşıyıcı malzemesi, döşeme sistemi, kalkan duvar durumu, sıva durumu gibi kıstaslar da bazen literatürde sınıflandırma unsuru olarak ele alınmıştır (Durak 2008).

3.2. Yığma Yapılara İlişkin Yönetmelikte Yer Alan Bilgilerin Özeti (DBYBHY 2007)

Betonarme ve çelik yapılara dönük esasları içermekle beraber, 2007 Deprem Yönetmeliği yığma yapılar için de genel minimum kurallar ve sınırlandırmalar sunmaktadır. Bunlar; binanın kat sayısı, taşıyıcı duvar kalınlıkları, kapı ve pencere boşluklarının boyutları ve yerleri, taşıyıcı duvar mesnetlenmemiş uzunluğu, lento ve hatıl boyutlarını kapsamaktadır. Aşağıda bu hususlara kısa bir şekilde değinilmiştir.

3.2.1. Kat adedi

2007 Deprem Yönetmeliği'nde yığma binalar için deprem bölgelerine göre yapımına müsaade edilen kat sayıları aşağıdaki tabloda (Çizelge 3.1) sunulmuştur.

Çizelge 3.1 İzin verilen en çok kat sayısı (DBYBHY 2007)

Deprem Bölgesi	En Çok Kat Sayısı
1	2
2, 3	3
4	4

2007 Deprem Yönetmeliği, Madde 5.2.3'e göre: yukarıda sunulan en çok kat sayıları, zemin kat ile üstündeki bütün katların toplamıdır. Olası çatı katının alanı, temeldeki bina brüt alanının %25'inden büyük olamaz. Eğer çatı kat alanı, bina brüt temel alanının %25'inden büyük ise bu katta normal bir kat sayılır. Yığma yapılarda ayrıca tek bir bodrum kat yapılabilir. Kerpiç duvarlı yığma binalar bütün deprem bölgelerinde, bodrum katı sayılmaksızın, en çok bir katlı yapılabilir.

3.2.2. Kat yükseklikleri

Yığma yapılarda her bir katın yüksekliği döşeme üstünden döşeme üstüne en çok 3,0 m olmasına müsaade edilmektedir. Kerpiç duvarlı yığma binalarda ise tek katın yüksekliği en fazla 2,70 m ile sınırlandırılmaktadır. Eğer binada bodrum kat var ise, bu katın yüksekliği de 2,40 m ile sınırlandırılmıştır.

3.2.3. Taşıyıcı duvar kalınlıkları

Sıva kalınlığı sayılmaksızın yığma binaların taşıyıcı duvarlarında kullanılması gereken en küçük duvar kalınlıkları binanın kat sayısına bağlı olarak aşağıdaki tabloda (Çizelge 3.2) verilmiştir.

Çizelge 3.2. Taşıyıcı duvarların en küçük kalınlıkları (DBYBHY 2007)

Deprem Bölgesi	İzin Verilen Katlar	Doğal Taş (mm)	Beton (mm)	Tuğla ve Gazbeton	Diğerleri (mm)
1, 2, 3 ve 4	Bodrum kat	500	250	1	200
	Zemin kat	500	-	1	200
1, 2, 3 ve 4	Bodrum kat	500	250	1,5	300
	Zemin kat	500	-	1	200
	Birinci kat	-	-	1	200
2, 3 ve 4	Bodrum kat	500	250	1,5	300
	Zemin kat	500	-	1,5	300
	Birinci kat	-	-	1	200
	İkinci Kat	-	-	1	200
4	Bodrum kat	500	250	1,5	300
	Zemin kat	500	-	1,5	300
	Birinci kat	-	-	1,5	300
	İkinci Kat	-	-	1	200
	Üçüncü kat	-	-	1	200

Ayrıca taşıyıcı duvar elemanlarında kullanılacak doğal veya yapay kâgir elemanların en düşük basınç mukavemetinin 5,0 MPa olması gerekmektedir. Bodrum katlarında kullanılacak olan doğal taşların basınç dayanımının ise en az 10,0 MPa olması istenmektedir. Bodrum katlarında beton duvar yapılması halinde ise kullanılacak en düşük beton kalitesini C16 sınıfında olması gerekmektedir.

3.2.4. Taşıyıcı duvarlarda bırakılacak boşluklarla ilgili sınırlandırmalar

- Bina köşesine en yakın pencere veya kapı ile yapı köşesi arasında bırakılacak dolgu duvar parçasının plandaki uzunluğu 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde 1,5 m'den, 3. ve 4. derece deprem bölgelerinde ise 1,0 m'den az olmaması gerekmektedir. Kerpiç duvarlı binalarda bütün deprem bölgelerinde bu sınır en az 1,0 m'dir.
- Yapı köşeleri dışında pencere ve kapı boşlukları arasında kalan dolgu duvar parçalarının plandaki uzunluğunun 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde 1,0 m'den, 3. ve 4.

derece deprem bölgelerinde 0,80 m'den az olmaması istenmektedir. Kerpiç duvarlı yığma yapılarda bütün deprem bölgelerinde bu sınır en az 1,0 m'dir.

- Pencere ve kapı boşluklarının her iki kenarında betonarme düşey hatıllar yapılması durumunda minimum dolu duvar parçası uzunluğunun en fazla %20 oranında azaltılmasına müsaade edilmektedir.

- Yapı planında birbirini dik olarak kesen duvarların ara kesitine en yakın pencere veya kapı boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak dolgu duvar parçasının plandaki uzunluğunun tüm deprem bölgelerinde 0,50 m'den az olmaması istenmektedir. Eğer boşlukların her iki kenarında kat yüksekliği boyunca betonarme düşey hatıl varsa dolu duvar parçasının uzunluğunun 0,50 m'den az olmasına izin verilmektedir.

- Yapıda bulunan herhangi bir kapı ve pencere boşluğunun plandaki uzunluğunun maksimum 3,0 m olmasına müsaade edilmektedir.

- Herhangi bir duvarın mesnetlenmemiş uzunluğu boyunca kapı ve pencere boşluklarının plandaki uzunluklarının toplamı mesnetlenmemiş duvar uzunluğunun %40'ından fazla olmaması gerekmektedir.

- Yığma yapıda bulunan herhangi bir taşıyıcı duvarın planda kendisine dik olarak sapanan taşıyıcı duvar eksenleri arasında kalan desteklenmemiş uzunluğunun 1. derece deprem bölgesinde en çok 5,5 m, diğer deprem bölgelerinde ise en çok 7,5 m olmasına izin verilmektedir.

- Yukarıdaki koşulunun sağlanamaması durumunda yapı köselerinde ve söz konusu duvarda planda eksenden eksene mesafeleri 4,0 m'yi geçmeyen betonarme düşey hatıllar yapılması gerekmektedir. Ancak bu tür düşey hatıllarla desteklenen duvarların toplam uzunluğunun en fazla 16,0 m olmasına izin verilmektedir.

3.2.5. Lentolarla ilgili kurallar

Pencere ve kapı lentolarının duvarlara oturan uçlarının her birinin uzunluğunun, serbest lento açıklığının %15'inden ve 200 mm'den az olmaması istenmektedir. Kerpiç duvarlı yığma yapılarda kapı üst ve pencere üst ve altlarına ahşap lento yapılmasına izin verilmektedir.

3.2.6. Yatay hatıllarla ilgili kurallar

2007 Deprem Yönetmeliği'nde merdiven sahanlıkları da dahil olmak üzere her bir döşemenin taşıyıcı duvarlara oturduğu yerde betonarme döşeme ile birlikte dökülmüş betonarme yatay hatılların yapılması istenmektedir. Bu yatay hatılların, taşıyıcı duvar genişliğine eşit genişlikte ve en az 200 mm yükseklikte olması istenmektedir. Hatılarda beton kalitesinin en az C16 sınıfında olması istenmekte ve içlerine taş duvarlarda en az üçü altta, üçü üstte 6Ø10, diğer malzemeden taşıyıcı duvarlarda ise en az 4Ø10 boyuna donatı ile birlikte en çok 250 mm aralıklarla Ø8 etriye konulması gerekmektedir. Kerpiç yığma duvarlarda da ahşap hatıl yapılmasına izin verilmektedir.

3.2.7. Düşey hatıllarla ilgili kurallar

Yığma yapıların deprem dayanımlarının artırılması için bina köşelerinde, taşıyıcı duvarların düşey ara kesitlerinde, kapı ve pencere boşluklarının her iki yanında kat yüksekliği boyunca uzanan betonarme düşey hatıllar yapılabilmektedir. Düşey hatılların, her iki yandan gelen taşıyıcı duvarların örülmesinden sonra duvarlara paralel olarak konulacak kalıpların arasındaki bölümün donatılarak betonlanması ile yapılması istenmektedir.

Bina köşelerinde ve taşıyıcı duvarların ara kesitlerinde, düşey hatılların en kesit boyutlarının kesişen duvarların kalınlıklarına eşit olması istenmektedir. Düşey hatılarda beton kalitesinin en az C16 olması gerekmektedir. İçlerine taş duvarlarda her iki duvar yüzüne paralel olarak en az 3 adet olmak üzere 6Ø12, diğer tüm malzemelerden taşıyıcı duvarlarda ise en az 4Ø12 boyuna donatı ile birlikte en çok 200 mm aralıklarla ile Ø8 çapında etriye konulması gerekmektedir.

3.2.8. Döşemeler

2007 Deprem Yönetmeliği yığma yapıların kat döşemelerinin TS-500'deki kurallara göre tasarlanmış boyut ve donatıları olan betonarme plak ya da dişli döşemeler olmasını istemektedir. Konsol balkonların, kornişler ve çatı saçaklarının yalnızca kat döşemelerinin uzantısı olarak yapılmasına müsaade edilmekte ve serbest konsol uzunluğunun en fazla 1,5 m olması talep edilmektedir.

3.3. Yığma Yapı Duvarlarında Kullanılan Malzemeler

Kâgir yapıların taşıyıcı duvar elemanlarını oluşturan malzemeler: doğal taş, tuğla, beton briket ve bağlayıcı harçtır. Bu malzemelerin mukavemet karakteristikleri kendi başlarına önemlidir. Fakat birlikte kullanılıp yığma duvar gibi taşıyıcı elemanlar ortaya çıkarıldığı için duvar elemanının özellikleri daha çok önemlidir.

3.3.1. Doğal taş

En eski yığma duvar malzemesi olduğu kolaylıkla söylenebilir. Her yerde rahatça bulunabilir. Gevrek bir malzeme olduğu için basınç mukavemeti yüksek, çekme mukavemeti düşüktür. Bu yüzden basınca çalışan yığma duvarlarda kullanılması uygun görülmektedir. Elastisite modülü, betonunkine eşit ve hatta daha büyük değerlere ulaşabilir. Dış etkilere hassas olup, bünyesinde bozulmalar oluşabilir. Araştırmalar göstermiştir ki doğal taş elemanında basınç mukavemetinin çekme mukavemetine oranı 11-12 civarındadır.

Doğal yığma yapı taşı TS EN 1467'ye göre tabiatta mevcut taş ocaklarından elde edilen, atmosferik olaylara dayanıklı, petrografik ve mekanik özellikleri açısından inşaat işlerinde kullanılmaya uygun taşlardır. Yığma yapıların inşasında kullanılan doğal taşların donma-çözölmeye ve diğer atmosfer olaylarına karşı yüksek dayanıklı olması beklenir. Aynı zamanda doğal taşların harca iyi yapışması ve kolay bir şekilde işlenebilir olması beklenir (TS EN 1467).

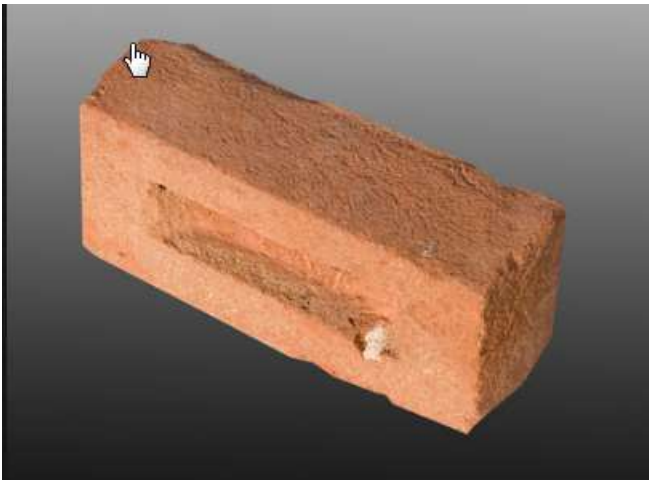
Doğal taşlar, tuğladan imal edilen kâgir yapıların temel, bodrum, dış ve bazen de iç duvarlarında kullanılmaktadır. Yığma taş duvarlar yaklaşık 50-60 cm kalınlıktadır. Örgü biçimlerinin çok iyi düzenlendiği söylenemez. Fakat duvar kalınlıklarının fazla olmasından dolayı düşey normal gerilme değerleri düşük olmaktadır. Çizelge 3.3'de taş çeşitleri ve bunlara bağlı olarak çekme, basınç, kayma dayanımları ve elastisite modülleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Doğal yapı taşları ve ortalama mekanik özellikleri (Jafarov 2012)

Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı(MPa)	Kayma Dayanımı(MPa)	Çekme Dayanımı(MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Granit	30-70	14-33	4-7	30000-55000
Mermer	25-65	9-45	1-15	25000-70000
Kireç taşı	18-35	6-20	2-6	10000-55000
Kumtaşı	5-30	2-10	2-4	13000-50000
Kuars	10-30	3-10	3-4	15000-55000
Serpantin	7-30	2-10	6-11	23000-45000

3.3.2. Tuğla

Türkiye’de yığma binalarda dolu harman ve fabrika tuğlası olmak üzere iki çeşit tuğla kullanılmaktadır. Özellikle 1970’li yıllara kadar yaygın olarak üretilen ve günümüzde yerini fabrika tuğlasına bırakan dolu harman tuğlası kil, killi toprak ve balçığın yoğrulup su, kum, öğütülmüş tuğla, kiremit tozu gibi malzemelerle karıştırılıp şekil verildikten sonra genellikle harman yerinde ocaklarda pişirilmesi yolu ile üretilen yığma yapı malzemesidir. Basınç mukavemetleri orta ve az dayanımlı olarak sınıflandırılmaktadır. Harman tuğlalarının orta seviyede basınç dayanımları 5 MPa, az seviyede ise 3 MPa olarak verilmektedir. Harman tuğlası genelde 190 x 90 x 50 mm boyutlarına sahiptir. Harman tuğlası düşük ve kontrolsüz bir ısıda üretildiği için mukavemeti düşük ve su emme miktarı yüksektir. Su emme oranı kuru ağırlığının % 20’si civarındadır. Fakat harç cebi ve deliksiz olma gibi özelliklerinden dolayı oldukça yüksek kesme dayanımı vardır. Örnek bir dolu harman tuğlası Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Doğal harman tuğlası

Fabrika tuğlası; kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya hep birlikte harman edilip, gerektiği zaman su, kum, öğütölmüş tuğla ve kiremit tozu, kül gibi maddelerde karıştırıldıktan, şekillendirilip ve kurutulduktan sonra, fırınlarda pişirilmesi suretiyle elde edilen bir yığma yapı malzemesidir. Ülkemizde yığma yapılarda TS 4377-T1'e göre üretilen ve hafif tuğla olarak adlandırılan düşey delikli blok tuğla yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde TS 771-1'e göre üretilen 190 x 190 x 135 ve 190 x 190 x 85 mm boyutunda yatay delikli dolgu tuğlası ile 190 x 190 x 135 ve 190 x 290 x 135 mm boyutundaki düşey delikli taşıyıcı blok fabrika tuğlası da üretilmektedir (TS EN 771-1). 190 x 190 x 85 mm boyutlarına sahip fabrika tuğlası Şekil 3.2'de gösterilmektedir.

Tuğla malzemesinin basınç dayanımı; tuğla toprağının cinsi, tuğlanın boşluk oranı, pişirilme sıcaklığı, üretim şekli, delikli ise delik oranı, tuğla kenarlarının biçimi ve yüklenme yönü gibi faktörlere bağlıdır (TS EN 771-1).



Şekil 3.2. 190 x 190 x 85 mm boyutlarına sahip fabrika tuğlası

3.3.3. Kerpiç

Killi toprağın içine saman veya bitkisel veya hayvansal lifler gibi katkı maddeleri ilave edilerek su ile karıştırılmasıyla elde edilen tahta kalıplara dökölüp sıkıştırılması ve çatlamaması için önce gölgede, daha sonra güneşte kurutulmasıyla hazırlanan yapı malzemesine kerpiç denir (Şekil 3.3). Kerpiğin esas bileşeni topraktır. Toprak, tane iriliğine göre kil, silt ve kumdan meydana gelmektedir. Kil daha çok bağlayıcılık görevini üstlenmektedir, kum ise kerpiç içyapısının temel maddesidir. Kerpiğin basınç dayanımını

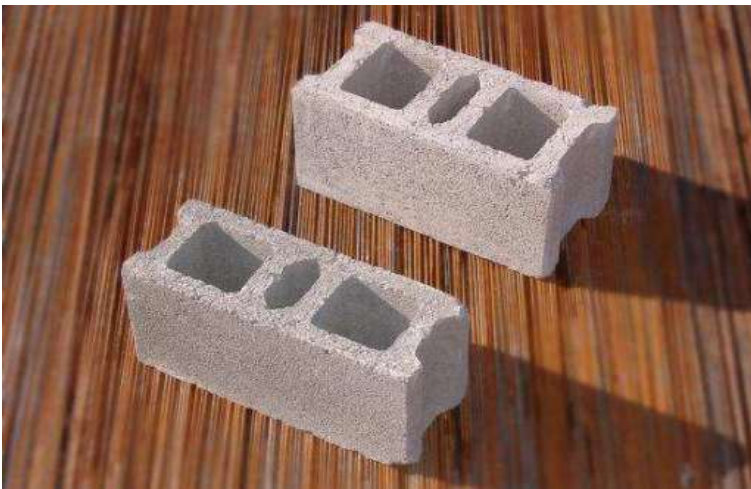
düşüktür. Fakat eskiden kullanımı çok yaygındı. Çünkü yangına, ısıya dayanıklılığı yüksek ve maliyet değerleri ise düşük bir malzemedir. Kerpiç suya karşı oldukça hassas bir malzemedir. Eğilme ve darbe gibi etkiler altında mukavemeti yetersizdir. Kireç gibi katkı maddeleri ve güçlendirilme metotları ile kerpicin dayanıklılığı artırılabilir (Jafarov 2012).



Şekil 3.3. Kerpiç malzemesi

3.3.4. Beton briketler

Çimento, agrega, su ve diğer katkı maddelerinden oluşan bir yapı malzemesidir (Şekil 3.4). Taşıyıcı yığma duvarlarda dolu, taşıyıcı olmayan duvarlarda ise boşluklu briket olarak kullanılmaktadır. Anma yüksekliği en fazla 135 mm'dir. Briket üretiminde agrega olarak kum-çakılın yanı sıra cüruf, doğal hafif agrega da kullanılmaktadır. Basınç dayanımları oldukça düşüktür (Kalkan 2008).



Şekil 3.4. Beton briketler

3.3.5. Hafif beton bloklar

Hafif beton bloklar, beton briket sınıfı içinde TS 453’de yer almaktadır. Hafif beton bloklar olarak isimlendirilen ‘‘gaz ya da köpüklü beton bloklar; ince öğütölmüş silisli agrega ve inorganik bağlayıcılara alüminyum katılmak sureti ile gözenek oluşturulan ve buhar küru ile sertleştirilen yapı malzemeleridir’’ (Kalkan 2008). Şekil 3.5’te örnek hafif beton bloklar gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Hafif beton bloklar

3.3.6. Dolgu duvar harçları

Kâgir yapılarda, taşıyıcı yığma duvarları oluşturan elemanları birbirine bağlayan malzemeye harç denir. TS 2848 duvar harcını ‘‘TS 2717’ye uygun harç kumu ile bağlayıcı olarak çimento, kireç hamuru, söndürölmüş toz kireç, harç çimentosunun ayrı ayrı veya bir kaçı bir arada kullanılarak ve yeteri kadar su ve gerektiğinde katkı maddeleri ile karıştırılarak elde edilen ve duvarların örölmesinde kullanılan yapı malzemesidir’’ şeklinde tanımlamıştır.

Yığma duvar imalatında kullanılan harç akıcı, kolayca şekil verilebilen plastik bir kıvamda olmalıdır. Duvar harçlarının basınç mukavemeti i) içerisinde kullanılan malzemelerin granülometresine, ii) agreganın dayanıklılığına, iii) su/çimento değerine ve iv) işçiliğe bağlı kalmaktadır. Yığma duvarların mukavemeti büyük oranda harç ile yığma duvar malzemesinin yapışmasına ve harcın çekme mukavemetine bağlıdır. Bu sebeple harcın basınç mukavemetinden çok, çekme dayanımı ve duvar malzemesiyle olan yapışma özelliği ciddiye kazanmaktadır (Kalkan 2008).

Duvar harcı yapımında genellikle 1:3:6-7 oranlarında çimento, kireç, kum karışımı kullanılmakta ve bu şekilde üretilen harcın basınç mukavemeti 2,5-3,0 MPa civarında olmaktadır. Harç malzemesinin en büyük sorunlarından biri iyi pişirilmemiş tuğlanın harcın içerisindeki suyu emerek yeterince sertleşmesini ve dayanım kazanmasını önlemesidir. Başka bir ifade ile iyi pişirilmemiş tuğlalar sebebi ile yeterli harç mukavemeti sağlanamamaktadır (Bayülke 2011).

3.4. Duvar Dayanımı

Yığma yapı taşıyıcı duvarların dayanımı, duvar malzemesi olarak kullanılan blokların basınç mukavemeti ile bu blokların arasında bağlayıcılık görevi üstlenen harcın dayanımına bağlıdır. Kullanılan harcın kalınlığı ya da derz kalınlığı da önemlidir. Bununla birlikte düşey delikli tuğlalardaki boşluk oranının artmasıyla duvarın kesme ve basınç mukavemetleri azalmaktadır (Bayülke 2011).

3.4.1. Duvar basınç dayanımı

Genel olarak duvar basınç mukavemeti, basınç dayanımı düşük bloklarda blok basınç mukavemetinin %50'si, basınç dayanımı yüksek bloklarda %25'i kadardır (Bayülke 1992). Duvarda kullanılan harç mukavemetinin duvar bloklarının dayanımından yüksek olması, duvar basınç mukavemetini bir miktar fazlalaştırmaktadır. Fakat harç dayanımının aynı olması durumunda daha yüksek mukavemetli blok kullanılması duvar basınç mukavemetini daha yüksek bir oranda fazlalaştırmaktadır. Duvar basınç dayanımı için en iyisi, yüksek mukavemetli tuğla ile yüksek mukavemetli harç kullanılmasıdır. Derz kalınlığı azalırken duvar basınç mukavemeti artmaktadır (Bayülke 2011).

Standartlara göre taşıyıcı olan tuğlalarda düşey delik oranı %35 ve daha az olmalıdır. Fakat piyasada kullanılan tuğlalarda delik oranları en iyi ihtimalle % 45'dir. Delik oranı %60'a kadar olan taşıyıcı tuğlalar da kullanılmaktadır. Delik oranının fazlaşması ile duvarda düşey kuvvet taşıyan alan küçüldüğü için duvar mukavemeti azalmaktadır. Taşıyıcı tuğla elemanlarında delikler arasındaki et kalınlığının düşmesi, oluşturulan delik biçimleri ve yerleri de taşıyıcı tuğla ve dolayısıyla duvar mukavemetini azaltmaktadır (Bayülke 2011).

3.4.2. Duvar kayma dayanımı

Yatay deprem kuvvetleri yığma yapı duvarlarında kesme gerilmelerinin oluşmasına neden olur. Tuğladan imal edilen yığma yapının deprem dayanıklılığı büyük oranda duvarlarının kesme kuvveti taşıma kapasitesine bağlıdır. Duvar kayma dayanımı için

$$\tau = \text{Duvar çatlama dayanımı} + \mu \times \text{Duvar düşey gerilmesi} \quad (3.1)$$

denklemleri verilmektedir. Bu ifadeye göre duvar kayma dayanımı, tuğla ile harç arasındaki aderans ve harç-tuğla ya da tuğla-tuğla arasındaki sürtünme kuvvetine bağlıdır.

Değişik duvarlar için duvar çatlama dayanımı Çizelge 3.4'de sunulmaktadır. Bu değerler 2007 Deprem Şartnamesinden elde edilmiştir. Duvarların kayma dayanımı için verilen değerlerden deneylerle tespit edilmiş daha yüksek değerler varsa o dayanımlar kullanılabilir.

Çizelge 3.4. Duvarlarda kesme dayanımı (DBYBHY 2007)

Duvar cinsi	Kayma ya da çatlama dayanımı τ
Düşey delikli Blok tuğla Delik oranı < % 35 Çimentolu kireç harçlı	0,25 MPa
Düşey delikli Blok tuğla Delik oranı > % 35 Çimentolu kireç harçlı	0,12 MPa
Dolu blok tuğla Harman tuğlası çimentolu kireç harçlı	0,15 MPa
Taş duvar Çimentolu kireç harçlı	0,10 MPa
Gaz beton Özel harçlı	0,15 MPa
Dolu beton briket Çimento harçlı	0,20 MPa

3.4.3. Duvar elastisite modülü

Yığma duvar elastisite modülü 2007 deprem yönetmeliğinde duvar basınç dayanımının 200 katı olarak verilmektedir.

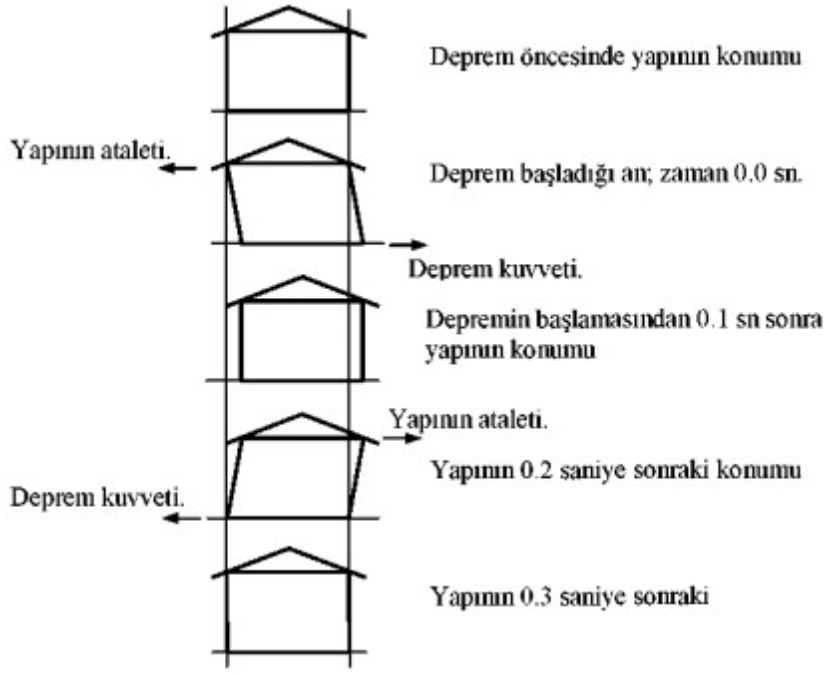
4. YIĞMA YAPILARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI ve GÜÇLENDİRİLMESİ

4.1 Yığma Yapıların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı

Yığma yapıların esas taşıyıcı elemanları duvarlardır. Yığma yapı duvarların tamamının taşıyıcı özelliğe sahip olması bu yapıları gereğinden fazla rijit duruma getirir. Aynı zamanda yığma duvarlarda kullanılan bağlayıcı malzeme ve tuğla veya doğal taşın mekanik özellikleri duvarların çok gevrek bir davranış sergilemesine neden olur. Bu nedenle yığma yapılar deprem esnasında rijit bir davranış gösterirler. Başka bir ifade ile kâgir yapılar esnek bir davranış sergileyemeden ve yeterince yer değiştirme göstermeden hasara uğrarlar. Bu nedenle yığma yapı kat adedi 1. derece deprem bölgelerinde en fazla iki, 2. ve 3. derece deprem bölgelerinde en fazla üç ve 4. derece deprem bölgelerinde ise en fazla dört ile sınırlandırılmaktadır (DBYBHY 2007). Bununla birlikte konut dışı binalarda insanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu yapılarda kâgir yapı türünün ilk tercih nedeni olmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Yığma yapıların rijitliklerinden dolayı gevrek bir davranışı göstermeleri deprem performansı bakımından kötü de olsa, yığma yapıların düzgün bir şekilde modellenmeleri ve yapılarda kullanılacak malzemelerin uygulama boyunca doğru bir şekilde denetlenmesi ile kâgir yapılarda muhtemel hasarların azalmasına yardımcı olunacaktır.

Eylemsizlik kanuna göre hareket eden veya durağan haldeki bir cisme dışarıdan bir kuvvet etki ederse, cisim bu kuvvete karşı bir direnç kuvveti geliştirir. Direnç kuvveti tesir eden kuvvete aksi yönde oluşur. Bu direnç kuvvetine atalet kuvvet denir. Yapıların deprem kuvvetleri gibi ani olarak yön ve şiddet değiştiren etkilere karşı gösterdiği atalet davranışı Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

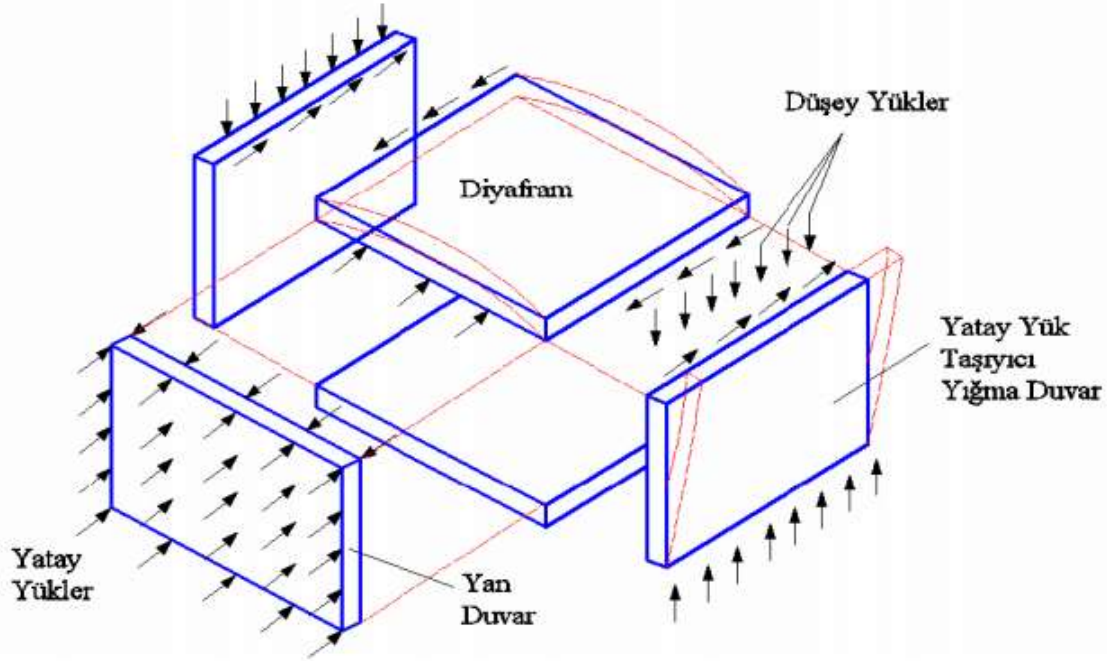


Şekil 4.1. Yığma yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışlarının şematik açıklanması (Bayülke 1978)

Şekil 4.1'deki örnekte deprem kuvveti, yapıyı şekilde gösterildiği gibi sağa doğru çekmeye başlar. Bina ise kendi ataleti nedeniyle bu harekete karşı koyarak yerinde durmak ister. Ancak yapının alt tarafı zeminle beraber hareket ettiği için, yapı da alt bölgesini takip etmek isteyecektir. Bu esnada deprem kuvvetleri yön değiştirecek ve yapının alt tarafını tersi istikamette hareket ettirecektir. Yapı örneğin 0,1 sn önce almış olduğu konumunu yeniden değiştirmek zorunda kalacaktır. Bahsedilen gidip gelme hareketi boyunca meydana gelen atalet kuvvetleri ve depremin dinamik kuvvetleri binayı iki ucundan çekmeye başlayacaktır. Eğer binayı oluşturan yapısal elemanlar arasında yeterli bir dayanım varsa bina çatlama dan eski halinde durabilir. Ancak bu güç yok ise yapıda çatlaklar meydana gelmeye başlar. Deprem ivmelerinin ilerleyen aşamalarında bu çatlaklar genişler ve yavaşça binanın taşıyıcı duvarlarının ve varsa kolon ve kirişlerinin parçalanıp hasar almasına neden olabilir (Bayülke 1978).

Yapılara deprem sırasında yatay kuvvetler etkimektedir. Karkas yapılarda bu yatay kuvvetlerin yapının kat seviyelerinde toplandığı kabul edilerek, bu kuvvetler döşeme seviyelerine uygulanmaktadır. Daha sonra bu kuvvetler diyafram etkisi ile kat kolonlarına transfer edilmektedir. Yığma yapılarda ise deprem kuvvetlerinin tamamının duvarlar

tarafından taşındığı varsayılmaktadır. Bu nedenle, yığma yapılarda kat döşemelerinden veya çatıdan gelen deprem kuvvetleri duvarlara aktarılmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Deprem kuvvetlerinin aktarılması (Çöğürücü 2007)

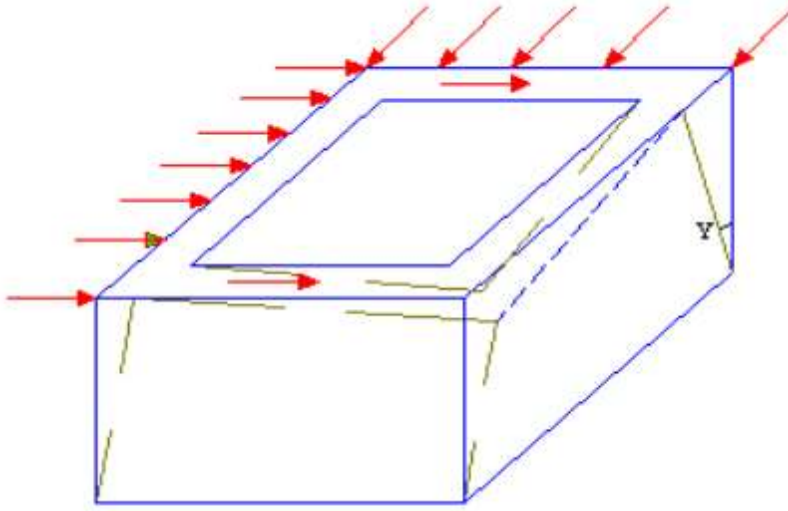
Eğer yığma yapıda betonarme bir döşeme sistemi varsa, bu sistem karkas yapılarda olduğu gibi diyafram etkisi gösterecek ve aldığı düzlem içi kuvvetleri, üzerinde mesnetlendiği kenar duvarlara aktaracaktır. Kenar duvarlar döşemelerden gelen düşey yüklere ilaveten bu kesme kuvvetlerin etkisi altında olacaktır. Başka bir deyişle kenar duvarlar hem yatay hem de düşey taşıyıcı eleman olarak çalışacaktır. Bunun gerçekleşmesi için döşeme ile üzerine mesnetlendikleri duvarlar arasında kuvvet aktarımını temin edecek bağlantı detaylarının olması gerekmektedir.

Şekil 4.2’de gösterildiği gibi döşemeden kenar duvarlara aktarılan yatay kuvvetler, bu duvarlarda kesme kuvvetleri şeklinde etkimektedir. Kesme kuvvetlerinden dolayı kenar duvarlarda kayma gerilmeleri meydana gelecektir. Eğer bu kayma gerilmeleri duvarların kesme dayanımlarından fazla olursa duvarlarda 45 derecelik eğik çekme çatlakları oluşacaktır.

Duvarlardaki aksenal kuvvetin/basıncın büyüklüğüne göre bu çatlakların açısı değişmektedir. Eğer bir duvarda yüksek düşey basınç kuvvetleri varsa bu açı 45 dereceden daha büyük olmaktadır. Deprem ivmeleri sürekli yön değiştirdiklerinden dolayı duvarlarda

diğer yönde de eğik çekme çatlakları oluşması kaçınılmazdır. Oluşan kesme çatlaklarının genişlikleri büyüdükçe duvarın düşey yük taşıma kapasitesi de etkilenmektedir. Bu şekilde eğik çekme çatlaklarından sonra düşey basınç çatlakları da meydana gelmektedir.

Deprem kuvvetleri nedeniyle yığma yapı duvarları iki eksenli gerilmeye maruzdurlar. Gerçekleşen deprem hareketlerinin incelenmesi ile yığma yapı duvar özellikle köşe birleşim yerlerinin bu iki eksenli gerilmeler altında gerilme birikimleri yaşadığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.3).

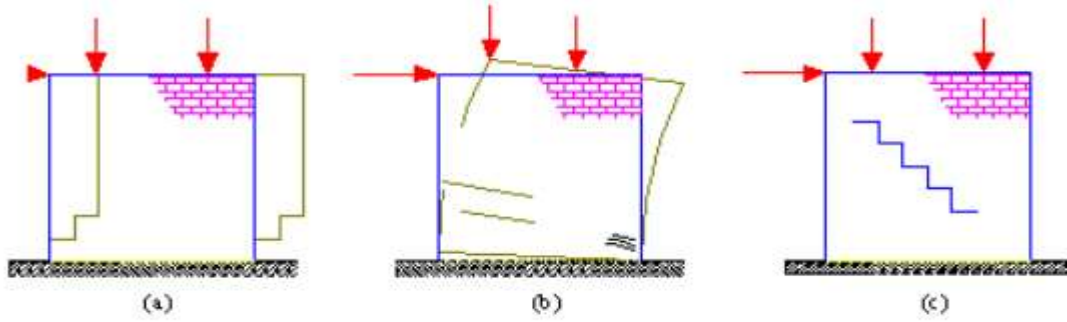


Şekil 4.3. Deprem kuvvetleri altında yapı köşelerinin davranışı (Çöğürçü 2007)

Yukarıda bahsedildiği gibi yığma yapı duvarları hem yatay hem de düşey yükleri taşımaktadırlar. Ancak yığma duvarlar genelde düşey yüklere göre tasarlanmaktadır. Çünkü düşey kuvvetlerin tanımlanması ve hesap edilmesi yatay kuvvetlere nazaran daha belirgindir. Bu yüzden taşıyıcı duvarların düşey yükler göz önüne alındığında yatay yüklere daha az dayanıklı oldukları söylenebilir. Yatay kuvvetlerin hem zamanının hem de şiddetinin belirlenmesindeki zorluklar nedeniyle yığma yapıların yatay yüklere göre tasarımı oldukça zordur. Bu gerçek, kâgir yapıların deprem kuvvetlerine karşı tasarımını ve mevcut yığma yapıların güçlendirilmesini zorlaştırmaktadır.

Taşıyıcı yığma duvarların dayanımlarının çeşitli nedenlerle düşmesi, ilk olarak yığma yapı sisteminde çatlamalara ve kırılmalara neden olmakta ve daha sonra yapının göçmesi ile sonuçlanabilmektedir. İki eksenli gerilme durumuna maruz taşıyıcı yığma duvarların yükleri kaldıramaz duruma gelmesi ve akabinde göçmeleri üç değişik şekilde ortaya çıkmaktadır.

Şekil 4.4'te gösterildiği üzere bunlar; a) yatay ötelenme göçmesi, b) eğilme göçmesi ve c) kayma göçmesi şeklindedir.



Şekil 4.4. Taşıyıcı duvarlarda göçme türleri: a) Yatay ötelenme göçmesi, b) eğilme göçmesi, c) kesme göçmesi (Cöğürçü, 2007).

4.2. Yığma Yapılarda Oluşan Hasar Türleri

Kâgir yapılarda neredeyse bütün duvarlar taşıyıcı oldukları için duvarlardaki her hangi bir hasar direkt olarak yığma taşıyıcı sistemi etkiler. Bu yüzden betonarme karkas yapılarda olduğu gibi taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan kısım hasarı gibi bir ayrım yapılmaz (Sallio 2005). Kâgir yapıların taşıyıcı duvarları oturmalara karşı çok hassastır. Yığma duvarların gevrek olması ve çatlama dayanabileceği gerilme miktarının çok düşük olması nedeniyle en ufak oturma etkisi duvarlarda gözle görülür sonuçlar meydana getirir. Kısaca çatlama dayanımı (çekme veya kesme) düşük bir malzeme olduğu için taşıyıcı yığma duvarlar kolay bir şekilde hasar görür.

Zemin oturmalarının yanı sıra yığma yapılarda hasar oluşmasını tetikleyen farklı sebepler de olabilmektedir. En fazla hasar oluşuma sebep olan etmenler aşağıda sıralanmıştır:

- Duvar köşe birleşim detaylarının uygun bir şekilde yapılmaması,
- Yapının projelendirme esnasında hesap edilen deprem yükünden daha fazla bir yükün yığma yapıya tesir etmesi,
- Kâgir yapının simetrik olamayan bir şekilde planlanması,
- Duvarlarda kullanılan malzeme dayanımlarının oldukça düşük olması ve dolayısıyla yapı deprem davranışının sünek olmaması,
- Duvarlarda kullanılan harcın çekme dayanımının düşük olması,
- Yapı imal edilirken yönetmelik ve şartnamelere uyulmaması,

- Yapının öz ağırlığından dolayı fazla deprem kuvveti çekmesi,
- Yapının planda kütle ve rijitlik merkezlerinin farklı olması ve bundan dolayı yapının burulmaya tesirlerinin altında kalması,
- Ağaçların yığma yapı duvarlarına hasar vermesi
- Yangın (Bayülke 2001-b, Özsaraç 2008, Uzun 2017).

4.3. Yığma Yapıların Güçlendirilmesi

Yapı mühendisliği kapsamında güçlendirme, bir yapının sistem güvenliğinin ve kapasitesinin daha iyi bir duruma getirilmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Aşağıda sıralanan sebeplerden dolayı yığma yapıların güçlendirilmesine gerek duyulmaktadır:

- Yığma yapı sistem malzemesinin düşey yüklere karşı yeterli dayanımının olmaması,
- Doğru bir şekilde tatbik edilmeyen inşaat uygulamaları,
- Binanın ilk tasarımdan farklı fonksiyon veya kullanım amacı kazanması,
- Yığma yapı içerisinde ek duvarların yapılması veya bazı iç duvarların yıkılması gibi kullanıcıdan kaynaklanan hata unsurları,
- Çevresel faktörler nedeniyle yapı elemanlarının dayanımında zamanla oluşan azalma,
- Yapının güncel yönetmeliklerin gerektirdiği şartları sağlamaması (Özsaraç 2008).

Yığma yapılarda güçlendirme işlerinin genel prensiplerine uyulması gerekmektedir. Bu prensipler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yığma yapının hafifletilmesi için çaba harcanmalıdır. Kalın bir şekilde imal edilmiş yer ve duvar kaplamaları, tesviye betonları hafif malzemeler ile yer değiştirilmelidir.
- Yapı köşe bölgelerinde yakın olan kapı pencere boşluklarının boyutları küçültülmelidir.
- Yığma yapının kütle ve rijitlik merkezleri olabildiğince birbirlerine yaklaştırılmalıdır. Bu amaç doğrultusunda ek yeni duvarlar imal edilebilir.
- İşçilik hatalarını en aza indirebilecek yerel malzemeler tercih edilmelidir.
- Güçlendirmeden sonra yapının en az deprem öncesi kadar dayanıklılığının olmasına dikkat edilmeli, mümkünse mukavemet daha da arttırılmalıdır.
- Yığma yapıda iç ve dış taşıyıcı duvarların kayma ve normal gerilmelere karşı kapasiteleri arttırılmalıdır.

Günümüzde sıklıkla başvurulan yığma yapı güçlendirme teknikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çimento enjeksiyonu,
- Püskürtmen beton,
- Gergi demirleri,
- Betonarme hatıl ilavesi,
- Ahşap dikme ve çaprazlar,
- FRP plakalar,
- Karbon fiber donatılı polimer (CFRP) plakalar,
- CFCM (Carbon Fiber Cement Matrix) sistemi,
- Kullanılmış araba lastiği,
- Perde duvar ile güçlendirme,

Aşağıdaki kısımlarda bu yöntemlerden kısaca bahsedilecektir. Püskürtme beton ile güçlendirme ise ayrı bir başlık altında ayrıca açıklanacaktır.

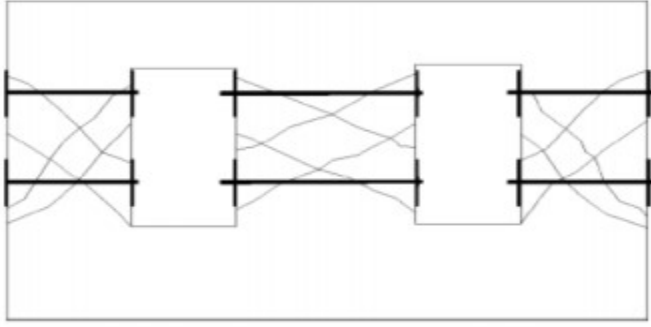
4.3.1. Çimento enjeksiyonu ile güçlendirme

Çimento enjeksiyonu metodu ile zayıf ve çok düşük dayanımlı moloz taş duvarların mukavemetlerinin yükseltildiği ve daha sağlam bir taşıyıcı duvar oluşturulduğu tespit edilmiştir. Taş duvarlarda çimento enjeksiyonu düşük basınç seviyesinde uygulanır. Uygulama esnasında yığma duvarın içerisine kadar uzanan ince borular yerleştirilir. Duvarın her iki yüzeyi 20–30 mm kalınlığında sıva ile kaplanır. Bundan sonra en alttaki deliklerden başlayarak düşük basınçlı çimento şerbeti yedirme işlemi yapılır. Çimento şerbetinin imalatında erken dayanımı yüksek portland çimentosu veya kendiliğinden genleşen çimento kullanımı, yapılan onarım ve güçlendirme işlemini hızlandırır.

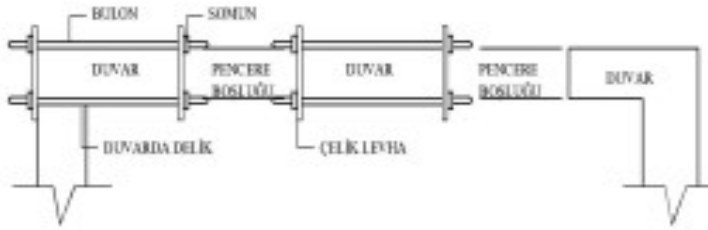
4.3.2. Çelik elemanlar ile güçlendirme

Bu güçlendirmede yönteminde taşıyıcı duvarlar kuşaklanarak veya yığma bir duvarın her yüzü, çatıya veya döşeme plakalarına sabitlenerek çelik levhalar kullanılabilir. Yığma taşıyıcı duvarlarda bulunan çatlakların büyümesini engellemek amacıyla, çatlakları dikine kesen çelik donatılar yerleştirilebilir. Şekil 4.5'de deprem sırasında pencere boşlukları

arasında kalan dolgu duvarlarda oluşmuş çekme çatlaklarını eğik kesen donatılar kullanılarak yapılan bir güçlendirme işlemi görülmektedir. Bu işlemde dolgu duvarlarda açılan deliklerden 16 mm çapında gergi çelik çubukları geçirilmekte ve donatı çubuklarının uçlarına açılan dişlerin içerisine somunlar geçirilmekte ve daha sonra somunlar sıkıştırılarak duvarlardaki çatlakların büyümesi engellenmektedir. Çeşitli nedenlerle dolgu duvarlarda delik açma işlemi yapılamaz ise Şekil 4.6'de gösterildiği gibi çelik gergi çubukları duvarların iç ve dış yüzeylerine yerleştirilir. Çubukların uçlarına çelik levhalar sabitlenerek bulonlarla çubuklar ve duvar sıkıştırılabilir.

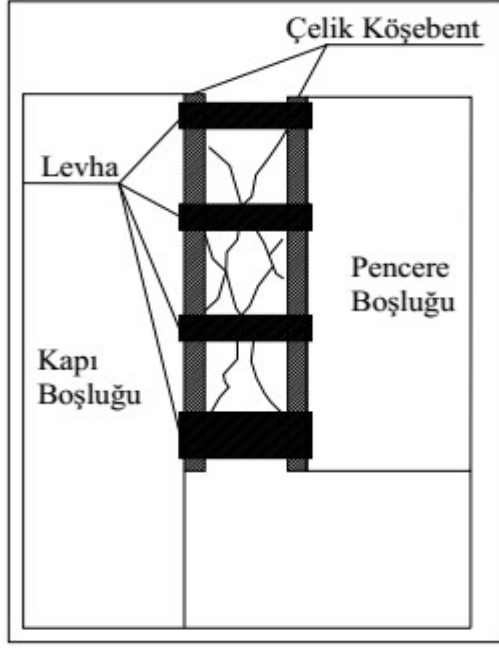


Şekil 4.5. Eğik çekme çatlakları için yerleştirilen donatılar (Özsaraç 2008).



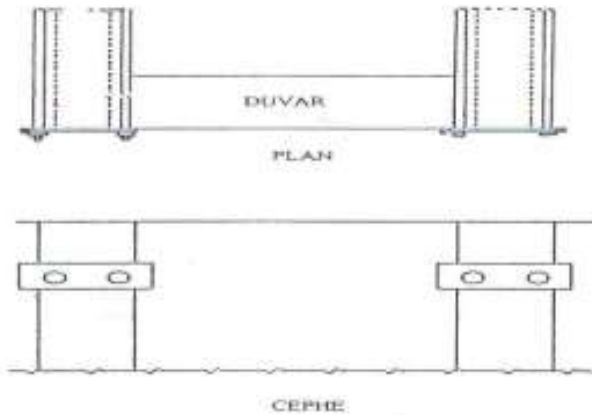
Şekil 4.6. Gergi çubuklar ve çelik levhalar ile duvarın sıkıştırılması (Özsaraç 2008).

Şekil 4.7'de gösterildiği gibi duvarlarda bulunan çatlakların büyümesini önlemek amacıyla boşluklar arasında bulunan dolu duvar üzerinde çelik levha ve köşebentlerle bir çelik çerçeve sistemi oluşturulabilir. Çerçevede bulunan tüm elemanların paslanmaya karşı bir sıva tabakası ile örtülmeleri gerekmektedir.



Şekil 4.7. Boşluklar arası hasarlı duvarın çelik levha ve köşebentlerle güçlendirilmesi (Bayülke 1999).

Şekil 4.8’de duvarların güçlendirilmesi için önerilen başka bir yöntem gösterilmektedir. Bu yöntemde yığma duvarların üst başları donatı çubuklarıyla bağlanmaktadır. Bu metotta kullanılan gergi çubuklarının uçlarındaki bulonlar uygun bir şekilde sıkılarak çubuklara bir ön gerilme verilmektedir. Gerilme miktarı, en az çeliğin akma dayanımının yarısı kadar olması gerekmektedir. Bu işlemde dolu duvarda yuvalar açılarak, açılan bu yuvalara donatılar yerleştirilir. Duvara yerleştirilen bu gergi demirlerine bir nevi ön gerilme verilerek, bu gerilmelerin depremde oluşacak çekme ve kesme gerilmelerinin belli bir kısmını karşılayacağı kabul edilmektedir (Bayülke 1999).



Şekil 4.8. Taşıyıcı yığma duvarların gergi çubukları ile güçlendirmesi (Bayülke 1999).

4.3.3. Betonarme hatillar ile güçlendirme

Kâgir yapı duvarlarını güçlendirmek için kullanılan yöntemlerden biri de betonarme hatıl inşaasıdır. Bu yöntemde düşey hatıl içermeyen uzun duvarları ve dayanıklılıkları zayıf olarak düşünülen yığma duvarları tek veya çift yönlü olarak betonarme hatıllarla sağlamlaştırmak mümkündür (Kalkan 2008).

Bu yöntemde uygulanan diğer bir teknik de yığma duvarlara inşa edilen yatay betonarme bağ kirişleridir. Mevcut bir kâgir yapıda özellikle kat seviyesinde yatay hatıl oluşturmak oldukça zordur. Bu nedenle mevcut çatı yerinden kaldırılarak, yatay betonarme hatıllar oluşturulur ve çatı sonradan yerine konur. Yığma yapılarda yatay betonarme hatıllar kullanarak bir çerçeve oluşturması da mümkün olabilmektedir.

4.3.4. Ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirme

Özellikle kırsal bölgelerde sık rastlanan tek katlı kâgir yapılar, ahşap dikme ve ahşap çaprazlarla güçlendirilebilir. Deprem esnasında gerilmelerin yığıldığı kapı ve pencere boşlukları da ahşap çerçeveler kullanarak güçlendirilebilir (Kalkan 2008).

4.3.5. Normal dökme beton ile güçlendirme

Bu yöntemde yığma duvarın yüzeyine hasır çelik konulur ve sonra projede hesaplanan derinlik kadar kalıp kurulur ve normal beton dökülerek güçlendirme işlemi yapılır. Genellikle dökülen beton tabakasının kalınlığı nedeniyle oluşan yer kaybı diğer sağlamlaştırma metotlarına göre daha fazla olmaktadır. Bu güçlendirme türünün uygulamasında kalıp kurma, beton dökülmesi ve taşıyıcı sistemin askıya alınması gibi yapı kullanıcılarını etkileyen faktörler bulunmaktadır. Bununla birlikte dökülen betonun vibratör ile sıkıştırılması zorunluluğu vardır. Yanlış projelendirme veya uygulamayı icra edenlerin uzman kişiler olmaması halinde bu güçlendirme metodunda sorunlar oluşabilmektedir. Ayrıca güçlendirme uygulanacak duvar yüzeyi ile beton aderansının incelenmesi gereklidir (Özsaraç 2008).

4.3.6. Kendiliğinden yerleşen beton ile güçlendirme

Ülkemizde son yıllarda kendiliğinden yerleşen beton oldukça yaygın olarak kullanılmakta olan bir yapı malzemesidir. Kendiliğinden yerleşen betonun özelliği, kurulan kalıba homojen bir şekilde kendiliğinden dağılarak, vibratör kullanmadan yerleşmesidir. Bilhassa donatı yoğunluğunun olduğu projelerde tercih edilmektedir. Ayrıca püskürtme betonun tatbik edilme zorluğundan ötürü bazı güçlendirme işlerinde kendiliğinden yerleşen beton tercih edilmektedir. Uygulama şekli normal beton kullanılarak yapılan güçlendirme tekniğiyle aynıdır. Ancak normal beton kullanımından farklı olarak kendiliğinden yerleşen beton ile duvar yüzeyi arasındaki aderans daha yüksektir. Normal betona nazaran daha az kalınlıkların kullanılabilmesinden dolayı yer kaybı da azaltılmış olmaktadır (Ediz 2006).

4.3.7. FRP ile güçlendirme

Lif katkılı polimerler (Fiber Reinforced Polymers - FRP) kâgir yapıların güçlendirilmesi işlemlerinde kullanılması son yıllarda hız kazanmıştır. Bu kompozit malzemeler cam, karbon, elyaf, aramid vs. lifleriyle takviye edilmiş reçine karışımından oluşmaktadırlar. Fiberler (lifler) yük taşıyan elemanlardır. Reçine karışımı, liflerin arasında kuvvetin dağılmasını sağlar ve ilaveten lifleri çevresel etkenlerden korur.

FRP malzemesi çeliğe göre şu üstün özelliklere sahiptir: daha yüksek çekme dayanımı, ebat ve şekle dayalı daha çok seçenek, hafiflik ve korozyon direnci. FRP malzemesinin uygulanması çok kolaydır. Çünkü duvarın yüzeyine yapıştırılmasıyla uygulanması tamamlanmaktadır. Bununla birlikte FRP malzemesinin sakıncalı yönleri: yüksek elastisite modülü, sünme ve yorulma olaylarında yetersiz davranış olarak sıralanabilir (Özsaraç 2008).

FRP malzemeleri duvar yüzeylerine epoksi bazlı yapıştırıcılarla uygulanmaktadır. Epoksi bazlı yapıştırıcı yüzeye sürülmeden önce astar olarak kullanılacak malzeme duvar yüzeyine tatbik edilir. Böylece epoksi reçinesi, FRP ve duvar yüzeyi arasındaki aderans artırılmış olmaktadır. Yüzey hazırlığı güçlendirme işleminin önemli aşamalardan biridir.

FRP malzemesi ile güçlendirme işlemi son yıllarda ülkemizde de oldukça yaygınlaşmaktadır. Daha çok karbon fiber (karbon lifi) türü yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yapı kullanım sırasındayken çevreye zarar vermeden tatbik edilebilir. Uygulandığı kesitin şekline olumsuz bir etkisi yoktur. Ancak bu malzemelerin üretim tekniklerinin zorluğundan dolayı maliyetleri yüksektir. FRP ile güçlendirme uygulaması uzman kişilerin denetiminde uzman işçiler tarafından yapılmalıdır.

4.3.8. Kullanılmış araba lastiği ile güçlendirme

Uygulanmasına yeni başlanan bir yöntemdir. Güçlendirmede ard-germe uygulanmış eski araba lastikleri kullanılmaktadır. Kullanılmış araba lastikleri yanaklarından kesilip, halkalar oluşturularak ve bu halkalar bağlantı elemanları ile bağlanarak çekme kuvvetlerine maruz bırakılmaktadır. Yapılan çalışmalara göre bu metotla güçlendirilen tuğla yığma duvarların zayıf yöndeki yanal yük mukavemet artışı, ard-germe uygulanmamış yığma duvara göre yaklaşık olarak 10 kat fazla olabilmektedir. Bu artış briket duvarlarda 5,5 kat olarak hesap edilmiştir. Ancak yapım maliyeti ve uygulanabilirliği halen araştırılmaktadır (Türer vd. 2005).

4.3.9. Perde duvar ile güçlendirme

Yığma yapıdaki bazı duvarların yıkılıp yerine betonarme perde duvar eklenmesi yöntemidir. Bu yöntem kullanılarak yapılan güçlendirme işlemlerinde, perde duvarlar yapı temelinden başlayıp yapının en üst kat seviyesine kadar uygulanmalıdır. Perde duvar ile güçlendirme yaparken duvarların simetrik bir biçimde yerleştirilmesine dikkat edilmelidir. Bu metotla güçlendirilmiş yığma yapıların yatay deprem yüklerine karşı çok büyük rijitlik sağladıkları bilinmektedir.

Bazı araştırmacılar tarafından bu yöntem, yığma bir yapıya en fazla deprem mukavemeti kazandıran teknik olarak görülmektedir. Fakat uygulama süresi uzundur ve yapım süresince bina, sakinleri tarafından kullanılamaz. Diğer olumsuz tarafı ise perde duvarın yapılması için gerekli olan temelde bazı sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Mevcut bir yapı alanı içerisinde kazı yapılması zordur ve her zaman yeterli miktarda temel kazısı yapılamamaktadır.

Bu sorunları ortadan kaldırmak için uygulanan diğer bir teknik de dıştan perde duvar ile güçlendirme yöntemidir. Binanın dış tarafından varsa kolonların veya yığma duvarların

yüzeylerine sabitlenecek şekilde perde duvarların imalatını içeren bir tekniktir. Perde duvarlar temel seviyesinden başlayıp en üst kat seviyesine kadar devam ettirilmelidir. Duvar imalatı binanın dışında olduğundan temel kazısı kolay bir şekilde ve istenen ölçülerde yapılabilmektedir. Bina içerisine yapılacak perdelerde kalıp hazırlama, beton dökme ve sıkıştırmada sorunlar yaşanabilmesine karşılık bu yöntemde perde duvarın bütünlük oluşturmasıyla kalıp yapımında ve beton sıkıştırmasında zorluklar görülmemektedir. Bu yöntem uygulaması binanın dışında olduğundan, inşaat esnasında binanın kullanımını belli miktarlarda kısıtlanmaz. Perde duvarın yığma duvarlara, kolonlara ve kirişlere dış yüzeylerinden sabitlenmesi çalışmaları bazı bağlantı sorunlarını ortaya çıkarabilir. Bu durum metodun olumsuz yanı olarak algılanabilir.

4.4. Yığma Yapıların Püskürtme Beton ile Güçlendirilmesi

Yığma yapılarda duvarların güçlendirilmesinde kullanılan diğer bir yöntem püskürtme beton uygulaması ile güçlendirmedir. Bu yöntemde tüm duvar yüzeyine hasır donatı üzerine püskürtme beton ya da kalın harç sıva veya kendiliğinden yerleşen beton uygulanması ile duvar dayanımı arttırılmaktadır. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında; uygulama kolaylığı, süre avantajı, yatay yüklere karşı etkinliğinin fazlalığı, mevcut duvara olan aderansının iyi olması gibi üstünlükler göze çarpmaktadır.

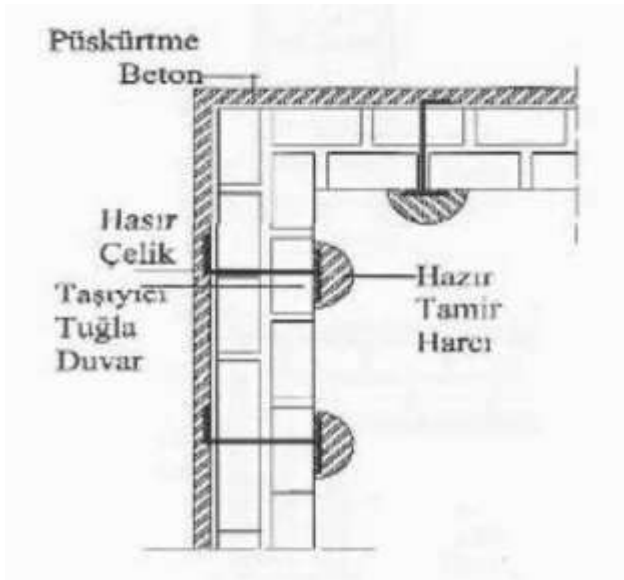
4.4.1 Uygulama yöntemleri ve teknikleri

Püskürtme beton ile güçlendirmede kullanılan beton basınçlı hava ile uygulanan bir malzemedir. Karışımın hazırlanmasında iki ayrı metot kullanılmaktadır. Birinci metot kuru karışım olarak bilinir. Bu yöntemde çimento ve agrega uygun miktarlarda bir araya getirilir ve karıştırılır. Sonra, kuru karışım seyrek bir şekilde ve basınçlı hava yardımıyla bir püskürtme hortumu içinde hortum ucuna iletilir. Bu uca gelen kuru karışıma basınçlı su ilave edilir ve elde edilen beton, basınçlı hava yardımıyla beton tatbik edilecek yüzeye yüksek hızda püskürtülür.

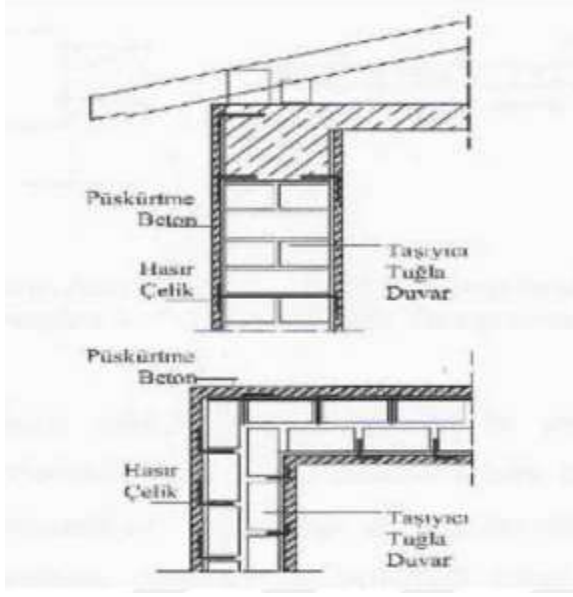
İkinci metot ise ıslak karışım olarak bilinmektedir. Bu yöntemde agrega, çimento ve su beraber karıştırılır. Elde edilen ıslak karışım benzer şekilde basınçlı hava yardımıyla püskürtme ucuna iletilerek betonlanacak yüzeye püskürtülür.

Hem kuru karışım hem de ıslak karışım yönteminde püskürtme işlemine aşağıdan başlanır ve yukarıya doğru hareket ettirilir. Püskürtücünün duvara 600–1200 mm uzaktan ve uygulama yüzeyine dik olarak tutulması gerekmektedir. İnce tabakalar halinde ve 30–60 dakika beklenerek, uygulanan betonun kendini tutmasına yardım edilir. Tabaka kalınlıkları belirlemek için duvara analog konulması gerekmektedir. Püskürtme işlemi bittikten sonra duvar yüzeyine en az 7 gün kür uygulanmalıdır (Akman 2000).

Bu güçlendirmede yapılacak ilk işlem yığma duvarın yüzeyini kaplayan sıvanın sıyrılmasıdır. Duvar içine doğru epoksi uygulanmış ankraj çubukları yerleştirilir. Daha sonra duvar yüzeyine hasır çelik serilerek bunlar ankraj çubuklarına bağlanır. Son olarak da püskürtme beton duvar yüzeyine basınçla tatbik edilir. Şekil 4.9’te tek taraflı duvar yüzeyine püskürtme beton uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Tek taraflı püskürtme beton uygulaması (Bayülke 1980).



Şekil 4.10. İki taraflı püskürtme beton uygulaması (Bayülke 1980)

Yapılacak güçlendirme işleminin Şekil 4.10'da gösterildiği gibi duvarın her iki yüzeyine yapılması tercih sebebi olmalıdır.

4.4.2. Püskürtme beton uygulamasında dikkat edilmesi gereken başlıca hususlar

Bu güçlendirme işleminde dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Püskürtme işlemini yapacak kişinin tecrübeli ve konu üzerinde bilgi sahibi olması güçlendirme işleminin sağlıklı yürümesi açısından önem arz etmektedir. Püskürtme işlemi duvar yüzeyine dik ve püskürtme hortumunun özelliklerine göre duvara 1 ila 1,5 m mesafeden yapılmalıdır. Tabanca uzaklığının artırılması betonun duvar yüzeyine yapışmasını azaltacaktır. Bu husus ilerleyen zamanlarda duvar betonunda çatlaklara yol açabilmektedir. Püskürtme mesafesinin fazla yakın tutulması ise çimento ve agrega tanelerinin duvardan sıçrayarak yere düşen taze beton miktarını artmasına dolayısıyla malzeme israfının fazlaşmasına neden olacaktır. Duvar yüzeyinden sıçrayarak yerde biriken beton malzemesinin tekrardan kullanılması güçlendirme uygulamasının tam olarak sağlıklı çalışması açısından uygun olmamaktadır. Püskürtme ile güçlendirme işlemi tamamlandıktan sonra duvar beton yüzeyine 2,5 cm kalınlığında ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için sıva yapılmalıdır (Özsaraç 2008).

4.4.3. Yöntemin diğer yöntemlerle karşılaştırılması

Püskürtme beton hem yeni inşa edilen yapıların hem de eski yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde geniş bir kullanma alanına sahiptir. Mevcut kârgir, tuğla, çelik ve betonarme yapıların yüzeylerinin beton tabakasıyla kaplanmasında ve güçlendirilmesinde tercih edilmektedir. Özellikle çelik yapıların sıcaktan korunmasında nerdeyse uygulanabilecek tek yöntemdir. Bu yöntemle güçlendirme işi hem iç hem de dış taşıyıcı yığma duvarlara uygulanabilmektedir. Bilhassa kalıp kurmanın maliyetli ve zor olduğu duvar yüzeylerine uygulanır.

4.4.4 Yöntemin üstünlükleri ve sakıncaları

Püskürtme beton ile güçlendirme yönteminin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Betonun taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması bir arada bulunmaktadır.
- Beton bir kaliba dökülüp özel ekipman kullanılarak sıkıştırılırken, püskürtme beton kalıp kullanılmadan uygulanır.
- Betonun ince bir tabaka olarak uygulanması gereken yerlerde kullanılmaktadır.
- Maliyet açısından, güçlendirilecek yüzey alanının fazla olduğu durumlarda ekonomik bir yöntemdir ve yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Deprem yüklerine karşı etkinliğinin fazla olduğu bilinmektedir.
- Püskürtme betonunun mevcut yığma duvara olan aderansı kuvvetlidir.

Olumsuz yanları ise:

- Malzemede boşluklar oluşabilmektedir.
- Normal betona oranla daha çok rötre yapabilmektedir.
- Özel ekip ve ekipman gerektirdiği için işçiliği yüksek olabilmektedir
- Geri sıçrama ile malzeme kayıpları oluşabilmektedir.

5. ÖRNEK BİR YAPININ DEPREM PERFORMANSI ve GÜÇLENDİRİLMESİ

Bu bölümde bir yığma yapının deprem kuvvetleri altındaki dayanımı incelenecektir. Deprem performansı yeterli olmayan bu yapı özellikle seçilmiştir. Daha sonra bu kâgir yapının püskürtme beton uygulaması ile güçlendirilmesi 5 alternatif çözüm ile yapılacak ve her bir alternatife göre güçlendirilmiş binanın deprem dayanımı incelenecektir.

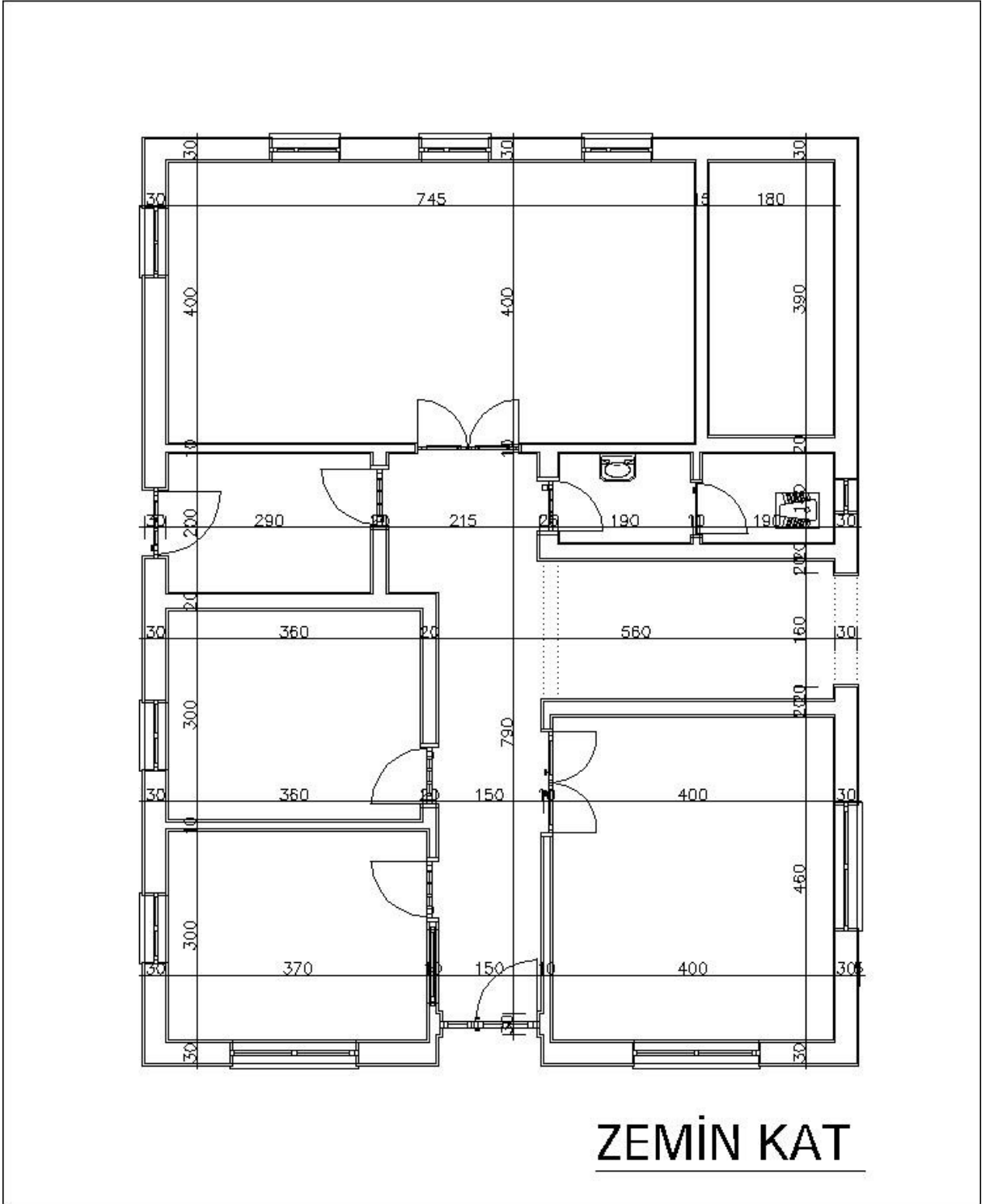
5.1. Örnek Bina

Bu yapı 2 katlı ve tuğla yığma duvarlardan oluşan bir yapıdır. Toplam oturma alanı $9,7 \times 12,7 \text{ m}^2$ ' dir. Binaya ait kat planları Şekil 5.1 ve Şekil 5.2' de verilmektedir. Kat planları incelendiği zaman, yapıda 10 cm, 15 cm, 20 cm ve 30 cm kalınlığında düşey delikli tuğladan imal edilmiş duvarlar görülmektedir.

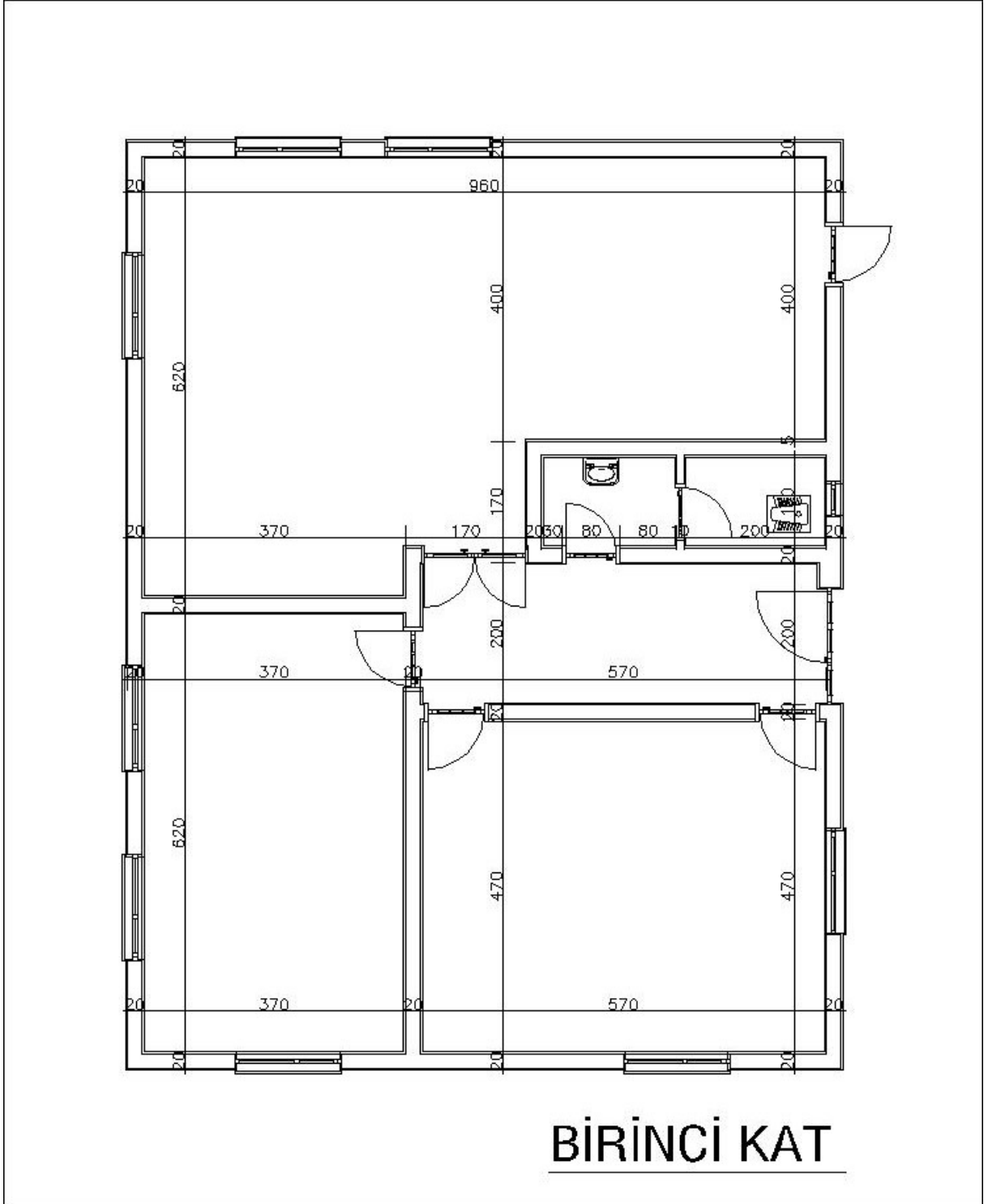
5.1.1. Örnek binanın deprem şartnamesine göre incelenmesi

İncelenen Bina, Anadolu levhacığının batıya doğru hareket etmesinden kaynaklanan genişlemeli tektonik bir rejimin üzerinde bulunmaktadır. Bu sismik hat üzerinde farklı tarihlerde çok sayıda yıkıcı deprem oluşmuştur. 1. deprem bölgesinde yer alan örnek bina için etkin yer ivme katsayısı $A_0= 0,4$ alınmıştır.

2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) kapsamında kâgir yapılar için (Bölüm 5) minimum kurallar ve sınırlar bulunmaktadır. Bu sınırlandırmaların bazıları: yapıda bulunan kat sayısı, yığma duvar kalınlıkları, pencere ve kapı boşluklarının boyutları ve konumları, lento ve hatıl boyutları vs. dir. Örnek binanın bu koşulları sağlayıp sağlamadığı tek tek aşağıda incelenmiştir.



Şekil 5.1. Zemin kat planı



Şekil 5.2. Birinci kat planı

5.1.1.1. Kat adedi ve kat yükseklikleri

Örnek bina 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Bu seviyede deprem riski bulunan yığma yapılarda en fazla 2 kata müsaade edilmektedir. Örnek bina da zemin ve 1 normal kattan oluştuğu için deprem şartnamesi kat koşunu sağlamaktadır.

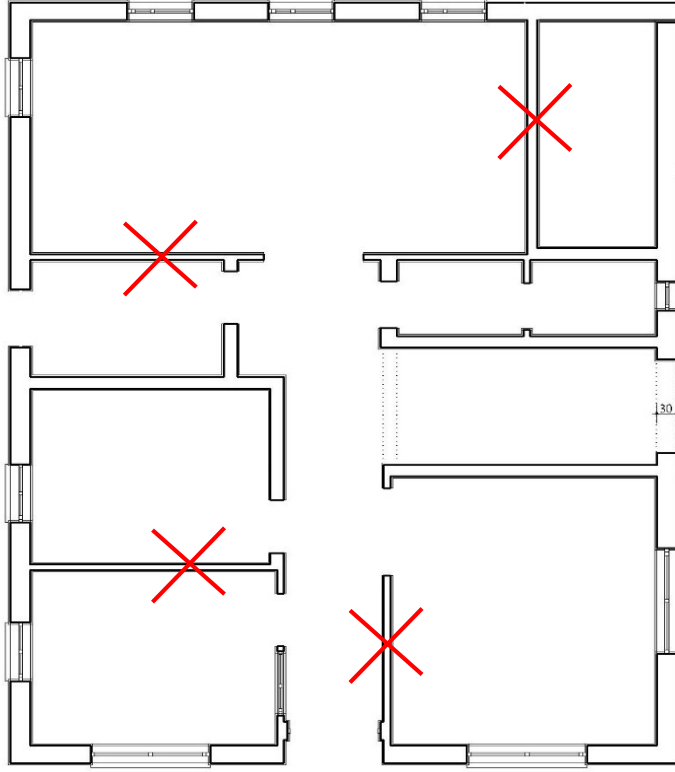
Deprem Şartnamesine göre kagir yapılarda bir katın yüksekliğinin döşeme üstünden, döşeme üstüne kadar en fazla 3 m olmasına müsaade edilmektedir. Örnek binada bulunan iki katın da yüksekliği 3 m olduğu için, bina bu koşulu da sağlamaktadır.

5.1.1.2. Duvarların planda düzenlenmesi

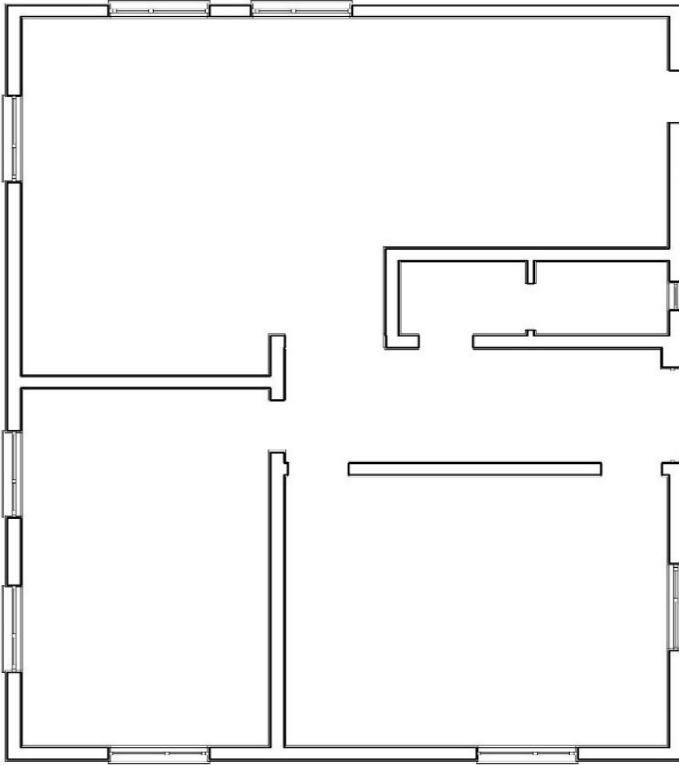
DBYBHY 2007, Madde 5.2.6'ya göre tüm taşıyıcı yığma duvarların planda üst üste gelmesi şartı konmuştur. Ayrıca Madde 5.2.5'e göre taşıyıcı duvarların planda olabildiğince düzenli ve simetrik olarak yerleştirilmesi gerekmektedir. Aşağıda verilen Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 incelendiğinde zemin katta bulunan taşıyıcı duvarların bir çoğunun üst katta devam etmediği ve birinci katta bulunan duvarların ise alt katta karşılıklarının olduğu gözükmektedir. Bu duvarlar şekil üzerinde işaretlenmiştir.

5.1.1.3. Duvar kalınlıkları

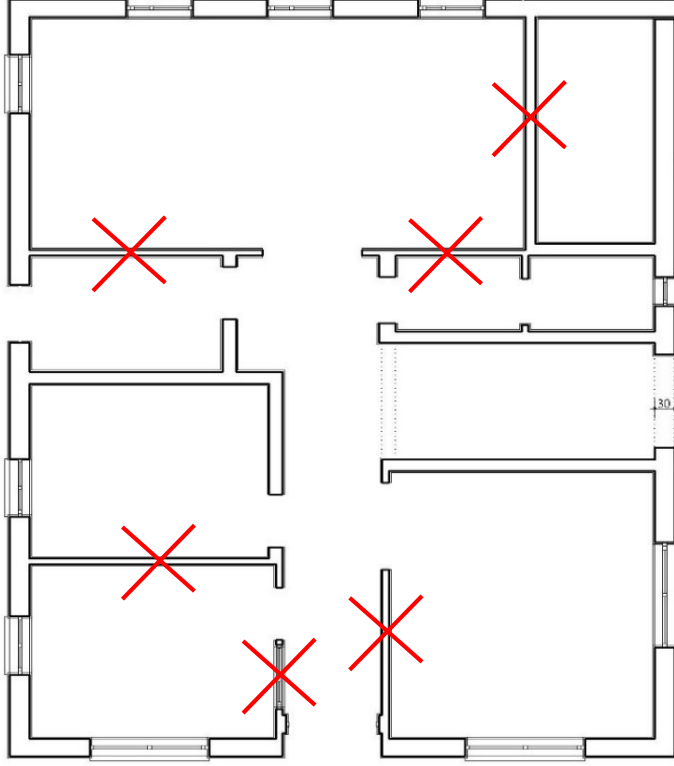
2007 Deprem yönetmeliğine (DBYBHY 2007) göre birinci deprem bölgesinde yapılacak kâgir yapı duvarlarında doğal taş kullanılması durumunda minimum duvar kalınlığı 50 cm olarak belirtilmiştir. İki katlı ve düşey delikli tuğla kullanılarak imal edilecek bir yığma yapıda, zemin ve birinci kat duvar kalınlıklarının 1 tuğla kalınlığında (~200 mm) olması gerekmektedir. Örnek binanın zemin katında 300 mm, 200 mm, 150 mm ve 100 mm kalınlığında, birinci katında ise 200 mm kalınlığında duvarlar bulunmaktadır. Bu nedenle bazı zemin kat duvarları bu kurala uymamaktadır. Kalınlık kuralına uymayan duvarlar Şekil 5.5' de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Zemin kat duvarları



Şekil 5.4. Birinci kat duvarları



Şekil 5.5. Zemin katta bulunan ve duvar kalınlığı kıstaslarına uymayan duvarlar

5.1.1.4. Planda duvar uzunlukları

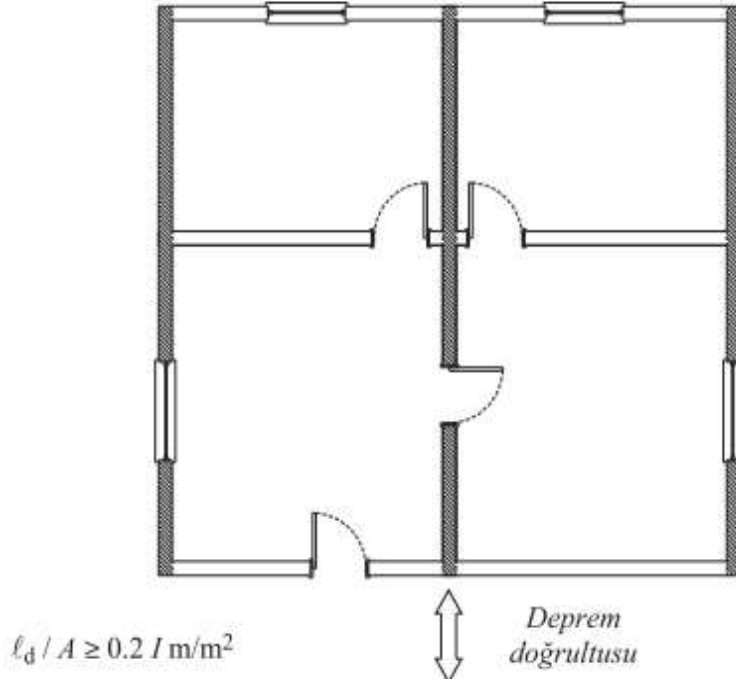
Deprem yönetmeliği (DBYBHY 2007), Madde 5.4.4'e göre planda her iki asal eksen doğrultusundaki duvarların, kapı ve pencere boşlukları sayılmaksızın toplam uzunluklarının kat brüt alanına oranının $(0,2I)$ m/m^2 'den daha az olmaması istenmektedir. Bu ifadenin görsel anlatımı Şekil 5.6' da gösterilmiştir. Buradaki terimler;

l_d : Taralı alan uzunluğu (m)

A : Brüt kat alanı (m^2)

I : Bina önem katsayısı

Örnek bina için yapı önem katsayısı 1 olarak alınmıştır. Yapının her bir katında, her bir deprem doğrultusu için duvar uzunlukları hesap edilmiş ve bu değerler $0,2I$ ile mukayese edilmiştir. Yapılan değerlendirme Çizelge 5.1' de gösterilmiştir. Çizelgeden, sadece birinci kat y doğrultusunda bulunan duvarların uzunluk kriterini sağlamadığı anlaşılmaktadır.

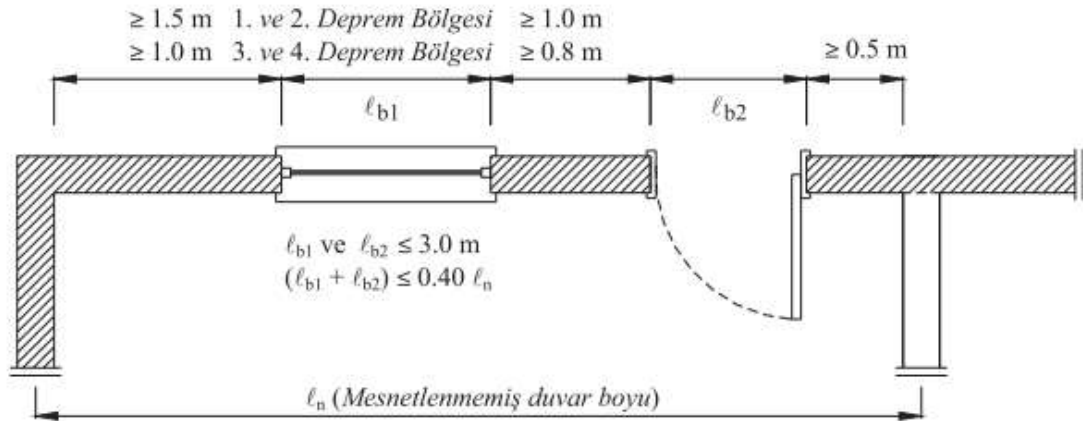


Şekil 5.6. Gösterilen deprem doğrultusunda toplam duvar uzunluğu (DBYBHY 2007)

Çizelge 5.1. Toplam duvar uzunlukları ve kat alanlarına oranları

Kat	Doğrultu	Duvar Kalınlığı (cm)	Duvar Uzunluğu (m)	l_d (m)	A (m ²)	l_d/A	0,2I	Değerlendirme
Zemin	x	10	9,925	35,932	123,19	0,29	0,2	Sağlıyor
		20	14,465					
		30	11,542					
	y	10	7,778	32,502	123,19	0,26	0,2	Sağlıyor
		15	4,150					
		20	3,075					
		30	17,499					
Birinci	x	20	27,737	27,737	123,19	0,22	0,2	Sağlıyor
	y	20	23,685	23,685	123,19	0,19	0,2	Sağlamıyor

5.1.1.5. Taşıyıcı duvar boşlukları

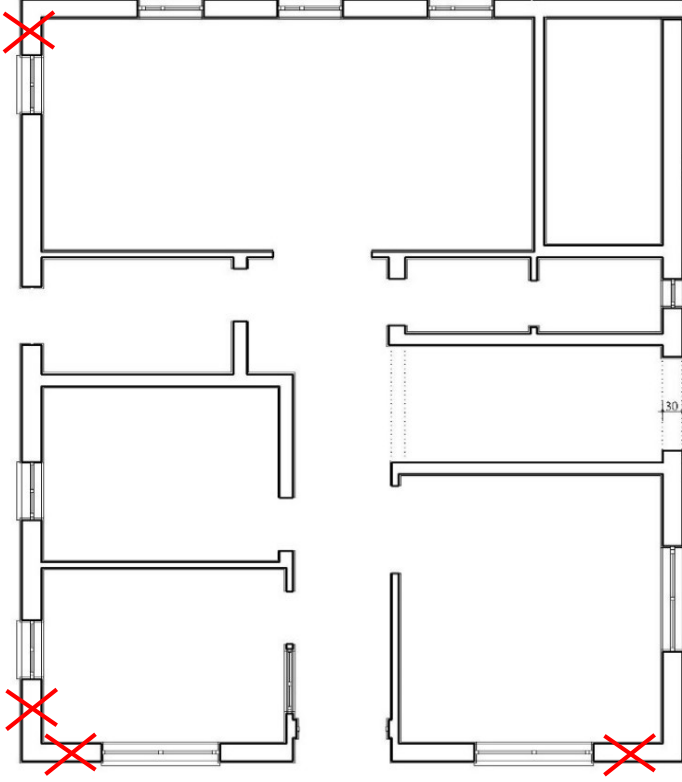


Şekil 5.7. Duvarlarda bulunan boşluklar (DBYBHY 2007)

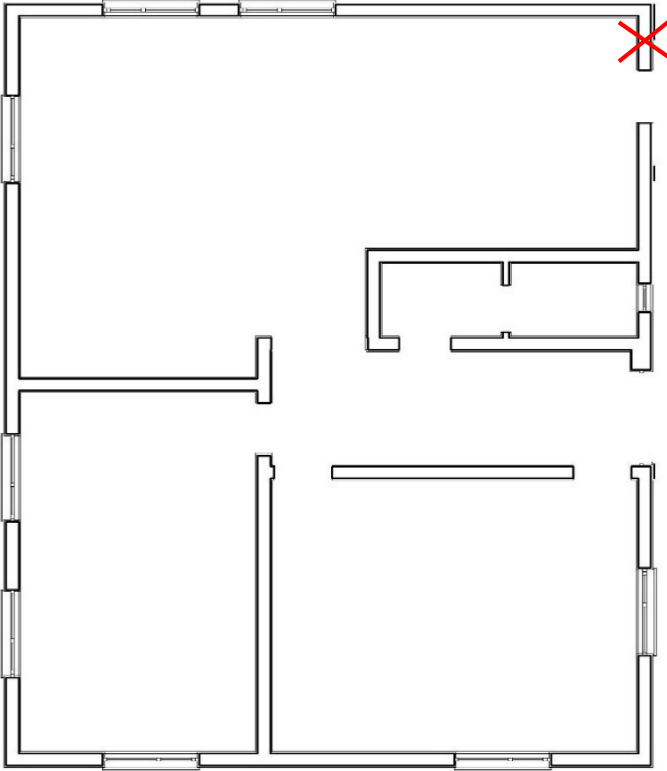
Yukarıdaki Şekil 5.7' de de gösterildiği gibi DBYBHY (2007) Madde 5.4.6'ya göre a) yapı köşe noktasına en yakın pencere veya kapı ile köşe noktası arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde 1,50 m' den, 3. ve 4. derece deprem bölgelerinde 1,0 m' den az olmaması gerekmektedir. Örnek yapı birinci derece deprem bölgesinde bulunduğu için bu duvar parçası uzunluğunun 1,5 m' den az olmaması gerekmektedir.

Bununla beraber, b) kapı ve pencere boşlukları arasında kalan dolu duvar parçalarının plandaki uzunlukları 0,80 m'den az olmaması istenmektedir. Bina köşeleri haricinde, c) birbirini dik olan duvarların kesim noktasına en yakın pencere veya kapı boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak dolgu duvar uzunluğunun 0,50 m' den az olmaması gerekmektedir. Bunlara ek olarak d) her bir kapı veya pencere boşluklarının plandaki uzunlukları 3 m' den daha büyük olamaz.

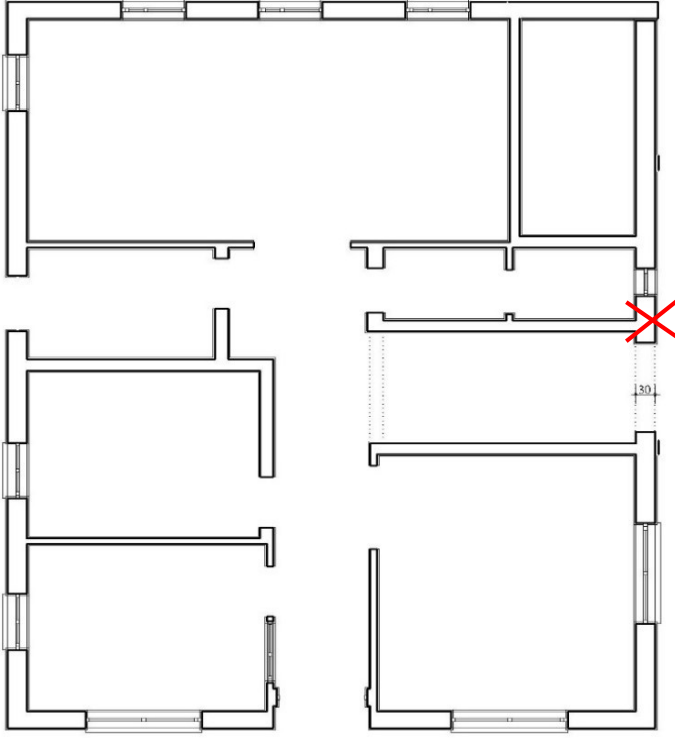
“a” maddesine uymayan duvar parçaları Şekil 5.8 ve Şekil 5.9' da gösterilmiştir. “b” maddesine uymayan duvarlar Şekil 5.10 ve Şekil 5.11' de gösterilmiştir. “c” maddesine uymayan duvarlar Şekil 5.12 ve Şekil 5.13' de gösterilmiştir. Örnek yapıda “d” maddesine uymayan pencere bulunmamaktadır.



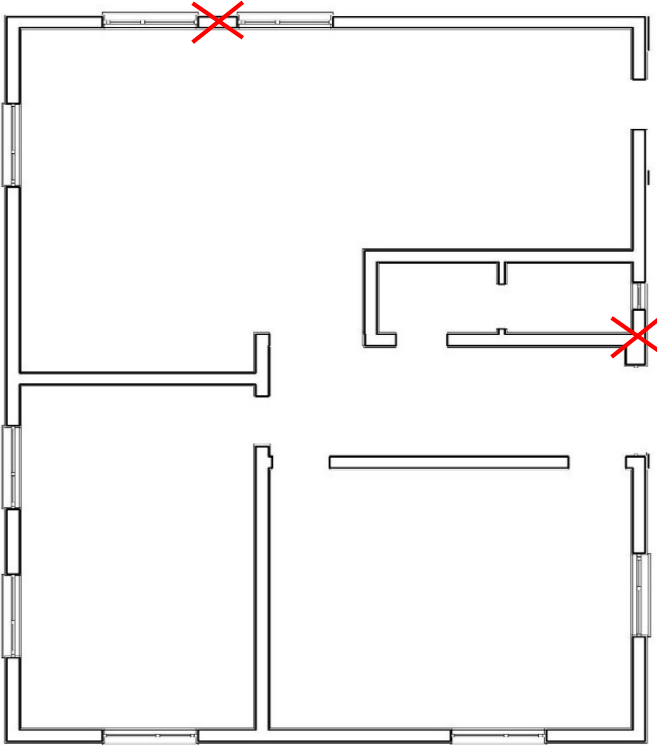
Şekil 5.8. Yapı köşelerinde duvar uzunluk kuralına uymayan duvarlar, zemin kat



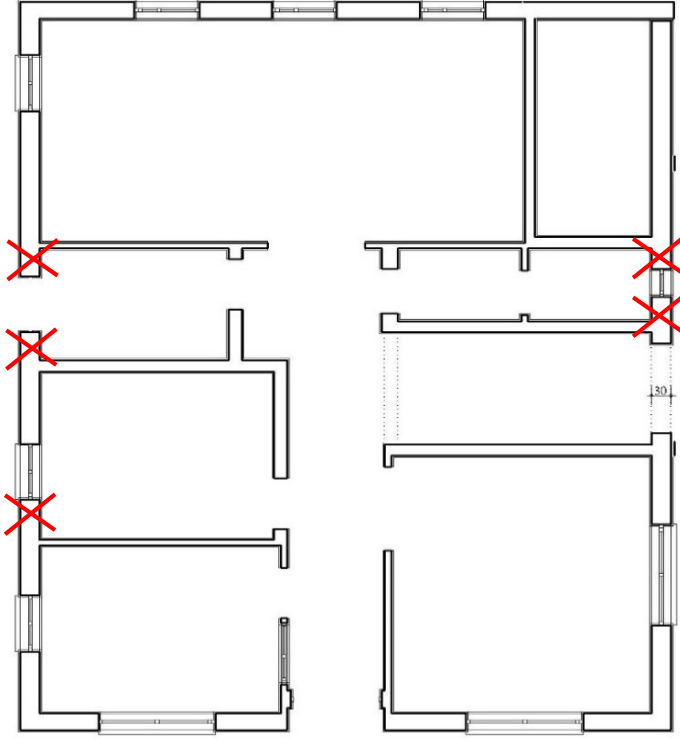
Şekil 5.9. Yapı köşelerinde duvar uzunluk kuralına uymayan duvarlar, birinci kat



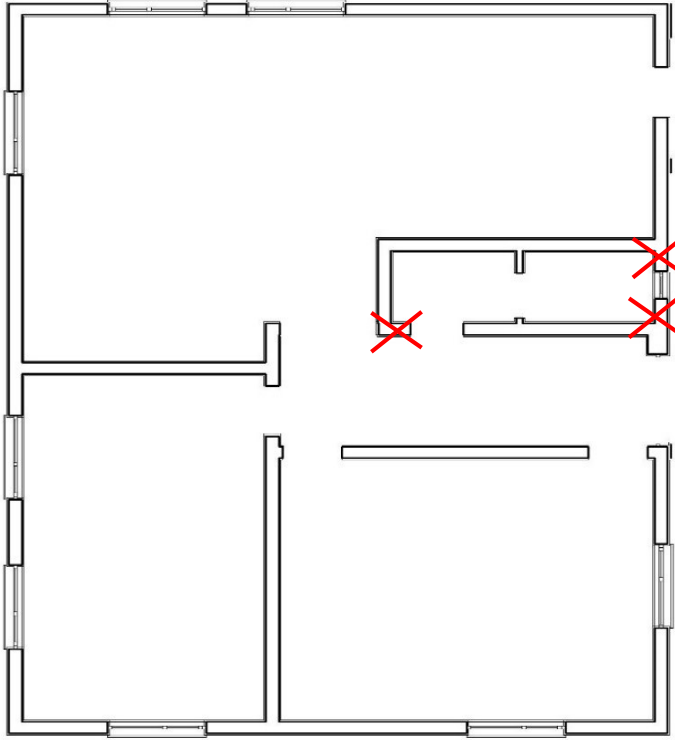
Şekil 5.10. Kapı/pencere boşlukları arasında kalan duvar uzunluk kuralına uymayan duvarlar, zemin kat



Şekil 5.11. Kapı/pencere boşlukları arasında kalan duvar uzunluk kuralına uymayan duvarlar, birinci kat



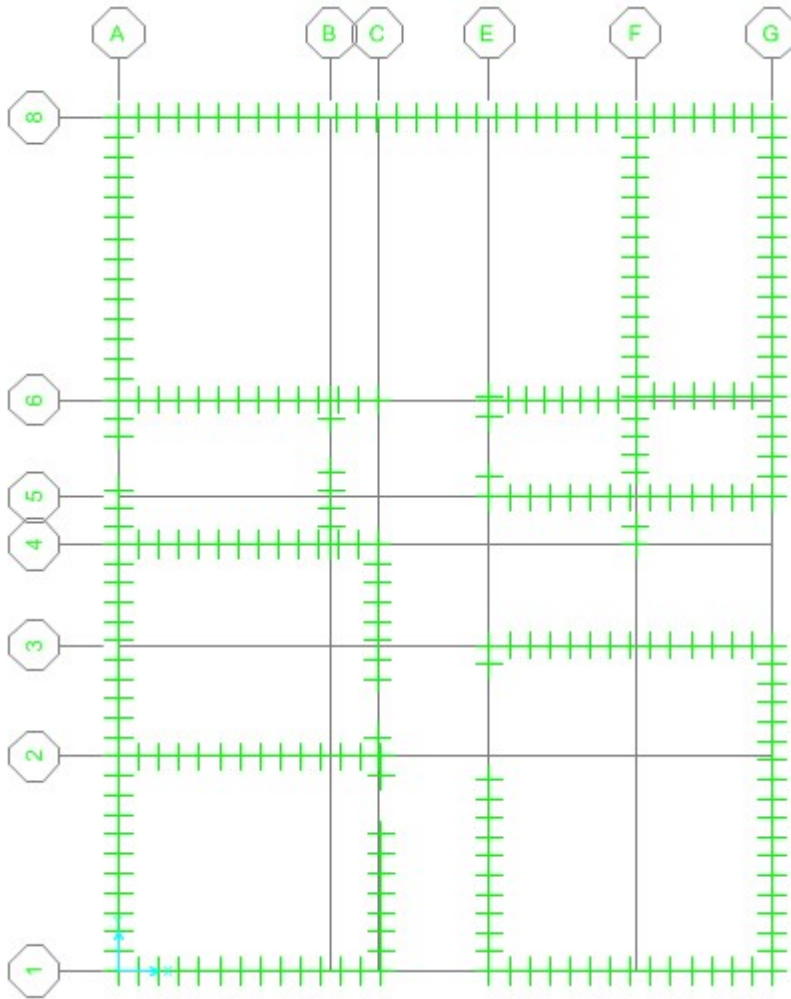
Şekil 5.12. Kesim noktasına en yakın pencere/kapı boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak duvar uzunluğu kuralına uymayan duvarlar, zemin kat



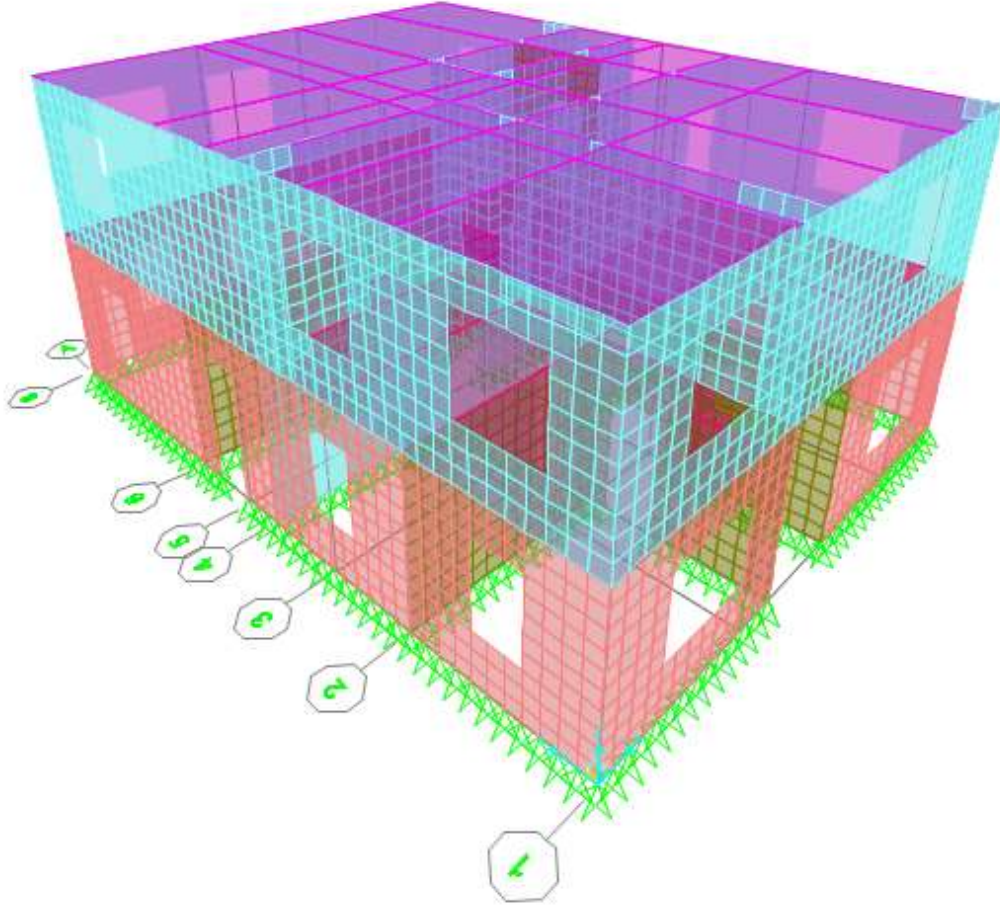
Şekil 5.13. Kesim noktasına en yakın pencere/kapı boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak duvar uzunluğu kuralına uymayan duvarlar, birinci kat

5.1.2. Örnek binanın modellenmesi

Bina SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak modellenmiştir. Yığma duvarlar “shell” eleman olarak modellenmiştir. Örnek binada hatıl ve lento bulunmamaktadır. Kat döşemeleri ise yine “shell” eleman kullanılarak programa girilmiştir. “Shell” elemanlar sonlu elemanlara bölündükten sonra, kapı ve pencere boşluklarını oluşturmak için boşlukların boyutuna uygun olarak belirli sayıda kabuk elemanı silinmiştir. Şekil 5.14’ de yapının programda oluşturulan aks sistemi gösterilmektedir. Şekil 5.15’ de yığma yapının sonlu elemanlar modeli gösterilmiştir. Şekil üzerindeki renkler kesit özelliklerini ifade etmektedir.



Şekil 5.14. Yığma yapı x ve y aks sistemi



Şekil 5.15. Yığma yapının sonlu elemanlar modeli

5.1.2.1. Yığma yapı malzeme ve kesit tanımlamaları

Yapıda 10 cm, 15 cm, 20 cm ve 30 cm kalınlıklarında duvarlar kullanıldığı için her bir duvar elemanı için farklı kabuk elemanı oluşturulmuştur. Yığma duvarlar daha önceden belirtildiği gibi düşey delikli tuğla elemanlar kullanılarak imal edilmiştir. Dolayısıyla harç ve tuğladan oluşan yığma duvar birim ağırlığı olarak 15 kN/m^3 değeri kullanılmıştır. Duvar birimlerinin elastisite modülü Deprem yönetmeliği (DBYBHY 2007), Madde 5.3.4'e göre

$$E_d = 200f_d \quad (5.1)$$

denklemleri ile tanımlanmıştır. Bu denklemde f_d duvar basınç dayanımını göstermektedir. Ancak duvar numuneleri için deneysel çalışma yapılmadığından bu değer bilinmemektedir. Deprem yönetmeliği serbest basınç dayanımı belli olmayan duvar elemanları için şartnamenin Tablo 5.3'ünde basınç emniyet gerilmeleri tanımlamıştır. Bu tablodan, örnek binada kullanılan

düşey delikli tuğla duvarları için $f_{em} = 0,8$ MPa değeri kullanılabilir. Basınç emniyet gerilmesini yaklaşık ve güvenli bir tarafta kabul ederek, karakteristik dayanım yerine kullanılırsa, duvar elemanlarının elastisite modülü 160 MPa olarak hesap edilebilir.

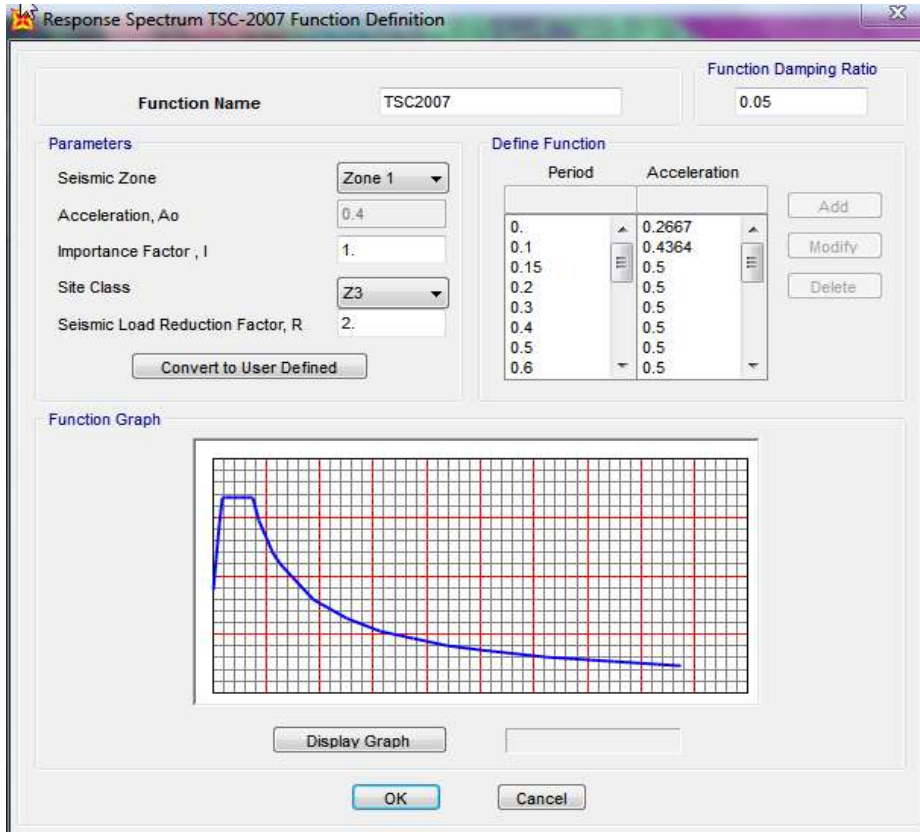
Son olarak 2007 Deprem Yönetmeliği (DBYBHY 2007) Madde 5.3.2.2 uyarınca duvar basınç emniyet gerilmelerinin duvarların narinliğine göre azaltılması gerekmektedir. Yönetmelik Tablo 5.3'e uygun olarak duvar basınç emniyet gerilmeleri yaklaşık olarak %10 azaltılarak, $f_{em} = 0,7$ MPa değeri bulunur.

5.1.2.2. Yığma yapıya etkiyen yükler ve yük kombinasyonları

Duvar yükleri SAP2000 tarafından otomatik olarak ölü yükler (G) kısmında hesaplanmaktadır (birim hacim ağırlığı=15 kN/m³). Benzer şekilde döşeme ağırlıkları da program tarafından hesaplanmaktadır (birim hacim ağırlığı=25 kN/m³, donatıların ölü yüklerle olan katkısı dahil edilmiştir.) Ölü yük olarak ayrıca kat döşemelerine kaplama + sıva + duvar iç ve dış sıva yükleri ilave edilmiştir (birim hacim ağırlığı=22 kN/m³). Bu yükler zemin kat tavan döşemesi için 2,713 kN/m², birinci kat tavan döşemesi için 2,257 kN/m² şeklinde hesap edilmiş ve uygulanmıştır. Birinci kat tavanı için bu kat üzerindeki çatı yüklerini simüle etmesi amacıyla duvarlardan kaynaklanan kaplama ve sıva yükleri döşemelere etki ettirilmiştir.

TS498 (1997)'e uygun olarak hareketli yük (Q) olarak zemin kat tavan döşemesine 3,5 kN/m², birinci kat tavan döşemesine 1,5 kN/m² uygulanmıştır.

Yığma yapıya deprem yükleri Davranış Spektrumu metodu uygulanarak etki ettirilmiştir. Spektral ivme değerleri 2007 Deprem Yönetmeliğinde (DBYBHY 2007) verilen ivme spektrumundan elde edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda ve deprem yönetmeliğine uygun olarak $A_0=0,4$, $I=1,0$, $R=2$ ve $S(T)=2,5$ değerleri kullanılmıştır. Zemin sınıfı olarak Z3 kullanılmıştır. Bu değerler sonucunda oluşan ivme spektrumu Şekil 5.16 'da gösterilmektedir.



Şekil 5.16. SAP2000 programı kullanılarak yığma yapıya uygulanan ivme spektrumu

Bu ivme spektrumu kullanılarak elde edilen deprem kuvvetleri yapının hem x (EX) hem de y (EY) doğrultusunda uygulanmıştır. Kütle ve rijitlik merkezlerinin çakışmamasına karşı gelen %5 eksantirisite deprem kuvvetlerinin tanımında kullanılmıştır. Yük birleşenleri, uygulanan yük çeşitlerinin farklı kombinezonları kullanılarak elde edilmiştir. Bu bileşenlerden bir kaçı aşağıda verilmiştir.

- G+Q
- G+Q+EX+0,3EY
- G+Q+EX-0,3EY
- G+Q-EX+0,3EY
- G+Q-EX-0,3EY
- G+Q+0,3EX+EY
- G+Q-0,3EX+EY
- G+Q+0,3EX-EY
- G+Q-0,3EX-EY
- 0,9G+EX+0,3EY
- 0,9G+0,3EX+EY

5.1.3. Yapısal analiz sonuçları

5.1.3.1. Modal analiz sonuçları

Yığma yapının titreşim özelliklerini belirlemek için “Eigenvalue solutions” (Özdeğerler çözümü) tekniği kullanılmıştır. Yapıda bulunan ince duvarlar ve tavan katı döşemesinden dolayı davranış spektrumu metodunda toplam olarak 30 mod şekli kullanılmıştır. Çizelge 5.2 ’de yapının ilk 10 serbest titreşim periyodu belirtilmiştir.

Çizelge 5.2. Yığma yapının ilk 10 periyodu

Mod	Periyot (san)
1	0,3452
2	0,3080
3	0,2406
4	0,2100
5	0,1883
6	0,1838
7	0,1806
8	0,1771
9	0,1738
10	0,1693

Deprem yönetmeliğine göre yatay kuvvetler etkisi altında yapının kütlelerinin harekete katılımı için bir alt sınır verilmiştir. Yönetmeliğe göre hesaba katılması gereken titreşim modu sayısı, x ve y deprem doğrultularının her birinde bina toplam kütlelerinin %90’ ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmelidir. Çizelge 5.3’ de göz önüne alınan toplam 30 mod için hesap edilen statik ve dinamik kütle katılım payları gösterilmektedir. x doğrultularında 30 modun yetersiz olduğu gözükse de yığma binalarda bu sınırı ulaşmak oldukça zor olmaktadır.

Çizelge 5.3. Modal analizde yığma yapının x ve y doğrultuları için kütle katılım oranları

	Doğrultu	Statik (%)	Dinamik (%)
<i>Modal</i>	<i>x</i>	98,8894	87,3224
<i>Modal</i>	<i>y</i>	99,5155	91,0976
<i>Modal</i>	<i>z</i>	82,9674	36,7209

5.1.3.2. Düşey yük analizi

Yapılan hesaba göre kat ağırlıkları aşağıdaki Çizelge 5.4'te verilmiştir. Toplam yapı ağırlığının yaklaşık olarak 2872 kN olduğu görülmektedir. Bu değerler, SAP2000 tarafından hesap edilen değerlere oldukça yakındır.

Çizelge 5.4. Yapı kat ağırlıkları ve toplam yapı ağırlığı

Kat	Ağırlık (kN)
Zemin	1792,58
1	1079,67
Toplam	2872,25

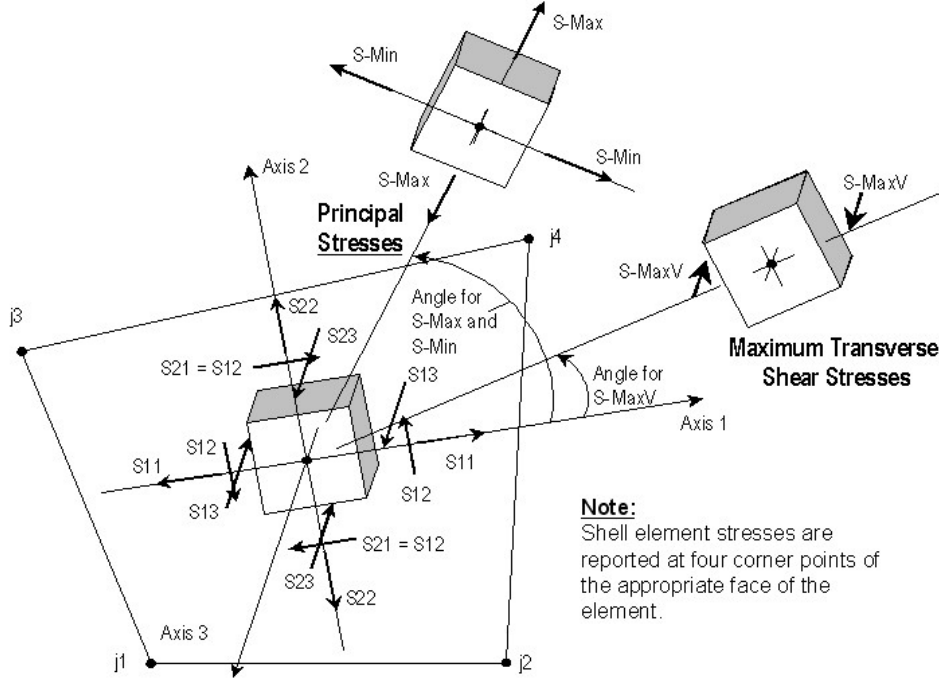
Yapının zemin katında bulunan toplam duvar alanı 14,61 m², birinci kat duvar alanları toplamı ise 10,28 m²'dir. Dolayısıyla yapı zemin kat duvarlarında ortalama düşey doğrultudaki normal gerilme değeri;

$$\begin{aligned}\sigma_d &= \frac{2872,25}{14,61} = 196,6 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,197 \text{ MPa} \leq f_{cm} = 0,7 \text{ MPa}\end{aligned}$$

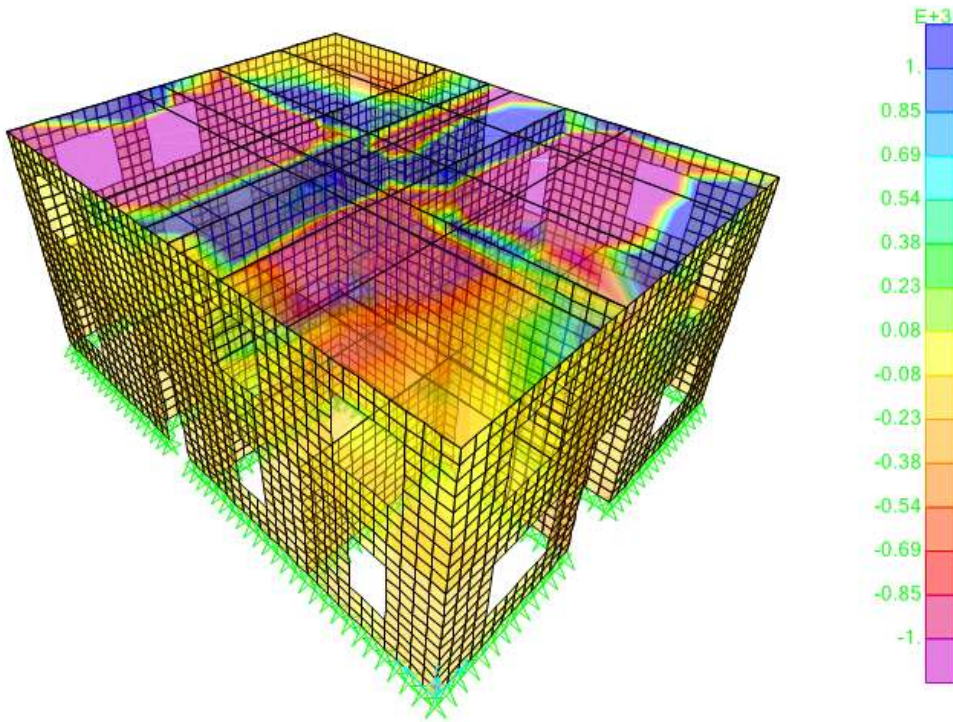
Yapı birinci katında ise;

$$\begin{aligned}\sigma_d &= \frac{1079,67}{10,28} = 105,03 \text{ kN/m}^2 \\ &= 0,105 \text{ MPa} \leq f_{cm} = 0,7 \text{ MPa}\end{aligned}$$

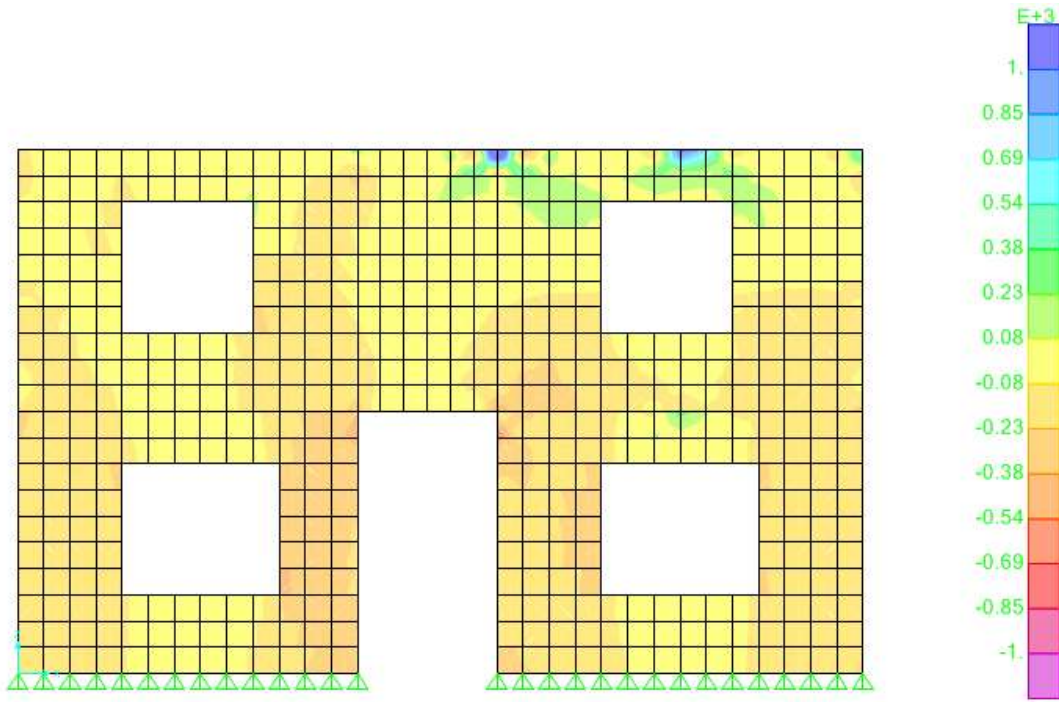
SAP2000 programında shell elemanları için gerilmeler ve doğrultuları Şekil 5.17’ de tanımlanmıştır. Bu şekle göre düşey gerilmeler S22 ile gösterilmektedir. G+Q yüklemesinden elde edilen gerilmeler, yapının bazı bölgeleri için Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’ da gösterilmiştir.



Şekil 5.17. SAP2000 “shell” eleman lokal eksenleri ve gerilme doğrultuları



Şekil 5.18. Yapının geneli için G+Q yüklemesi altında S22 gerilmeleri (MPa)



Şekil 5.19. “1” aksı için G+Q yüklemesi altında S22 gerilmeleri (MPa)

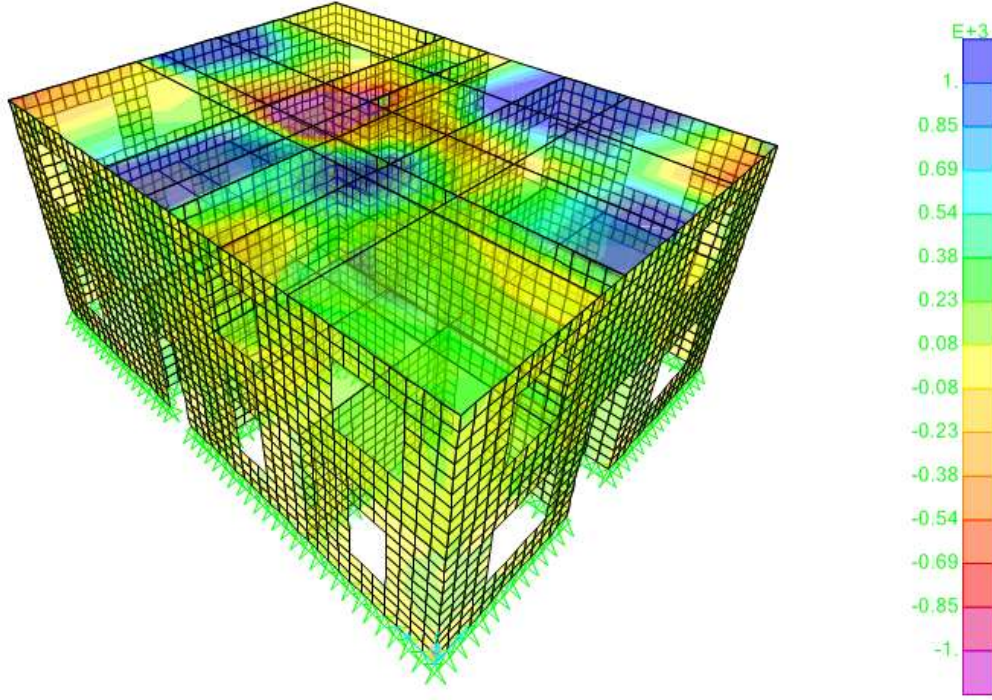
5.1.3.3. Yatay yük analizi

Bu kısımda yığma duvarlarda oluşan en büyük kayma gerilmeleri hesap edilecek ve kayma emniyet gerilmesi ile karşılaştırılacaktır. Bu nedenle ilk olarak kayma emniyet gerilmesinin (τ_{em}) belirlenmesi gerekmektedir. 2007 DBYBHY uyarınca emniyetli kayma gerilmesi aşağıda verilen formülle hesaplanmaktadır:

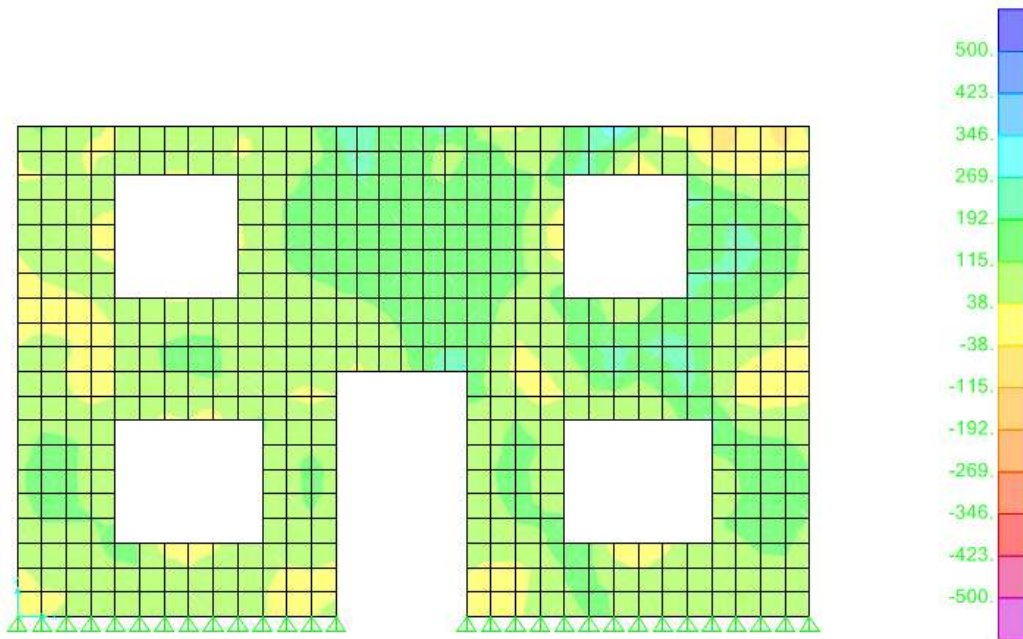
$$\tau_{em} = \tau_0 + \mu\sigma \quad (5.2)$$

Bu ifadede σ değeri düşey yüklerden kaynaklanan duvar eksenel gerilmesini (σ_d), μ sürtünme katsayısını ve τ_0 duvar çatlama emniyet gerilmesini temsil etmektedir. Deprem Yönetmeliği, Madde 5.3.3.4’de sürtünme katsayısının 0,5 olarak alınabileceğine işaret edilmektedir. Şartnamenin 5.5 nolu tablosuna göre ise duvar çatlama emniyet gerilmesi güvenli tarafta kalmak üzere 0.12 MPa olarak alınmıştır. Buna göre zemin kat duvarları için $\tau_{em}=0,219$ MPa, birinci kat duvarları için ise $\tau_{em}=0,173$ MPa olarak hesap edilmiştir. Şekil 5.17’ de verilen shell elemanların gerilme duruma göre S12 ifadesi duvar kayma gerilmelerini temsil etmektedir. Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de örnek olarak G+Q+EX+0,3EY yük

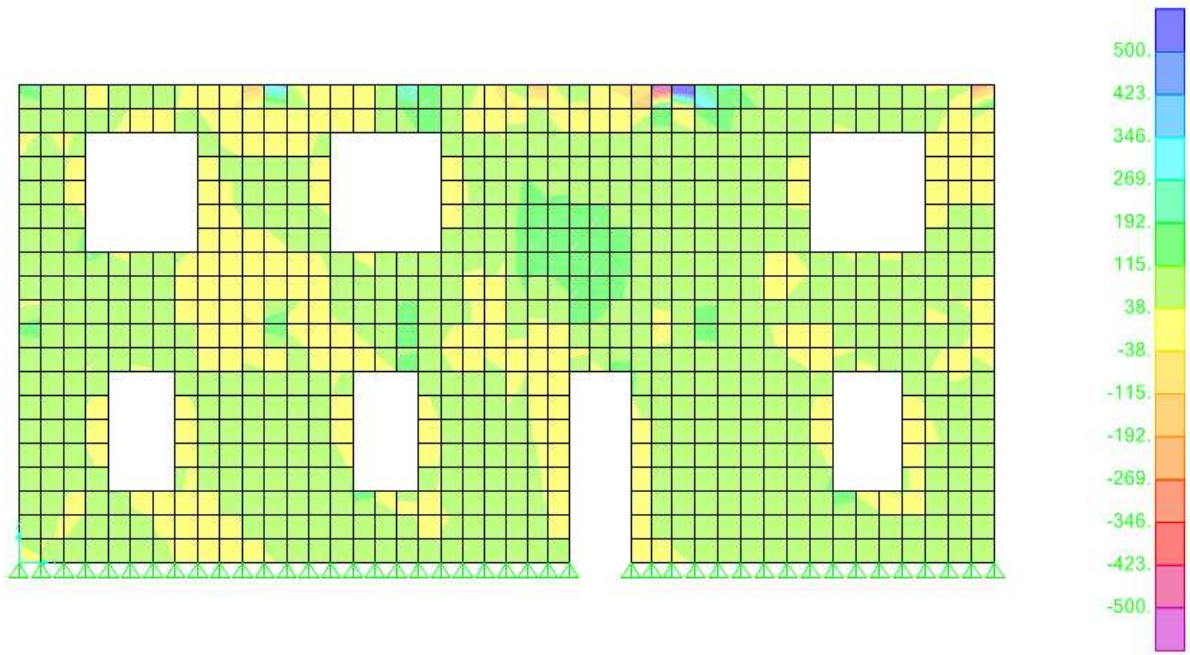
kombinasyonu için yapının geneline ait ve bazı akslar için kayma gerilmeleri gösterilmektedir.



Şekil 5.20. G+Q+EX+0,3EY yüklemesi altında maksimum S12 gerilmeleri (MPa)



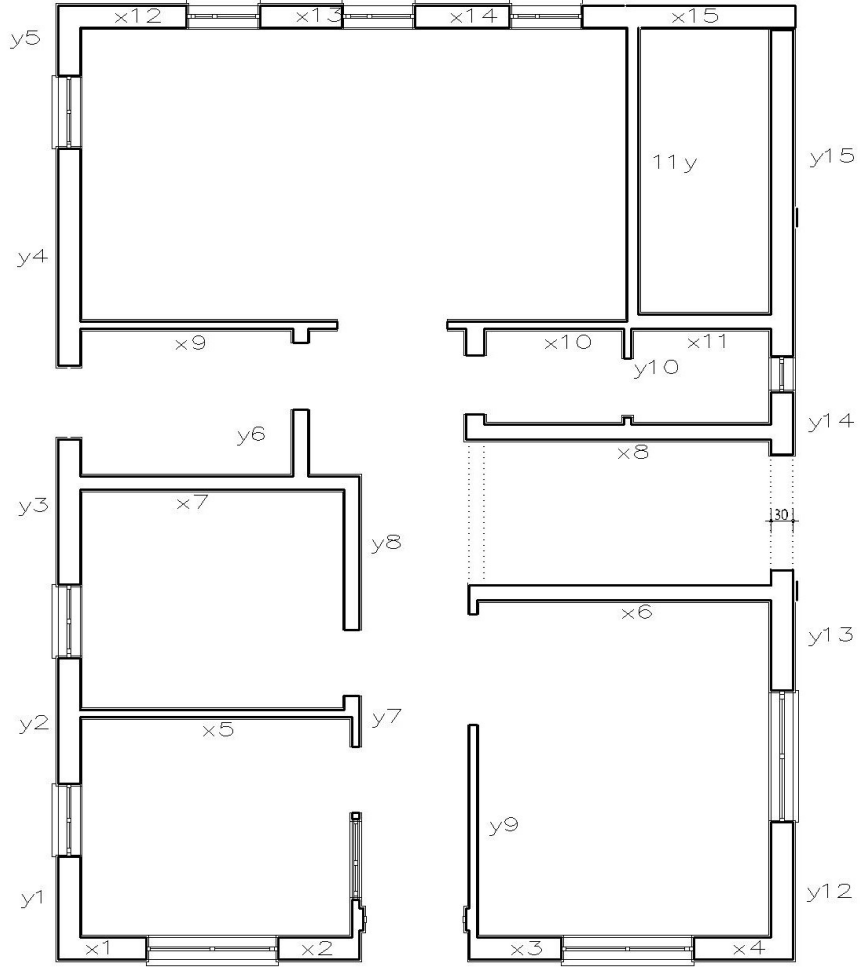
Şekil 5.21. G+Q+EX+0,3EY yüklemesi altında "1" aksı boyunca S12 gerilmeleri (kPa)



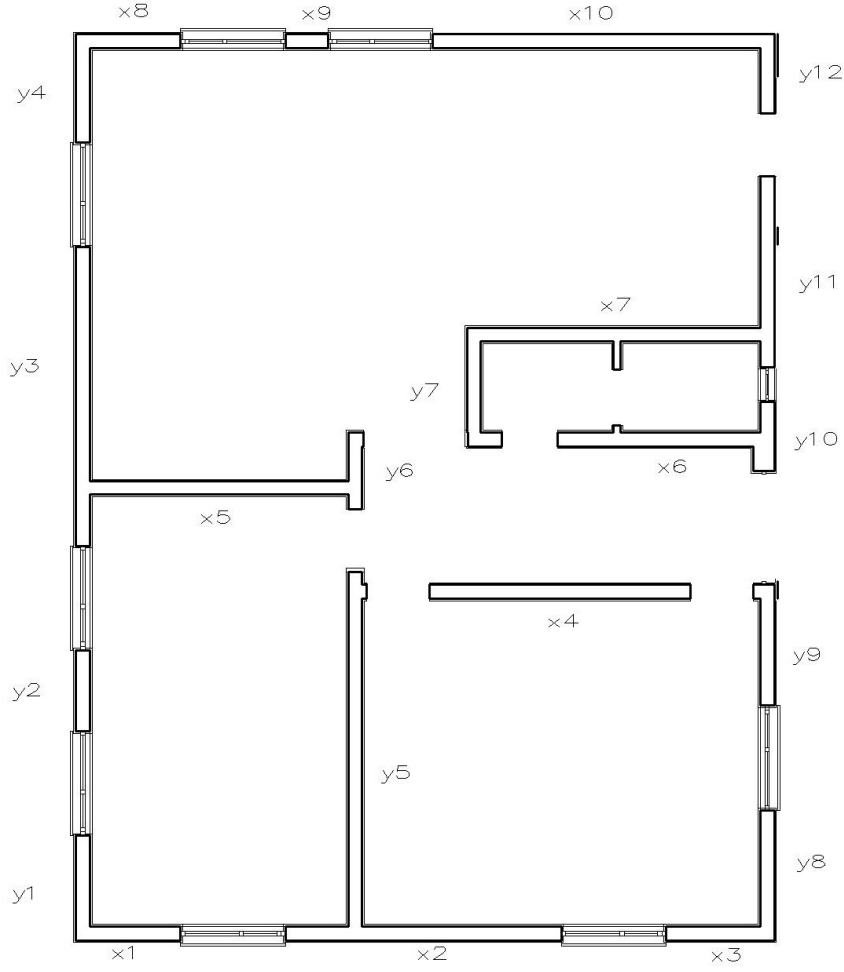
Şekil 5.22. G+Q+EX+0,3EY yüklemesi altında “A” aksı boyunca S12 gerilmeleri (kPa)

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’ de gösterilen kayma gerilmelerinin değerleri elemandan elemana ve her bir eleman içerisinde değişim göstermektedir. Bu nedenle her bir duvar için oluşan kayma gerilmelerin maksimum değeri tespit edilmiştir. Bu değer kayma emniyet gerilmesi ile karşılaştırılarak, yığma yapının tasarım depremi altında performansı değerlendirilmiştir.

Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’ de gösterildiği gibi zemin ve birinci kat duvarlarına isim verilmiştir. Daha sonra her bir duvarda SAP2000 programı tarafından elde edilen maksimum kayma gerilmeleri Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6’da belirtilmiştir.



Şekil 5.23. Zemin kat duvar isimleri



Şekil 5.24. Birinci kat duvar isimleri

Çizelge 5.5. Örnek binaya ait zemin kat duvarlarının mevcut durum için değerlendirilmesi

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Max. Kayma Gerilmesi (kPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (kPa)	Değerlendirme
<i>x1</i>	1,2	0,30	146	219	√
<i>x2</i>	0,9	0,30	128	219	√
<i>x3</i>	1,2	0,30	153	219	√
<i>x4</i>	1,2	0,30	181	219	√
<i>x5</i>	3,9	0,10	344	219	X
<i>x6</i>	4,2	0,20	233	219	X
<i>x7</i>	3,85	0,20	201	219	√
<i>x8</i>	4,2	0,20	248	219	X
<i>x9</i>	3,85	0,10	245	219	X
<i>x10</i>	2,175	0,10	225	219	X
<i>x11</i>	2,125	0,20	222	219	X
<i>x12</i>	1,181	0,30	182	219	√
<i>x13</i>	1,181	0,30	180	219	√
<i>x14</i>	1,18	0,30	237	219	X
<i>x15</i>	3,5	0,30	199	219	√
<i>y1</i>	1,164	0,30	141	219	√
<i>y2</i>	2,309	0,30	136	219	√
<i>y3</i>	1,951	0,30	134	219	√
<i>y4</i>	2,637	0,30	145	219	√
<i>y5</i>	1,2	0,30	140	219	√
<i>y6</i>	1,075	0,20	258	219	X
<i>y7</i>	3,85	0,10	300	219	X
<i>y8</i>	2,0	0,20	206	219	√
<i>y9</i>	2,853	0,10	258	219	X
<i>y10</i>	1,075	0,10	242	219	X
<i>y11</i>	4,15	0,15	282	219	X
<i>y12</i>	1,426	0,30	145	219	√
<i>y13</i>	1,712	0,30	165	219	√
<i>y14</i>	0,60	0,30	240	219	X
<i>y15</i>	4,45	0,30	202	219	√

Çizelge 5.6. Örnek binaya ait birinci kat duvarlarının mevcut durum için değerlendirilmesi

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Max. Kayma Gerilmesi (kPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (kPa)	Değerlendirme
x1	1,2	0,20	76	173	√
x2	4,0	0,20	208	173	X
x3	1,2	0,20	204	173	X
x4	3,533	0,20	249	173	X
x5	3,85	0,20	245	173	X
x6	3,0	0,20	108	173	√
x7	4,2	0,20	157	173	√
x8	0,888	0,20	99	173	√
x9	0,889	0,20	172	173	√
x10	4,977	0,20	286	173	X
y1	0,873	0,20	109	173	√
y2	1,732	0,20	101	173	√
y3	4,809	0,20	275	173	X
y4	0,90	0,20	78	173	√
y5	5,205	0,20	252	173	X
y6	1,50	0,20	193	173	X
y7	1,075	0,20	321	173	X
y8	1,426	0,20	124	173	√
y9	1,997	0,20	282	173	X
y10	0,60	0,20	166	173	√
y11	2,968	0,20	164	173	√
y12	0,60	0,20	80	173	√

Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6’ da yapılan değerlendirmeye göre bazı yığma duvar elemanları muhtemel tasarım depreminde oluşacak iç kuvvetleri taşıyamayacak düzeydedir. Bu yüzden duvarların güçlendirilmesi gerekmektedir.

5.2. Örnek Binanın Güçlendirilmesi

Örnek binanın güçlendirilmesi püskürtme beton uygulaması ile yapılacaktır. Bu amaç doğrultusunda bina çeşitli alternatiflerle güçlendirilecektir. İlk olarak yığma duvarların üzerindeki sıva tabakaları kaldırılacaktır. Sonra bu yüzey tazyikli su veya hava ile temizlenecektir. Duvar yüzeyine yaklaşık olarak yatay ve düşeyde 30 cm aralıklarla tam delikler açılacaktır. Bu delikler orta mesafelerine ise yarım delikler açılacak ve delikler

basınçlı hava ile temizlenecektir. 5 cm kalınlığın ortasına örneğin Q131 hasır çeliği yerleştirilecektir. Açılan tam deliklerden $\Phi 10$ ($\Phi 12$ veya $\Phi 14$ de olabilir) ankraj çubukları geçirilecek ve bu çubukların uçları diğer tarafta hazırlanan 5 mm kalınlığında ve 100 x 100 mm ebatlarındaki levhaya bulonla bağlanacaktır. Yarım deliklere de ankraj çubukları yerleştirilecektir. Çubukların etrafları akıcı kıvamda bulunan çimento şerbeti enjekte edilecektir. Daha sonra güçlendirme kabuğu 5 cm olana kadar C20 betonu (daha kaliteli tercih edilir) püskürtülerek tatbik edilecektir.

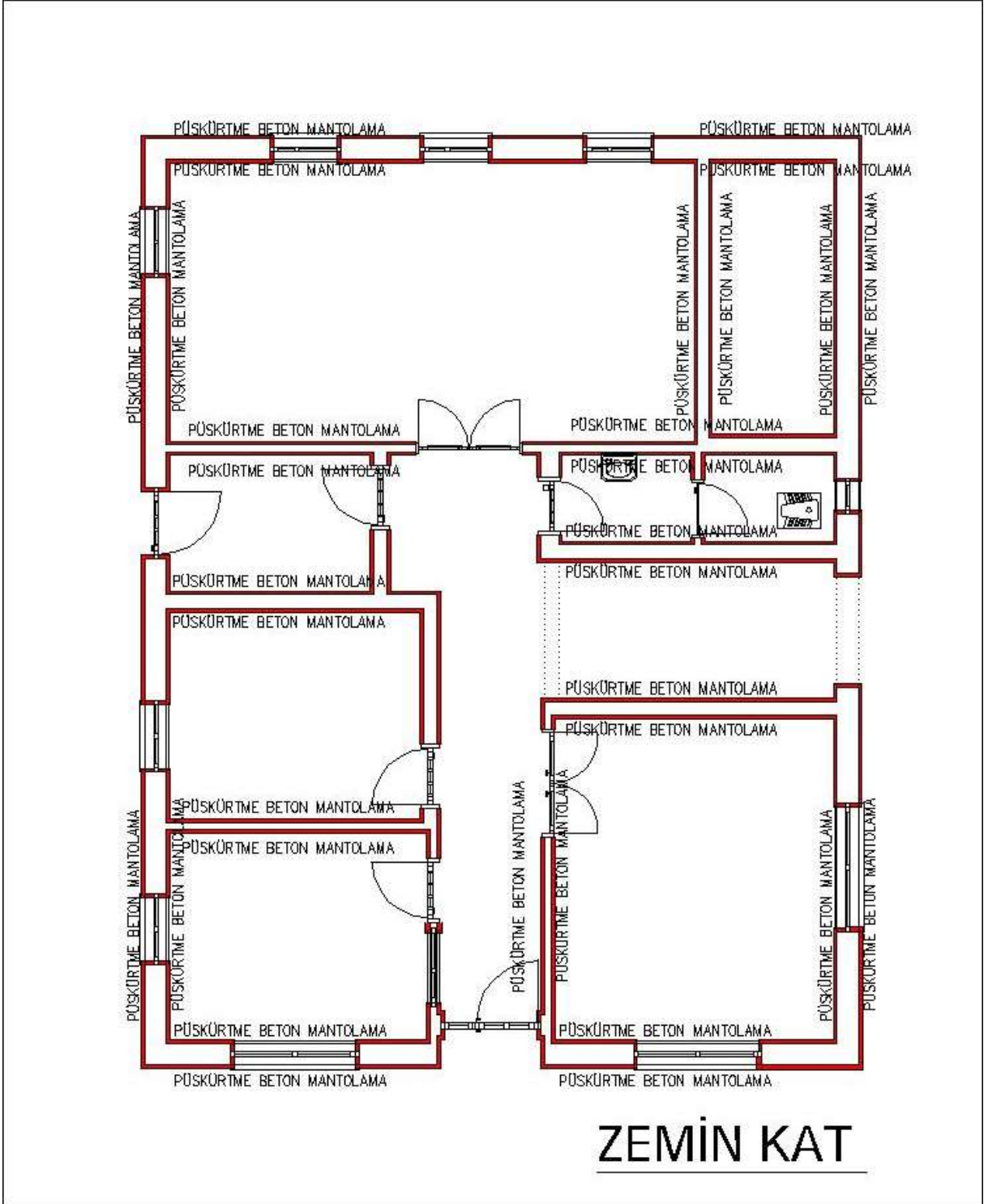
Yığma yapının güçlendirilmesi için uygulanacak alternatif çözümler aşağıda listelenmiştir:

- a. Tüm duvarların içten ve dıştan 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilmesi.
- b. Tüm duvarların 5 cm kalınlığında tek taraflı olarak püskürtme beton ile güçlendirilmesi.
- c. Sadece dayanımı yetersiz olan duvarların içten ve dıştan 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilmesi.
- d. Tüm iç duvarların her iki taraftan 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilmesi.
- e. Tüm dış duvarların içten ve dıştan 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilmesi.

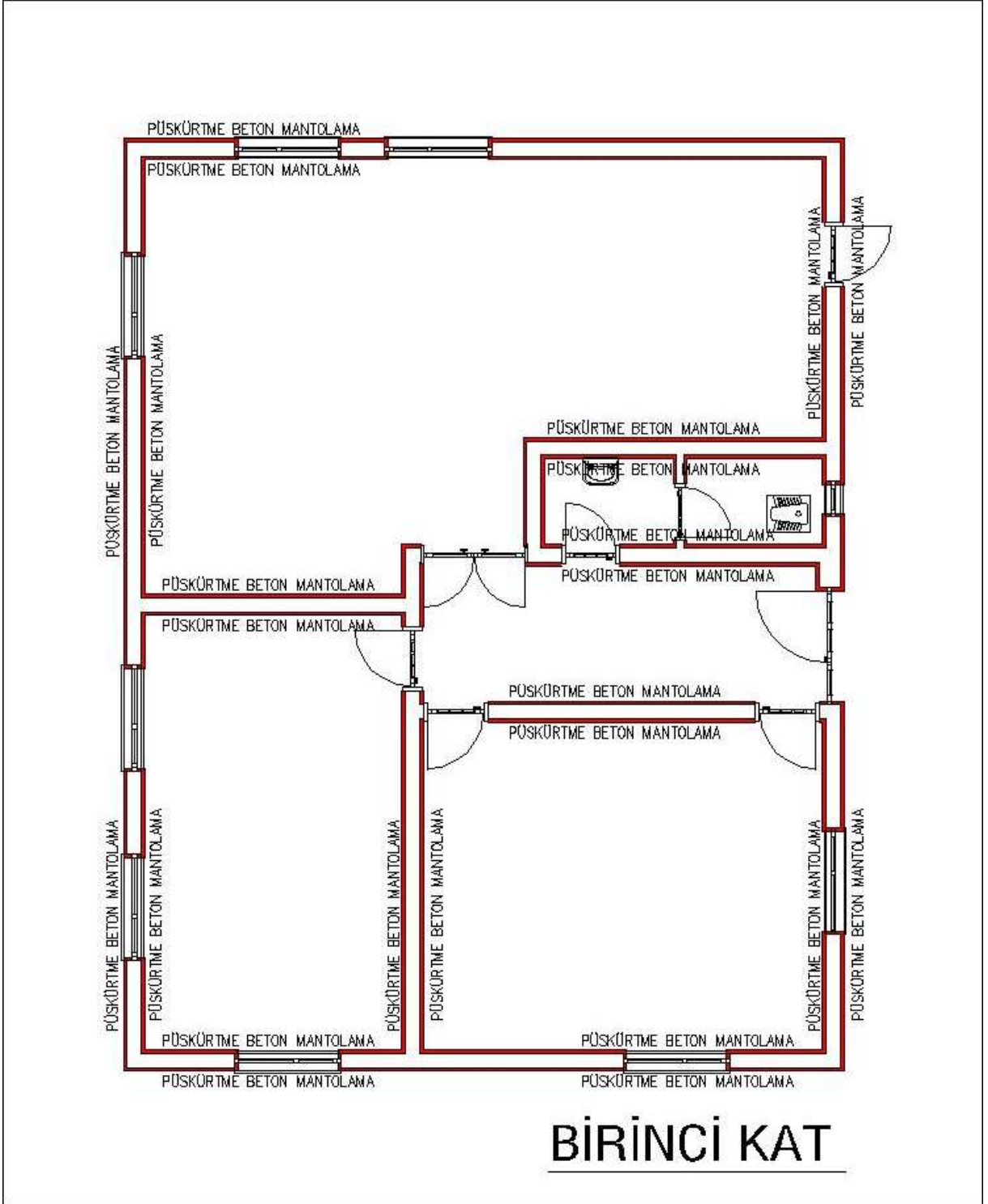
Her bir alternatif ayrı ayrı aşağıda incelenmiştir.

5.2.1. Birinci güçlendirme alternatifi: Tüm duvarların içten ve dıştan 5 cm püskürtme beton ile güçlendirilmesi

İlk olarak yığma yapıdaki tüm duvarlar, hem içten hem de dıştan 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilecektir. Bu duruma ait güçlendirilmiş kat planları Şekil 5.25 ve Şekil 5.26' da gösterilmektedir.



Şekil 5.25. Birinci güçlendirme alternatifi için zemin kat planı



Şekil 5.26. Birinci güçlendirme alternatifi için birinci kat planı

Her duvara eklenen 10 cm kalınlığındaki betonarme kısımdan sonra yapının ağırlığı değişeceğinden yeniden hesaplanması gerekmektedir. Elde edilen kat ağırlıkları Çizelge 5.7’ de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Birinci güçlendirme alternatifi için yapı kat ağırlıkları ve toplam yapı ağırlığı

Kat	Ağırlık (kN)
Zemin	2.305,84
1	1.465,30
Toplam	3.771,14

Yapının zemin katında bulunan toplam duvar alanı 21,46 m², birinci kat duvar alanları toplamı ise 15,43 m²’dir. Dolayısıyla yapı zemin kat duvarlarında ortalama düşey doğrultudaki normal gerilme değeri;

$$\sigma_d = \frac{3771,14}{21,46} = 175,7 \text{ kN/m}^2 \leq f_{em} = 1333 \text{ kPa}$$

Yapı birinci katında ise;

$$\sigma_d = \frac{1465,30}{15,43} = 94,96 \text{ kN/m}^2 \leq f_{em} = 1333 \text{ kPa}$$

Buna göre zemin kat duvarları için $\tau_{em} = 0,248$ MPa, birinci kat duvarları için ise $\tau_{em} = 0,207$ MPa olarak hesap edilmiştir. Kayma emniyet gerilmelerinin hesabında çatlama kesme dayanımı olarak 0,16 MPa değeri kullanılmıştır.

Güçlendirilmiş duvarlar için SAP2000 programında yeniden kabuk eleman tanımlaması yapılmıştır. Ancak bunun yapılabilmesi için tuğla yığma duvar ve 5 cm kalınlığında güçlendirme kabuklarının ve iki tabaka arasında ilişkinin girilmesi gerekmektedir. Bu, zor bir aşamadır ve büyük ihtimalle SAP2000 programında oldukça fazla zaman alıcıdır. Bunun yerine Sallio (2005) tarafından önerilen kompozit malzemeyi tek bir malzeme şeklinde tanımlama yöntemi kullanılmıştır. Buna göre, $F_{tuğla}$ tuğla tarafından taşınan

kuvvet, F_{beton} ise beton kabuk tarafından taşınan kuvvet ve F kompozit malzemeye gelen kuvvet olmak üzere,

$$F = F_{\text{tuğla}} + F_{\text{beton}}$$

$$\sigma \cdot t \cdot 1 \text{ m} = \sigma_{\text{tuğla}} \cdot t_{\text{tuğla}} \cdot 1 \text{ m} + \sigma_{\text{beton}} \cdot t_{\text{beton}} \cdot 1 \text{ m}, \quad t: \text{Tabaka kalınlığı}$$

$$E \cdot \varepsilon \cdot t = E_{\text{tuğla}} \cdot \varepsilon_{\text{tuğla}} \cdot t_{\text{tuğla}} + E_{\text{beton}} \cdot \varepsilon_{\text{beton}} \cdot t_{\text{beton}}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{tuğla}} = \varepsilon_{\text{beton}}$$

$$E \cdot t = E_{\text{tuğla}} \cdot t_{\text{tuğla}} + E_{\text{beton}} \cdot t_{\text{beton}}$$

şeklinde hesaplanır. Bu ifade 30 cm kalınlığında tuğla yığma duvar için kullanılırsa;

$$E \cdot 40 \text{ cm} = E_{\text{tuğla}} \cdot 30 \text{ cm} + E_{\text{beton}} \cdot 10 \text{ cm}$$

$$E \cdot 40 \text{ cm} = 600 \cdot 30 \text{ cm} + 30250 \cdot 10 \text{ cm}$$

$$E = 8012,5 \text{ MPa}$$

elde edilir. Benzer işlemler kompozit malzeme birim hacim ağırlığı için de yapılırsa, 40 cm duvar için birim hacim ağırlığı $17,5 \text{ kN/m}^3$ elde edilir. Diğer duvar kalınlıkları için yukarıdaki hesaplamalar yapılırsa SAP2000 programında kabuk eleman için girilecek değerler elde edilir. Bu değerler Çizelge 5.8' de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Birinci güçlendirme alternatifi için kompozit malzeme birim hacim ağırlıkları ve elastisite modülleri

Duvar kalınlığı (cm)	Eşdeğer duvar kalınlığı (cm)	Birim hacim ağırlığı (kN/m^3)	Elastisite Modülü (MPa)
10	20	20	15425
15	25	19	12460
20	30	18,33	10483,33
30	40	17,5	8012,5

SAP2000 programında yeniden modellenen yığma yapı, önceki bölümlerde anlatılan kuvvetlere maruz bırakılmıştır. Analiz sonrasında elde edilen ilk 10 periyot değeri Çizelge 5.9' da sunulmuştur. Bu çizelge, Çizelge 5.2 ile karşılaştırılırsa yapı serbest titreşim periyotlarının azaldığı görülmektedir. Yani yapı yapılan güçlendirme ile daha rijit bir hale getirilmiştir.

Duvarlarda elde edilen maksimum kayma gerilmeleri ve kayma emniyet gerilmeleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11' de sunulmuştur. Çizelgelerden görüldüğü gibi bütün kayma gerilmeleri kayma emniyet gerilmelerinden küçük kalmıştır. Yani uygulanan güçlendirme yeterli olmaktadır. Bu durumda, birinci güçlendirme alternatifi ile bina için gerekli performans düzeyine ulaşıldığı söylenebilir.

Çizelge 5.9. Birinci güçlendirme alternatifi için elde edilen ilk 10 periyot

Mod	Periyot (san)
1	0,2954
2	0,2520
3	0,1571
4	0,1532
5	0,1260
6	0,1001
7	0,0929
8	0,0920
9	0,0716
10	0,0636

Çizelge 5.10. Birinci güçlendirme alternatifi için zemin kat duvarlarının değerlendirilmesi

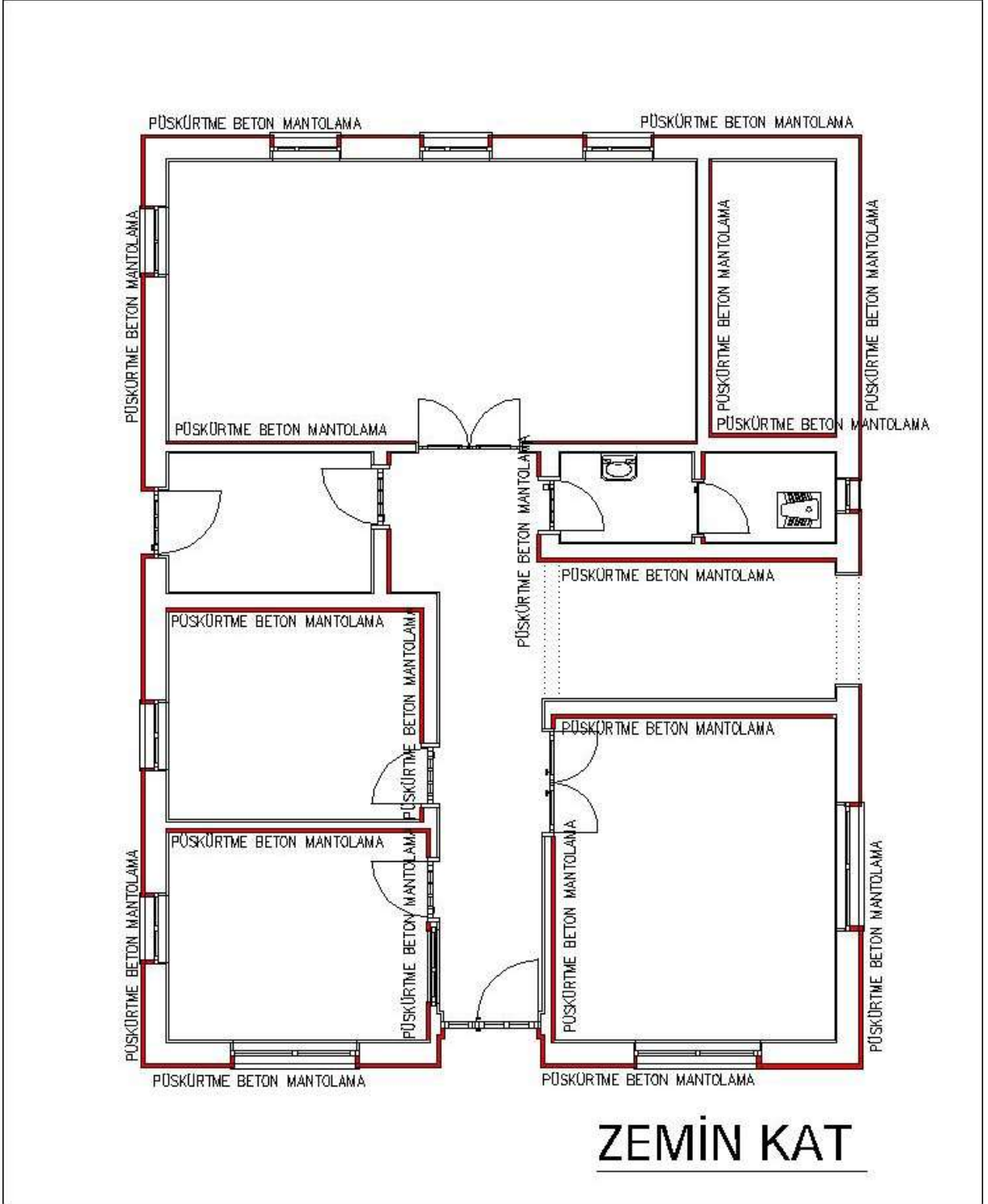
Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Max. Kayma Gerilmesi (kPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (kPa)	Değerlendirme
<i>x1</i>	1,2	0,40	112	248	√
<i>x2</i>	0,9	0,40	68	248	√
<i>x3</i>	1,2	0,40	159	248	√
<i>x4</i>	1,2	0,40	111	248	√
<i>x5</i>	3,9	0,20	118	248	√
<i>x6</i>	4,2	0,30	106	248	√
<i>x7</i>	3,85	0,30	226	248	√
<i>x8</i>	4,2	0,30	132	248	√
<i>x9</i>	3,85	0,20	237	248	√
<i>x10</i>	2,175	0,20	156	248	√
<i>x11</i>	2,125	0,30	148	248	√
<i>x12</i>	1,181	0,40	177	248	√
<i>x13</i>	1,181	0,40	224	248	√
<i>x14</i>	1,18	0,40	156	248	√
<i>x15</i>	3,5	0,40	179	248	√
<i>y1</i>	1,164	0,40	101	248	√
<i>y2</i>	2,309	0,40	79	248	√
<i>y3</i>	1,951	0,40	156	248	√
<i>y4</i>	2,637	0,40	91	248	√
<i>y5</i>	1,2	0,40	65	248	√
<i>y6</i>	1,075	0,30	220	248	√
<i>y7</i>	3,85	0,20	223	248	√
<i>y8</i>	2,0	0,30	136	248	√
<i>y9</i>	2,853	0,20	212	248	√
<i>y10</i>	1,075	0,20	219	248	√
<i>y11</i>	4,15	0,25	210	248	√
<i>y12</i>	1,426	0,40	201	248	√
<i>y13</i>	1,712	0,40	188	248	√
<i>y14</i>	0,60	0,40	81	248	√
<i>y15</i>	4,45	0,40	133	248	√

Çizelge 5.11. Birinci güçlendirme alternatifi için birinci kat duvarlarının değerlendirilmesi

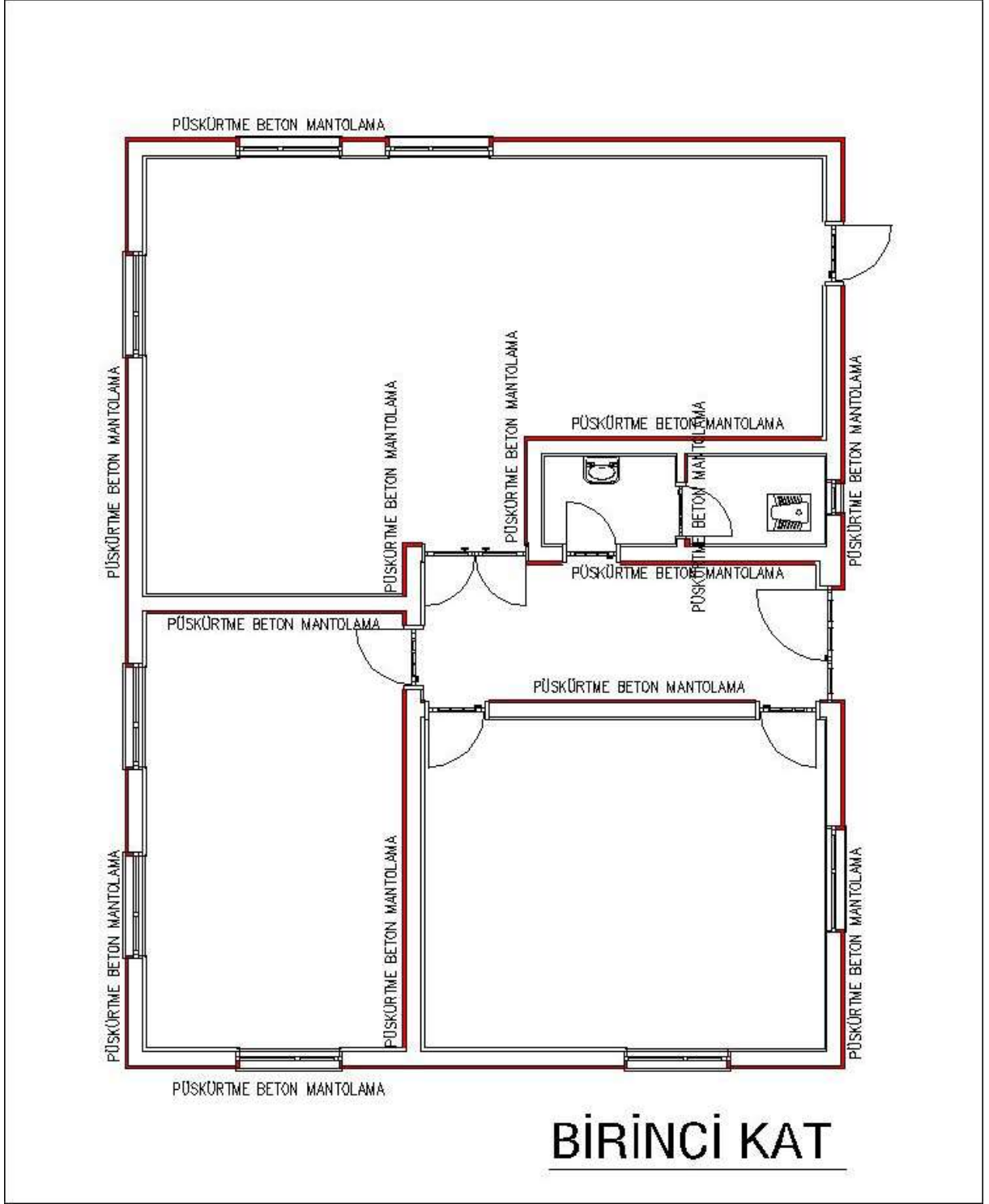
Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Max. Kayma Gerilmesi (kPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (kPa)	Değerlendirme
x1	1,2	0,30	107	207	√
x2	4,0	0,30	195	207	√
x3	1,2	0,30	207	207	√
x4	3,533	0,30	127	207	√
x5	3,85	0,30	194	207	√
x6	3,0	0,30	186	207	√
x7	4,2	0,30	196	207	√
x8	0,888	0,30	153	207	√
x9	0,889	0,30	85	207	√
x10	4,977	0,30	138	207	√
y1	0,873	0,30	99	207	√
y2	1,732	0,30	137	207	√
y3	4,809	0,30	201	207	√
y4	0,90	0,30	42	207	√
y5	5,205	0,30	130	207	√
y6	1,50	0,30	184	207	√
y7	1,075	0,30	182	207	√
y8	1,426	0,30	135	207	√
y9	1,997	0,30	137	207	√
y10	0,60	0,30	82	207	√
y11	2,968	0,30	131	207	√
y12	0,60	0,30	38	207	√

5.2.2. İkinci güçlendirme alternatifi: Tüm duvarların 5 cm püskürtme beton ile tek taraflı olarak güçlendirilmesi

İkinci olarak yığma yapıdaki tüm duvarlar 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile tek taraflı olarak güçlendirilecektir. Bu duruma ait güçlendirilmiş kat planları Şekil 5.27 ve Şekil 5.28’ de gösterilmektedir.



Şekil 5.27. İkinci güçlendirme alternatifi için zemin kat planı



Şekil 5.28. İkinci güçlendirme alternatifi için birinci kat planı

Her duvara eklenen 5 cm kalınlığındaki betonarme kısımdan sonra yapının ağırlığı değişecektir. Bu durumda elde edilen kat ağırlıkları Çizelge 5.12’ de gösterilmiştir.

Çizelge 5.12. İkinci güçlendirme alternatifi için yapı kat ağırlıkları ve toplam yapı ağırlığı

Kat	Ağırlık (kN)
Zemin	2.048,68
1	1.272,49
Toplam	3.321,17

Yapının zemin katında bulunan toplam duvar alanı 18,02 m², birinci kat duvar alanları toplamı ise 12,85 m²'dir. Dolayısıyla yapı zemin kat duvarlarında ortalama düşey doğrultudaki normal gerilme değeri;

$$\sigma_d = \frac{3321,17}{18,02} = 184,3 \text{ kN/m}^2 \leq f_{em} = 850 \text{ kPa}$$

Yapı birinci katında ise;

$$\sigma_d = \frac{1272,49}{12,85} = 99,03 \text{ kN/m}^2 \leq f_{em} = 850 \text{ kPa}$$

Buna göre zemin kat duvarları için $\tau_{em}=0,232$ MPa, birinci kat duvarları için ise $\tau_{em}=0,190$ MPa olarak hesap edilmiştir. Kayma emniyet gerilmelerinin hesabında çatlama kesme dayanımı olarak 0,14 MPa değeri kullanılmıştır.

5 cm püskürtme beton ile oluşan kompozit elemanların eşdeğer duvar kalınlıkları, malzeme birim hacim ağırlıkları ve elastisite modülleri Çizelge 5.13' de verilmiştir.

Çizelge 5.13. İkinci güçlendirme alternatifi için kompozit malzeme birim hacim ağırlıkları ve elastisite modülleri

Duvar kalınlığı (cm)	Eşdeğer duvar kalınlığı (cm)	Birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)
10	15	18,33	10483
15	20	17,5	8012,5
20	25	17	6530
30	35	16,43	4835,7

Bu veriler kullanılarak yapı, SAP2000 programında yeniden modellenmiştir. Analiz sonrasında elde edilen ilk 10 periyod değeri Çizelge 5.14’ de sunulmuştur. Bu çizelge, Çizelge 5.2 ile karşılaştırılırsa yapı serbest titreşim periyotlarının azaldığı görülmektedir. Yani yapı yapılan güçlendirme ile daha rijit bir hale getirilmiştir. Bu periyodların Çizelge 5.9’ da 10 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilmiş yapı için verilen periyodlarla karşılaştırıldığında ise yapının biraz esnek hale dönüştüğü görülmektedir. Bu zaten beklenen bir durumdur.

Çizelge 5.14. İkinci güçlendirme alternatifi için elde edilen ilk 10 periyot

Mod	Periyot (san)
1	0,3009
2	0,2561
3	0,1593
4	0,1551
5	0,1279
6	0,1015
7	0,0967
8	0,0961
9	0,0726
10	0,0661

Duvarlarda elde edilen maksimum kayma gerilmeleri ve kayma emniyet gerilmeleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16’ da sunulmuştur. Çizelgelerden görüldüğü gibi bazı duvarlarda maksimum kayma gerilmeleri kayma emniyet gerilmesini aşmaktadır. Bu durumda, ikinci güçlendirme alternatifi ile bina için gerekli performans düzeyine ulaşamadığı söylenebilir.

Çizelge 5.15. İkinci güçlendirme alternatifi için zemin kat duvarlarının değerlendirilmesi

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Max. Kayma Gerilmesi (kPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (kPa)	Değerlendirme
<i>x1</i>	1,2	0,35	98	232	√
<i>x2</i>	0,9	0,35	78	232	√
<i>x3</i>	1,2	0,35	91	232	√
<i>x4</i>	1,2	0,35	102	232	√
<i>x5</i>	3,9	0,15	327	232	X
<i>x6</i>	4,2	0,25	221	232	√
<i>x7</i>	3,85	0,25	151	232	√
<i>x8</i>	4,2	0,25	194	232	√
<i>x9</i>	3,85	0,15	315	232	X
<i>x10</i>	2,175	0,15	263	232	X
<i>x11</i>	2,125	0,25	153	232	√
<i>x12</i>	1,181	0,35	77	232	√
<i>x13</i>	1,181	0,35	224	232	√
<i>x14</i>	1,18	0,35	169	232	√
<i>x15</i>	3,5	0,35	137	232	√
<i>y1</i>	1,164	0,35	70	232	√
<i>y2</i>	2,309	0,35	82	232	√
<i>y3</i>	1,951	0,35	107	232	√
<i>y4</i>	2,637	0,35	103	232	√
<i>y5</i>	1,2	0,35	67	232	√
<i>y6</i>	1,075	0,25	298	232	X
<i>y7</i>	3,85	0,15	247	232	X
<i>y8</i>	2,0	0,25	121	232	√
<i>y9</i>	2,853	0,15	241	232	X
<i>y10</i>	1,075	0,15	204	232	√
<i>y11</i>	4,15	0,20	241	232	X
<i>y12</i>	1,426	0,35	115	232	√
<i>y13</i>	1,712	0,35	189	232	√
<i>y14</i>	0,60	0,35	57	232	√
<i>y15</i>	4,45	0,35	85	232	√

Çizelge 5.16. İkinci güçlendirme alternatifi için birinci kat duvarlarının değerlendirilmesi

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Max. Kayma Gerilmesi (kPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (kPa)	Değerlendirme
x1	1,2	0,25	92	190	√
x2	4,0	0,25	139	190	√
x3	1,2	0,25	155	190	√
x4	3,533	0,25	215	190	X
x5	3,85	0,25	205	190	X
x6	3,0	0,25	270	190	X
x7	4,2	0,25	196	190	√
x8	0,888	0,25	179	190	√
x9	0,889	0,25	197	190	X
x10	4,977	0,25	188	190	√
y1	0,873	0,25	148	190	√
y2	1,732	0,25	189	190	√
y3	4,809	0,25	210	190	X
y4	0,90	0,25	32	190	√
y5	5,205	0,25	206	190	X
y6	1,50	0,25	200	190	X
y7	1,075	0,25	117	190	√
y8	1,426	0,25	168	190	√
y9	1,997	0,25	181	190	√
y10	0,60	0,25	109	190	√
y11	2,968	0,25	176	190	√
y12	0,60	0,25	48	190	√

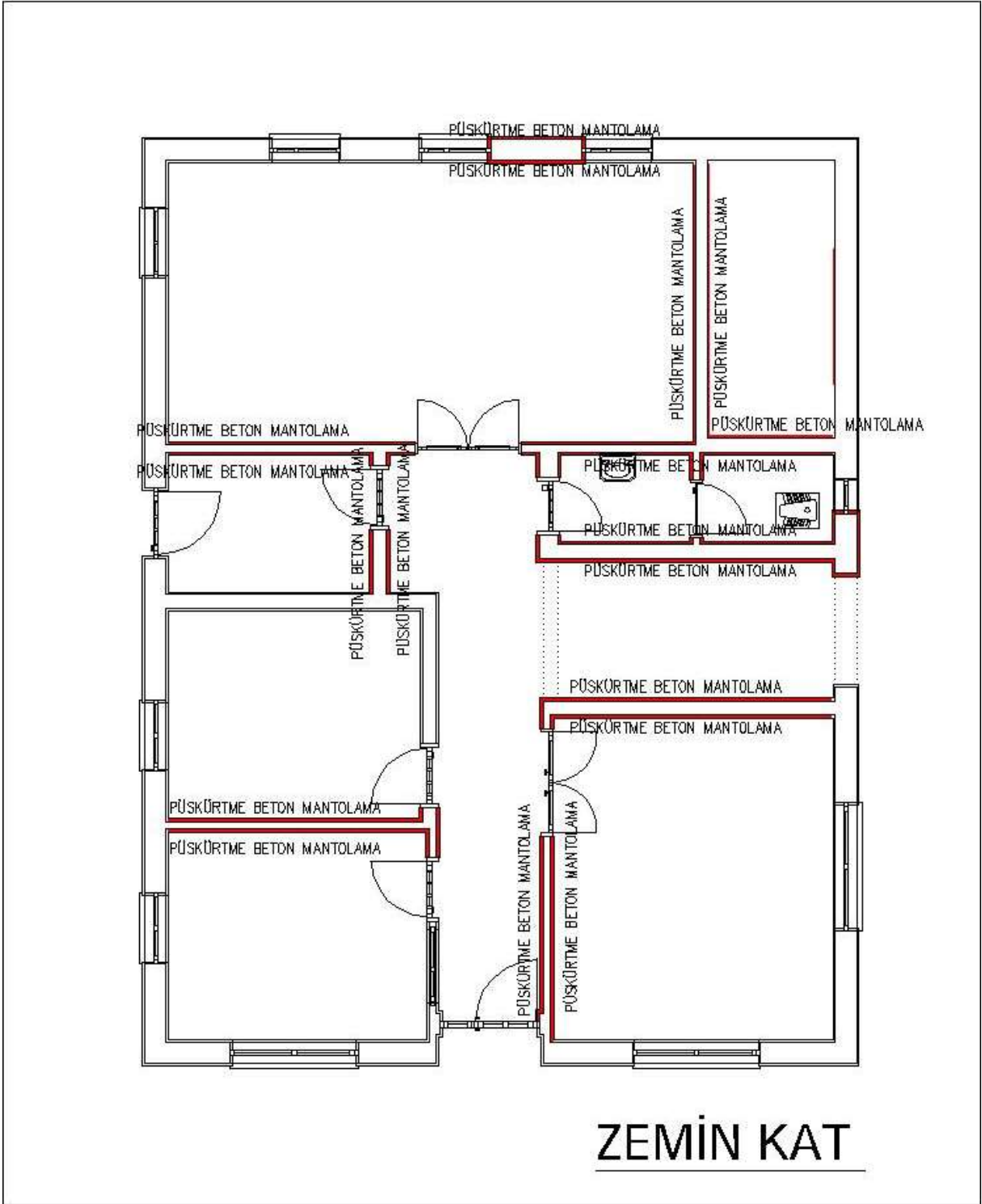
5.2.3. Üçüncü güçlendirme alternatifi: Sadece dayanımı yetersiz duvarların içten ve dıştan 5 cm püskürtme beton ile güçlendirilmesi

Üçüncü olarak yığma yapıdaki sadece zayıf duvarlar içten ve dıştan 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilecektir. Bu duruma ait güçlendirilmiş kat planları Şekil 5.29 ve Şekil 5.30’ da gösterilmektedir.

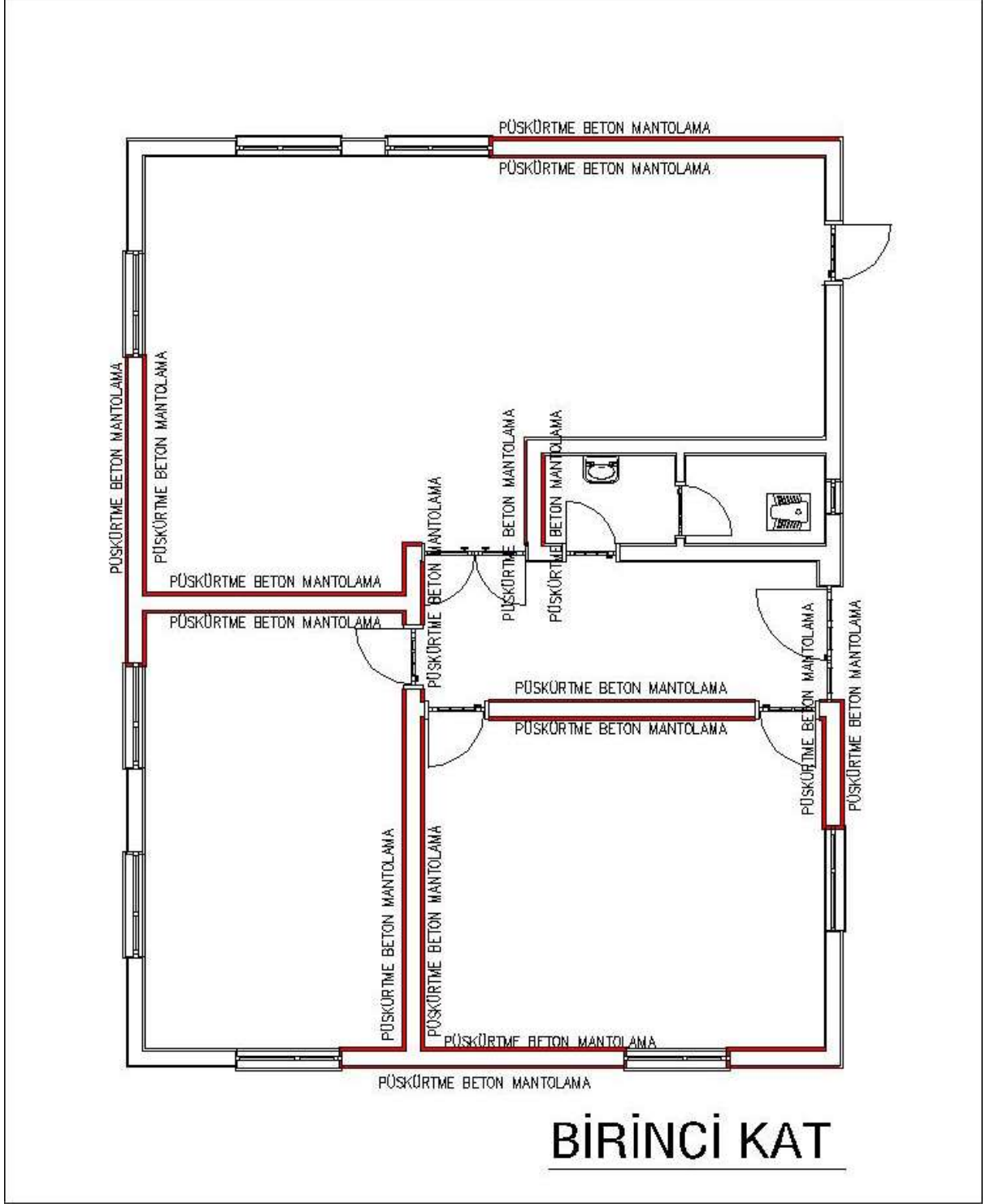
Tasarım depremi altında yetersiz olan mevcut duvarlar yeniden aşağıdaki Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.18’ de belirtilmiştir. Güçlendirilmiş duvarların modellenmesinde kullanılacak olan malzeme özellikleri daha önceden hesaplanmıştı.

Yapının kısmi olarak güçlendirilmesinden dolayı her bir kat için ortalama düşey gerilme hesabı yapmak çok mantıklı gözükmemektedir. Bu yüzden güçlendirilen duvarlar daha önceki Bölüm 5.2.1’de verilen kompozit malzeme özellikleri kullanılarak SAP2000 analiz programında modellenecektir. Bu modelden elde edilen $G+nQ$ yüklemesi altında normal gerilme hesabı yapılacak ve bu gerilme değerleri kayma emniyet gerilmesinin hesabında kullanılacaktır. Duvarların yeniden modellenmesi ile elde edilen yapı Şekil 5.31’ de gösterilmektedir.

Güçlendirilmeyen duvarların kayma emniyet gerilmeleri Bölüm 5.2.1’de hesaplandığı gibidir. Aşağıdaki Çizelge 5.19 ve Çizelge 5.20’ de güçlendirilen duvarların ortalama normal gerilmeleri ve kayma emniyet gerilmeleri gösterilmektedir.



Şekil 5.29. Üçüncü güçlendirme alternatifi için zemin kat planı.



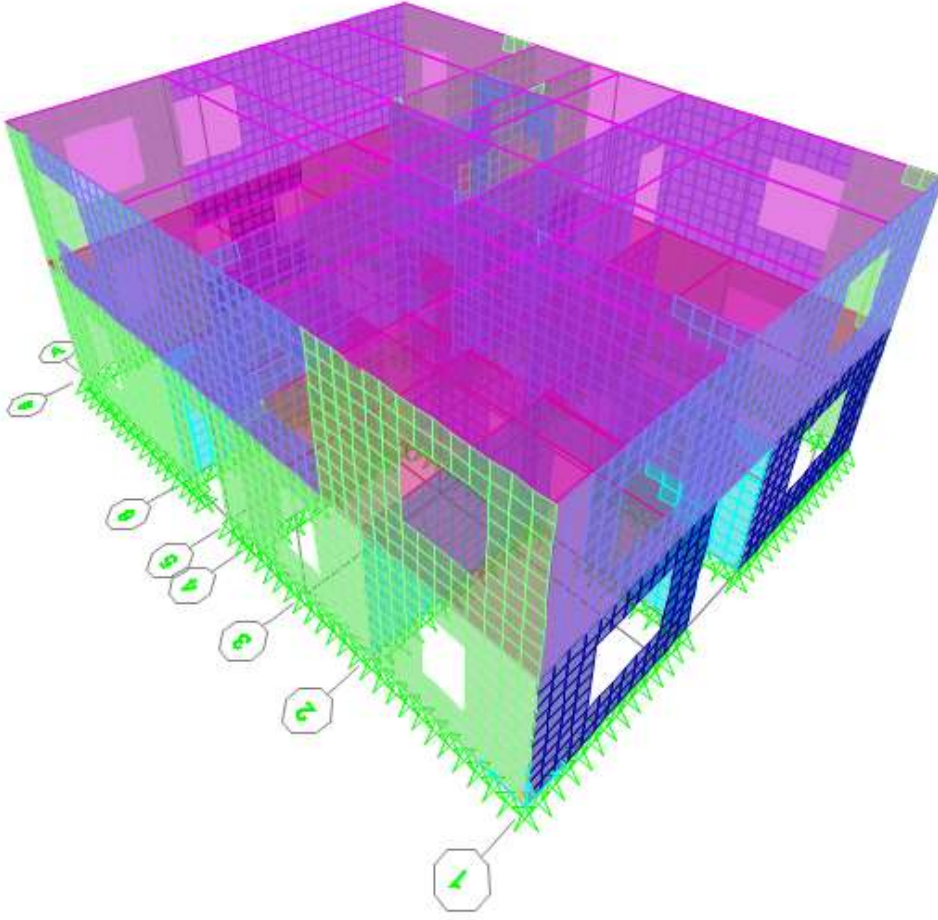
Şekil 5.30 Üçüncü güçlendirme alternatifi için birinci kat planı.

Çizelge 5.17. Zemin kat kesme dayanımı yetersiz olan duvarlar için kompozit malzeme özellikleri

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Eşdeğer duvar kalınlığı (cm)	Birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)
x5	3,9	0,10	0,20	20	15425
x6	4,2	0,20	0,30	18,33	10483,33
x8	4,2	0,20	0,30	18,33	10483,33
x9	3,85	0,10	0,20	20	15425
x10	2,175	0,10	0,20	20	15425
x11	2,125	0,20	0,30	18,33	10483,33
x14	1,18	0,30	0,40	17,5	8012,5
y6	1,075	0,20	0,30	18,33	10483,33
y7	3,85	0,10	0,20	20	15425
y9	2,853	0,10	0,20	20	15425
y10	1,075	0,10	0,20	20	15425
y11	4,15	0,15	0,25	19	12460
y14	0,60	0,30	0,40	17,5	8012,5

Çizelge 5.18. Birinci kat kesme dayanımı yetersiz olan duvarlar için kompozit malzeme özellikleri

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Eşdeğer duvar kalınlığı (cm)	Birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)
x2	4,0	0,20	0,30	18,33	10483,33
x3	1,2	0,20	0,30	18,33	10483,33
x4	3,533	0,20	0,30	18,33	10483,33
x5	3,85	0,20	0,30	18,33	10483,33
x10	4,977	0,20	0,30	18,33	10483,33
y3	4,809	0,20	0,30	18,33	10483,33
y5	5,205	0,20	0,30	18,33	10483,33
y6	1,50	0,20	0,30	18,33	10483,33
y7	1,075	0,20	0,30	18,33	10483,33
y9	1,997	0,20	0,30	18,33	10483,33



Şekil 5.31. Mevcut yapıda sadece zayıf olan duvarların güçlendirilmesi ile oluşan model

Çizelge 5.19. Üçüncü güçlendirme alternatifi için zemin kat güçlendirilen duvarlara ait normal gerilme ve kayma emniyet gerilmesi

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Normal gerilme (S22) (MPa)	Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi (MPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (MPa)
x5	3,9	0,10	0,22	0,16	0,270
x6	4,2	0,20	0,29	0,16	0,305
x8	4,2	0,20	0,15	0,16	0,235
x9	3,85	0,10	0,30	0,16	0,310
x10	2,175	0,10	0,31	0,16	0,315
x11	2,125	0,20	0,17	0,16	0,245
x14	1,18	0,30	0,35	0,16	0,335
y6	1,075	0,20	0,36	0,16	0,340
y7	3,85	0,10	0,30	0,16	0,310
y9	2,853	0,10	0,25	0,16	0,285
y10	1,075	0,10	0,22	0,16	0,270
y11	4,15	0,15	0,17	0,16	0,245
y14	0,60	0,30	0,10	0,16	0,210

Çizelge 5.20. Üçüncü güçlendirme alternatifi için birinci kat güçlendirilen duvarlara ait normal gerilme ve kayma emniyet gerilmesi

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Normal gerilme (S22) (MPa)	Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi (MPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (MPa)
x2	4,0	0,20	0,07	0,16	0,195
x3	1,2	0,20	0,17	0,16	0,245
x4	3,533	0,20	0,20	0,16	0,260
x5	3,85	0,20	0,11	0,16	0,215
x10	4,977	0,20	0,21	0,16	0,265
y3	4,809	0,20	0,22	0,16	0,270
y5	5,205	0,20	0,11	0,16	0,215
y6	1,50	0,20	0,19	0,16	0,255
y7	1,075	0,20	0,25	0,16	0,285
y9	1,997	0,20	0,09	0,16	0,205

Aşağıdaki Çizelge 5.21 ve Çizelge 5.22’ de duvarlarda oluşan maksimum kayma gerilmeleri ve kayma emniyet gerilmeleri gösterilmektedir. Çizelgelerden yapılan

güçlendirmenin çoğu duvarda yeterli bir güvenlik sağladığı ancak sadece birkaç duvarda yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Yapılan kısmi güçlendirme ile bazı duvarlarda kayma gerilmelerinin çok düştüğü bazı duvarlarda ise arttığı görülmektedir. Üçüncü güçlendirme alternatifi ile hernekadar gerekli performans düzeyi sağlanamamış olsa da, ikinci alternatifte oranla daha iyi bir çözüme ulaşıldığı söylenebilir.

Çizelge 5.21. Üçüncü güçlendirme alternatifi için zemin kat duvarlarının değerlendirilmesi

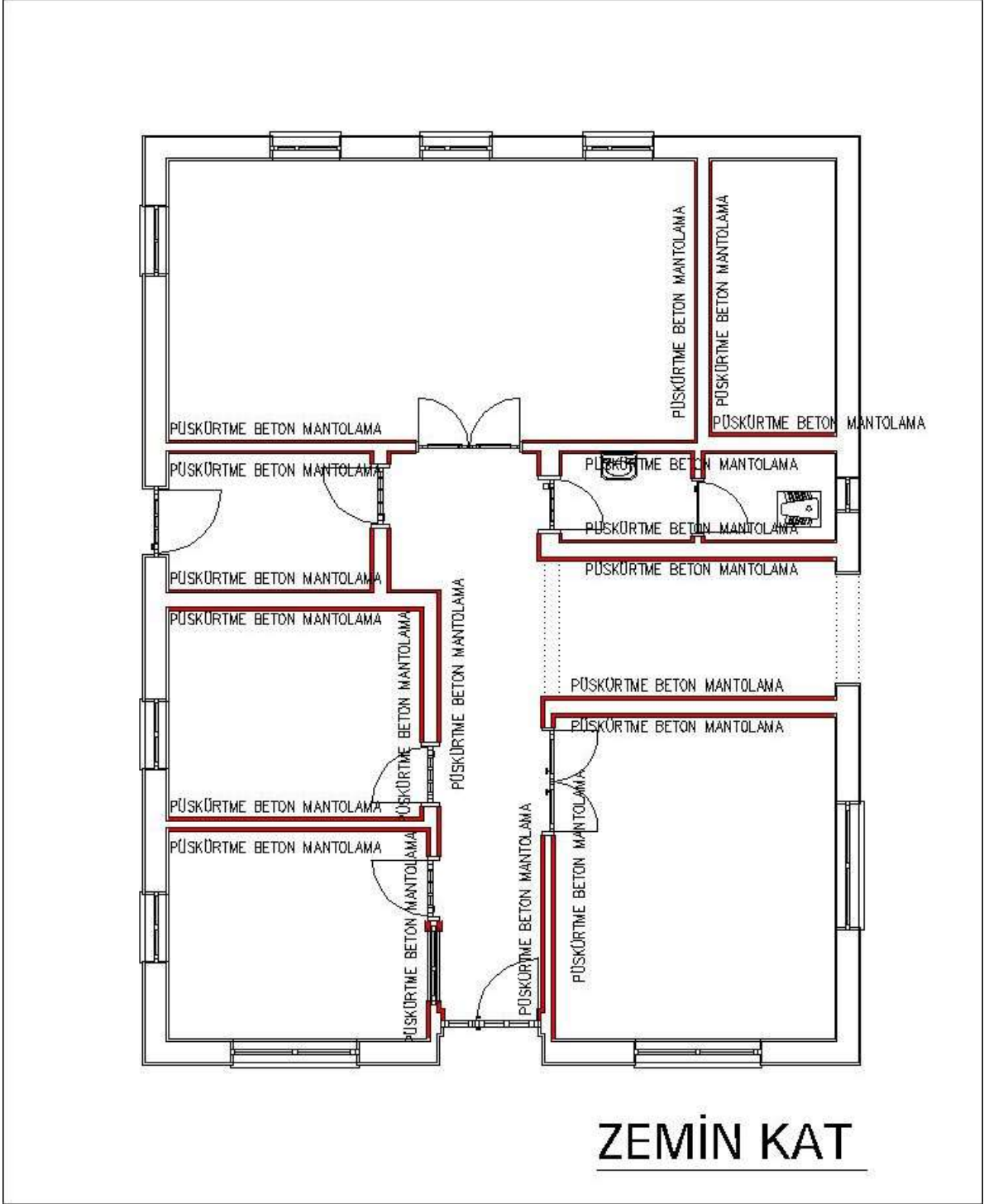
Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Eşdeğer Kalınlık (m)	Max. Kayma Gerilmesi (kPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (kPa)	Değerlendirme
x1	1,2	0,30	72	219	√
x2	0,9	0,30	83	219	√
x3	1,2	0,30	98	219	√
x4	1,2	0,30	117	219	√
x5	3,9	0,20	344	270	X
x6	4,2	0,30	184	305	√
x7	3,85	0,20	27	219	√
x8	4,2	0,30	146	235	√
x9	3,85	0,20	380	310	X
x10	2,175	0,20	225	315	√
x11	2,125	0,30	222	245	√
x12	1,181	0,30	36	219	√
x13	1,181	0,30	32	219	√
x14	1,18	0,40	197	335	√
x15	3,5	0,30	33	219	√
y1	1,164	0,30	5	219	√
y2	2,309	0,30	36	219	√
y3	1,951	0,30	19	219	√
y4	2,637	0,30	45	219	√
y5	1,2	0,30	37	219	√
y6	1,075	0,30	195	340	√
y7	3,85	0,20	254	310	√
y8	2,0	0,20	172	219	√
y9	2,853	0,20	298	285	X
y10	1,075	0,20	212	270	√
y11	4,15	0,25	341	245	X
y12	1,426	0,30	6	219	√
y13	1,712	0,30	41	219	√
y14	0,60	0,40	101	210	√
y15	4,45	0,30	47	219	√

Çizelge 5.22. Üçüncü güçlendirme alternatifi için birinci kat duvarlarının değerlendirilmesi

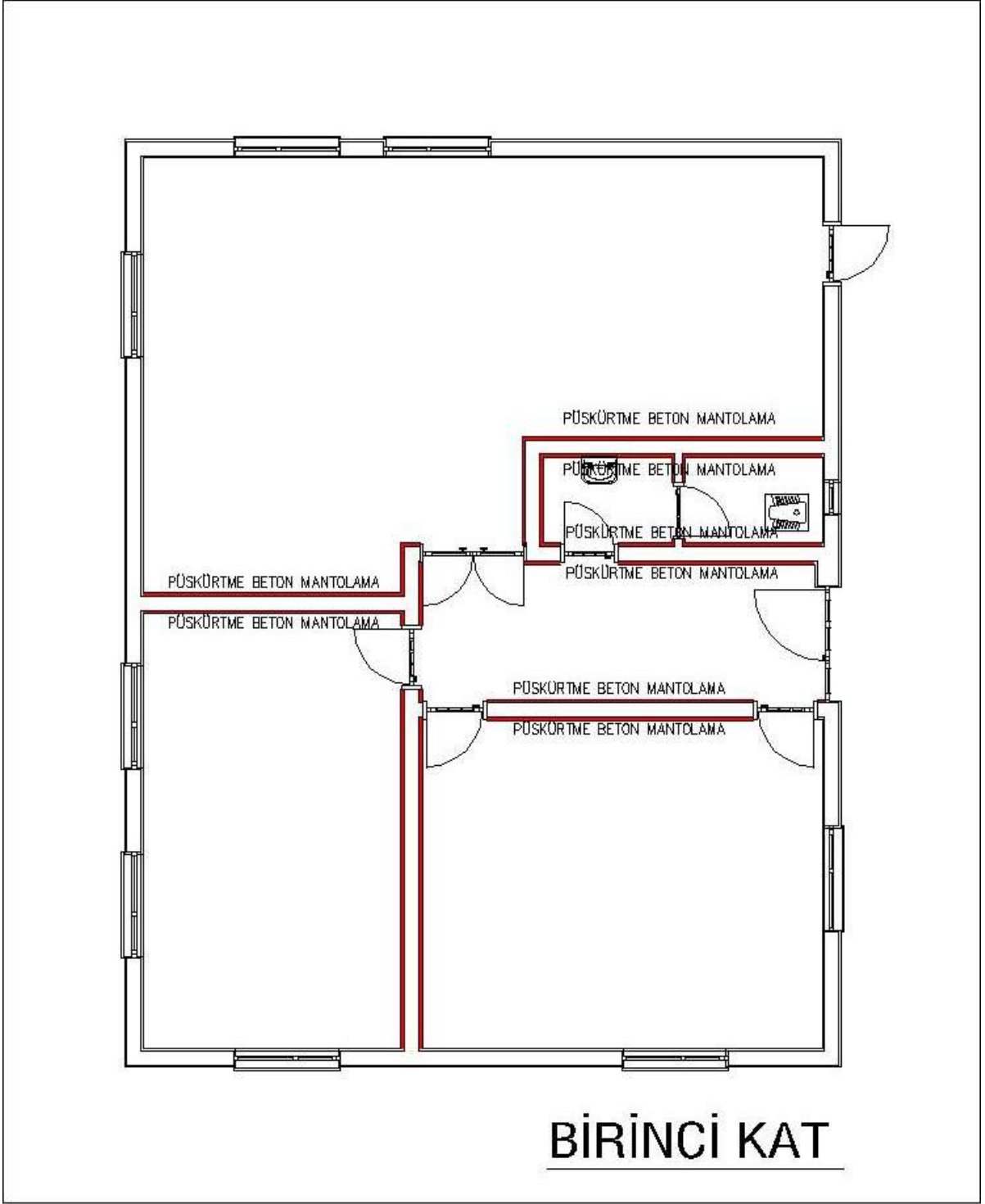
Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Eşdeğer Kalınlık (m)	Max. Kayma Gerilmesi (kPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (kPa)	Değerlendirme
x1	1,2	0,20	45	173	√
x2	4,0	0,30	119	195	√
x3	1,2	0,30	113	245	√
x4	3,533	0,30	222	260	√
x5	3,85	0,30	255	215	X
x6	3,0	0,20	12	173	√
x7	4,2	0,20	14	173	√
x8	0,888	0,20	37	173	√
x9	0,889	0,20	126	173	√
x10	4,977	0,30	290	265	X
y1	0,873	0,20	43	173	√
y2	1,732	0,20	94	173	√
y3	4,809	0,30	267	270	√
y4	0,90	0,20	110	173	√
y5	5,205	0,30	129	215	√
y6	1,50	0,30	38	255	√
y7	1,075	0,30	221	285	√
y8	1,426	0,20	65	173	√
y9	1,997	0,30	95	205	√
y10	0,60	0,20	40	173	√
y11	2,968	0,20	64	173	√
y12	0,60	0,20	88	173	√

5.2.4. Dördüncü güçlendirme alternatifi: Tüm iç duvarların her iki taraftan 5 cm püskürtme beton ile güçlendirilmesi

Dördüncü olarak yığma yapıdaki tüm iç duvarlar içten ve dıştan 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilecektir. Bu duruma ait güçlendirilmiş kat planları Şekil 5.32 ve Şekil 5.33’ de gösterilmektedir.



Şekil 5.32. Dördüncü güçlendirme alternatifi için zemin kat planı



Şekil 5.33. Dördüncü güçlendirme alternatifi için birinci kat planı

Aşağıdaki Çizelge 5.23 ve Çizelge 5.24’ de iç duvarların isimleri ve her iki taraftan 5 cm püskürtme beton ile güçlendirilmeleri durumunda sahip olacakları birim ağırlık ve elastisite modülleri gösterilmiştir.

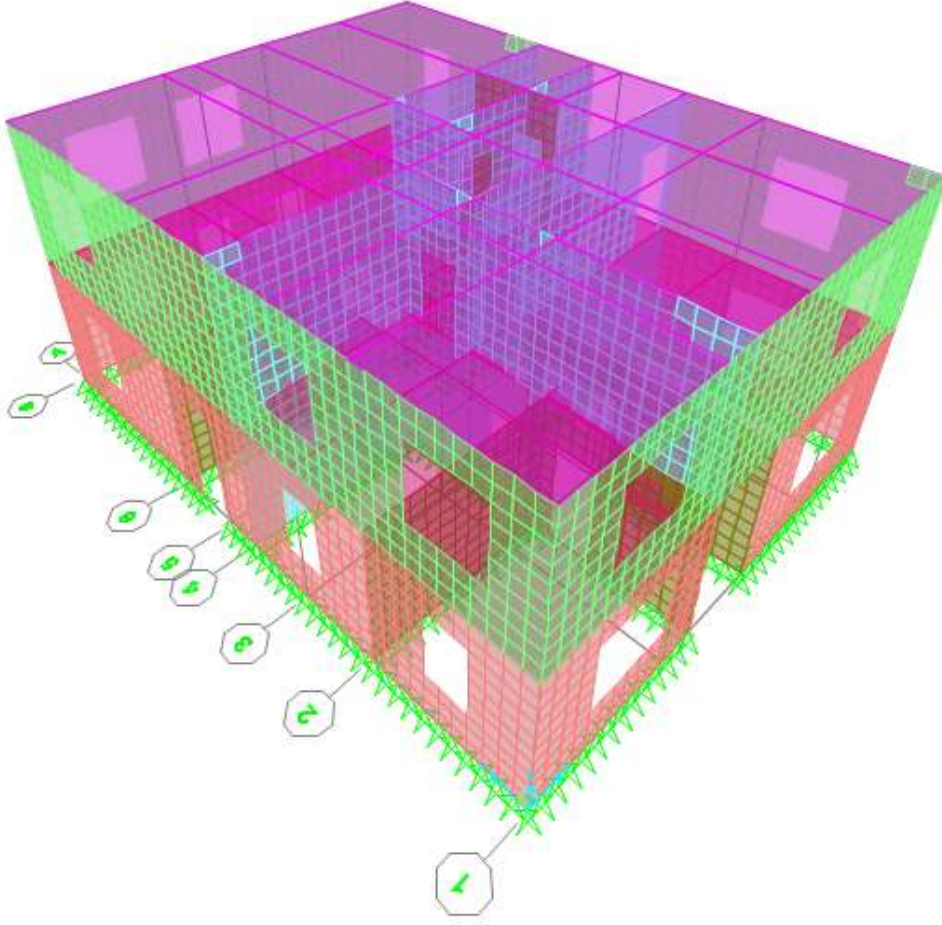
Çizelge 5.23. Zemin katta güçlendirilen iç duvarların kompozit malzeme özellikleri

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Eşdeğer duvar kalınlığı (m)	Birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)
x5	3,9	0,10	0,20	20	15.425
x6	4,2	0,20	0,30	18,33	10.483,33
x7	3,85	0,20	0,30	18,33	10.483,33
x8	4,2	0,20	0,30	18,33	10.483,33
x9	3,85	0,10	0,20	20	15.425
x10	2,175	0,10	0,20	20	15.425
x11	2,125	0,20	0,30	18,33	10.483,33
y6	1,075	0,20	0,30	18,33	10.483,33
y7	3,85	0,10	0,20	20	15.425
y8	2,0	0,20	0,30	18,33	10.483,33
y9	2,853	0,10	0,20	20	15.425
y10	1,075	0,10	0,20	20	15.425
y11	4,15	0,15	0,25	19	12.460

Çizelge 5.24. Birinci katta güçlendirilen iç duvarların kompozit malzeme özellikleri

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Eşdeğer duvar kalınlığı (m)	Birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)
x4	3,533	0,20	0,30	18,33	10483,33
x5	3,85	0,20	0,30	18,33	10483,33
x6	3,0	0,20	0,30	18,33	10483,33
x7	4,2	0,20	0,30	18,33	10483,33
y5	5,205	0,20	0,30	18,33	10483,33
y6	1,50	0,20	0,30	18,33	10483,33
y7	1,075	0,20	0,30	18,33	10483,33

Sap2000 programında yeniden modellenen yapının görüntüsü aşağıda Şekil 5.34'te verilmiştir.



Şekil 5.34. Mevcut yapıda sadece iç duvarların hem içten hemde dıştan 5cm püskürtme beton ile güçlendirilmesi sonucu oluşan model

Yeniden oluşturulan model daha önce bahsedilen yüklemeler altından analiz edilmiştir. Katlarda hem güçlendirilen hem de güçlendirilmeyen duvarlar olduğu için ortalama kat normal kuvveti hesaplamak çok mantıklı gözükmemektedir. Bu yüzden her bir duvar için programdan $G+nQ$ yüklemesinden elde edilen düşey gerilmeler belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak duvarların kesme emniyet gerilmeleri hesap edilmiştir. Hesap edilen değerler Çizelge 5.25 ve Çizelge 5.26’da sunulmuştur.

Çizelge 5.25. Dördüncü güçlendirme alternatifi için zemin kat güçlendirilen duvarlara ait normal gerilme ve kayma emniyet gerilmesi

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Normal gerilme (S22) (MPa)	Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi (MPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (MPa)
x5	3,9	0,10	0,28	0,16	0,300
x6	4,2	0,20	0,30	0,16	0,310
x7	3,85	0,20	0,24	0,16	0,280
x8	4,2	0,20	0,21	0,16	0,265
x9	3,85	0,10	0,21	0,16	0,265
x10	2,175	0,10	0,25	0,16	0,285
x11	2,125	0,20	0,16	0,16	0,240
y6	1,075	0,20	0,21	0,16	0,265
y7	3,85	0,10	0,27	0,16	0,295
y8	2,0	0,20	0,17	0,16	0,245
y9	2,853	0,10	0,30	0,16	0,310
y10	1,075	0,10	0,26	0,16	0,290
y11	4,15	0,15	0,18	0,16	0,250

Çizelge 5.26. Dördüncü güçlendirme alternatifi için birinci kat güçlendirilen duvarlara ait normal gerilme ve kayma emniyet gerilmesi

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Normal gerilme (S22) (MPa)	Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi (MPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (MPa)
x4	3,533	0,20	0,20	0,16	0,260
x5	3,85	0,20	0,17	0,16	0,245
x6	3,0	0,20	0,10	0,16	0,210
x7	4,2	0,20	0,10	0,16	0,210
y5	5,205	0,20	0,11	0,16	0,215
y6	1,50	0,20	0,17	0,16	0,245
y7	1,075	0,20	0,16	0,16	0,240

Yapılan analizler sonrası elde edilen maksimum kayma gerilmeleri ve duvarların kayma emniyet gerilmeleri Çizelge 5.27 ve Çizelge 5.28’de sunulmuştur.

Çizelge 5.27. Dördüncü güçlendirme alternatifi için zemin kat duvarlarının değerlendirilmesi

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Eşdeğer Kalınlık (m)	Max. Kayma Gerilmesi (kPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (kPa)	Değerlendirme
x1	1,2	0,30	18	248	√
x2	0,9	0,30	12	248	√
x3	1,2	0,30	49	248	√
x4	1,2	0,30	35	248	√
x5	3,9	0,20	330	300	X
x6	4,2	0,30	172	310	√
x7	3,85	0,30	153	280	√
x8	4,2	0,30	123	265	√
x9	3,85	0,30	316	265	X
x10	2,175	0,20	180	285	√
x11	2,125	0,30	165	240	√
x12	1,181	0,30	36	248	√
x13	1,181	0,30	45	248	√
x14	1,18	0,30	47	248	√
x15	3,5	0,30	90	248	√
y1	1,164	0,30	19	248	√
y2	2,309	0,30	36	248	√
y3	1,951	0,30	37	248	√
y4	2,637	0,30	18	248	√
y5	1,2	0,30	49	248	√
y6	1,075	0,30	172	295	√
y7	3,85	0,20	190	265	√
y8	2,0	0,30	181	245	√
y9	2,853	0,20	303	310	√
y10	1,075	0,20	224	290	√
y11	4,15	0,25	340	250	X
y12	1,426	0,30	36	248	√
y13	1,712	0,30	54	248	√
y14	0,60	0,30	14	248	√
y15	4,45	0,30	25	248	√

Çizelgelerden görüldüğü gibi birkaç duvar hariç, yapılan güçlendirme yeterli gözükmemektedir. Her iki taraftan 5 cm püskürtme beton ile güçlendirilen duvarlar, malzeme özelliklerinde meydana gelen iyileşmeden dolayı daha fazla kuvvet çekmekte ve bu yüzden bu duvarlarda gerilmeler artmaktadır. Diğer güçlendirilmeyen duvarlardaki gerilmeler ise oldukça düşük miktarda olmaktadır. Dördüncü güçlendirme alternatifi ile de gerekli performans

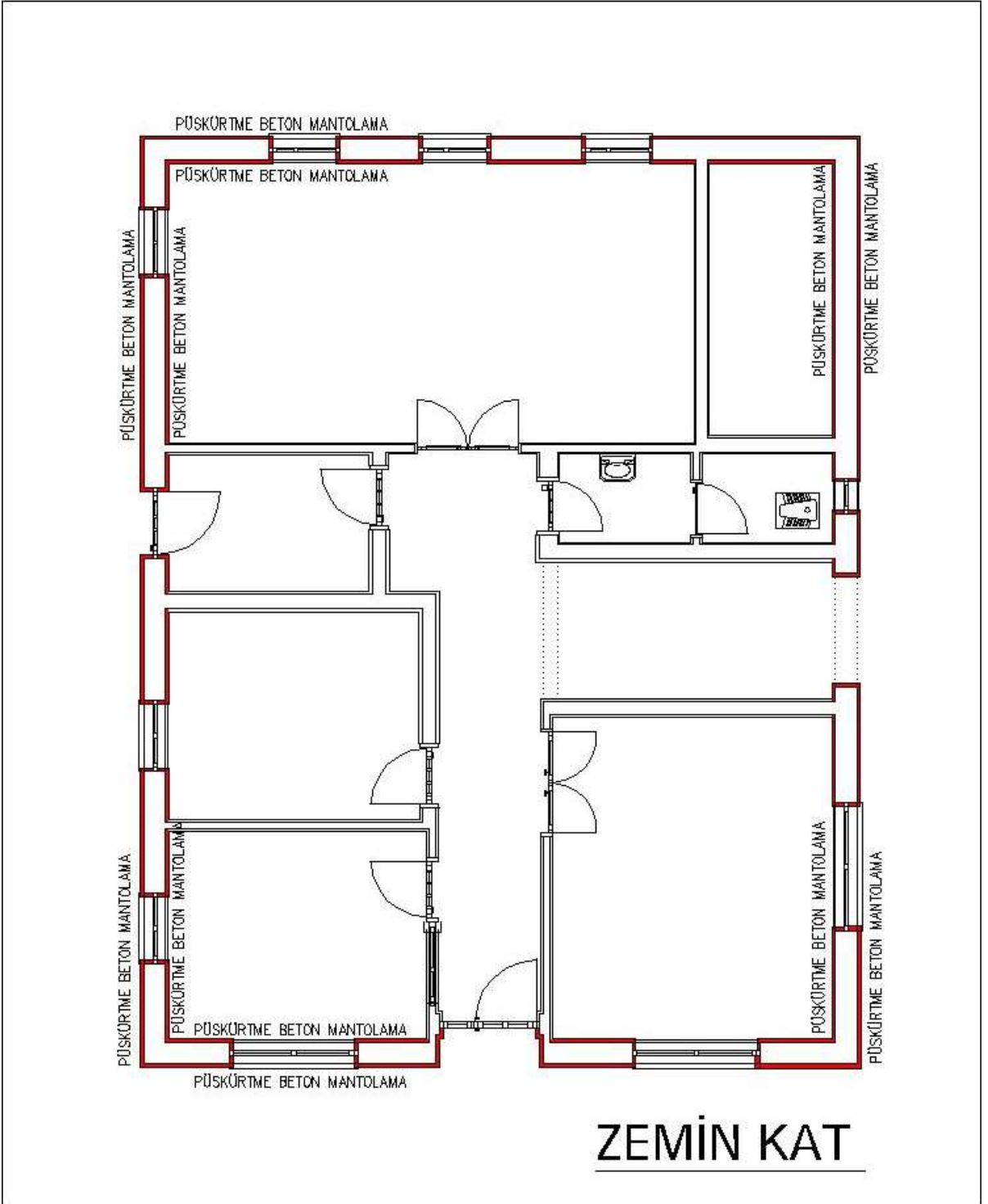
düzeyinin sağlanamamış olduğu ve üçüncü alternatife yakın bir çözüme ulaşıldığı söylenebilir.

Çizelge 5.28. Dördüncü güçlendirme alternatifi için birinci kat duvarlarının değerlendirilmesi

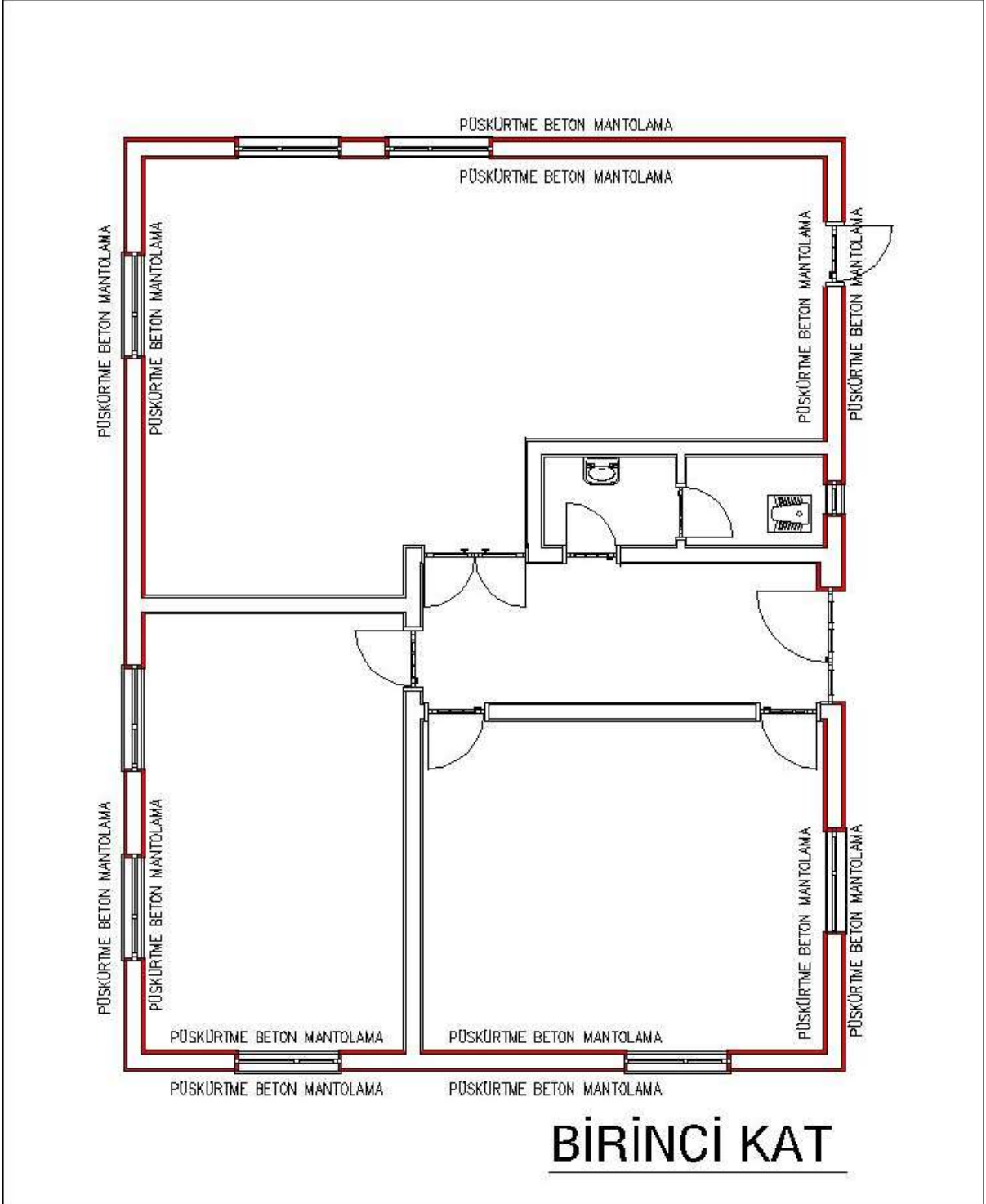
Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Eşdeğer Kalınlık (m)	Max. Kayma Gerilmesi (kPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (kPa)	Değerlendirme
x1	1,2	0,20	36	207	√
x2	4,0	0,20	92	207	√
x3	1,2	0,20	97	207	√
x4	3,533	0,30	242	260	√
x5	3,85	0,30	170	245	√
x6	3,0	0,30	122	210	√
x7	4,2	0,30	202	210	√
x8	0,888	0,20	34	207	√
x9	0,889	0,20	76	207	√
x10	4,977	0,20	158	207	√
y1	0,873	0,20	45	207	√
y2	1,732	0,20	51	207	√
y3	4,809	0,20	127	207	√
y4	0,90	0,20	85	207	√
y5	5,205	0,30	235	215	X
y6	1,50	0,30	115	245	√
y7	1,075	0,30	61	240	√
y8	1,426	0,20	110	207	√
y9	1,997	0,20	160	207	√
y10	0,60	0,20	12	207	√
y11	2,968	0,20	57	207	√
y12	0,60	0,20	54	207	√

5.2.5. Beşinci güçlendirme alternatifi: Tüm dış duvarların içten ve dıştan 5 cm püskürtme beton ile güçlendirilmesi

Beşinci olarak yığma yapıdaki tüm dış duvarlar içten ve dıştan 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilecektir. Bu duruma ait güçlendirilmiş kat planları Şekil 5.35 ve Şekil 5.36' da gösterilmektedir.



Şekil 5.35. Beşinci güçlendirme alternatifi için zemin kat planı.



Şekil 5.36. Beşinci güçlendirme alternatifi için birinci kat planı.

Çizelge 5.29 ve Çizelge 5.30’da güçlendirilecek dış duvarların isimleri ve her iki taraftan 5 cm püskürtme beton ile güçlendirilmeleri durumunda meydana gelecek birim ağırlık ve elastisite modülleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.29. Zemin katta güçlendirilen dış duvarların kompozit malzeme özellikleri

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Eşdeğer duvar kalınlığı (m)	Birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)
x1	1,2	0,30	0,40	17,5	8012,5
x2	0,9	0,30	0,40	17,5	8012,5
x3	1,2	0,30	0,40	17,5	8012,5
x4	1,2	0,30	0,40	17,5	8012,5
x12	1,181	0,30	0,40	17,5	8012,5
x13	1,181	0,30	0,40	17,5	8012,5
x14	1,18	0,30	0,40	17,5	8012,5
x15	3,5	0,30	0,40	17,5	8012,5
y1	1,164	0,30	0,40	17,5	8012,5
y2	2,309	0,30	0,40	17,5	8012,5
y3	1,951	0,30	0,40	17,5	8012,5
y4	2,637	0,30	0,40	17,5	8012,5
y5	1,2	0,30	0,40	17,5	8012,5
y12	1,426	0,30	0,40	17,5	8012,5
y13	1,712	0,30	0,40	17,5	8012,5
y14	0,60	0,30	0,40	17,5	8012,5
y15	4,45	0,30	0,40	17,5	8012,5

Çizelge 5.30. Birinci katta güçlendirilen dış duvarların kompozit malzeme özellikleri

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Eşdeğer duvar kalınlığı (m)	Birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)
x1	1,2	0,20	0,30	18,33	10483,33
x2	4,0	0,20	0,30	18,33	10483,33
x3	1,2	0,20	0,30	18,33	10483,33
x8	0,888	0,20	0,30	18,33	10483,33
x9	0,889	0,20	0,30	18,33	10483,33
x10	4,977	0,20	0,30	18,33	10483,33
y1	0,873	0,20	0,30	18,33	10483,33
y2	1,732	0,20	0,30	18,33	10483,33
y3	4,809	0,20	0,30	18,33	10483,33
y4	0,90	0,20	0,30	18,33	10483,33
y8	1,426	0,20	0,30	18,33	10483,33
y9	1,997	0,20	0,30	18,33	10483,33
y10	0,60	0,20	0,30	18,33	10483,33
y11	2,968	0,20	0,30	18,33	10483,33
y12	0,60	0,20	0,30	18,33	10483,33

Bu değerler kullanılarak yığma yapı Sap2000 programında yeniden modellenmiştir. Daha önceden olduğu gibi katlarda orijinal yığma duvarlar ve kompozit güçlendirilen duvarlar olduğu için bütün duvarlar için aynı kayma emniyet gerilmesi kullanmak doğru olmayacaktır. Bu yüzden duvarların üzerine gelen düşey yüklerden, normal basınç gerilmeleri belirlenerek kayma emniyet gerilmeleri hesap edilmiştir. Bu yöntemle göre belirlenen duvar kayma emniyet gerilmeleri Çizelge 5.31 ve Çizelge 5.32’de gösterilmiştir.

Sap2000 programında modellenen yığma yapının zemin ve birinci katı sırasıyla Şekil 5.37 ve Şekil 5.38’de gösterilmiştir.

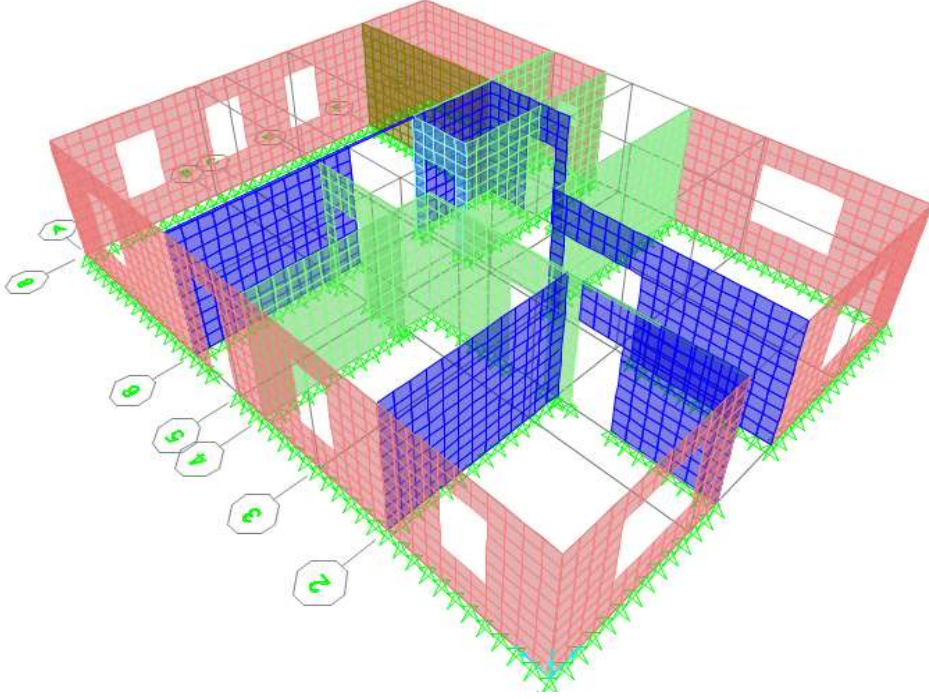
Analiz sonrası elde edilen maksimum kayma gerilme ve kayma emniyet gerilmesi ile karşılaştırılması Çizelge 5.33 ve Çizelge 5.34’te sunulmuştur.

Çizelge 5.31. Beşinci güçlendirme alternatifi için zemin kat güçlendirilen duvarlara ait normal gerilme ve kayma emniyet gerilmesi

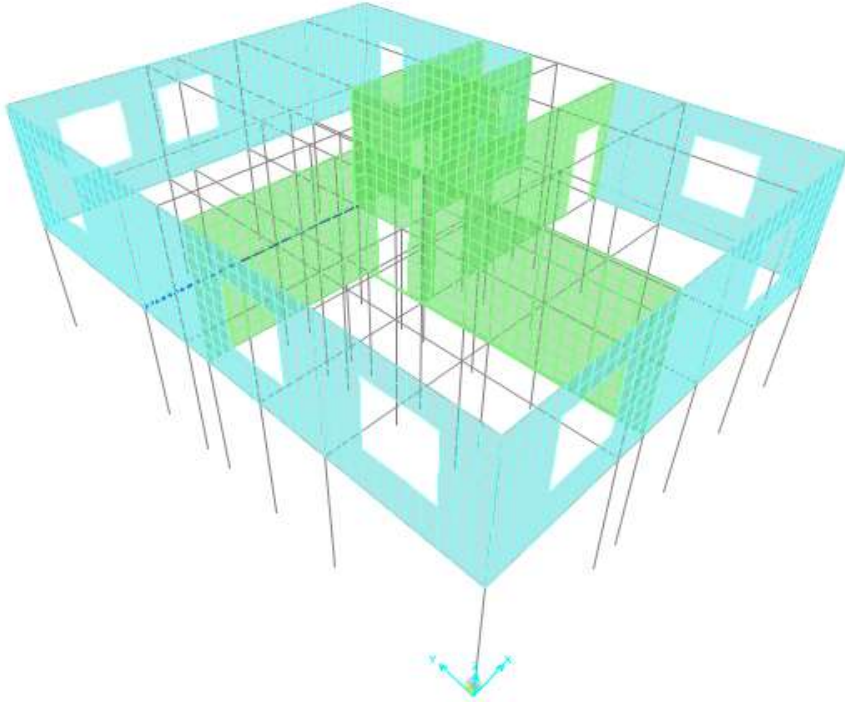
Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Normal gerilme (S22) (MPa)	Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi (MPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (MPa)
x1	1,2	0,30	0,15	0,16	0,235
x2	0,9	0,30	0,27	0,16	0,295
x3	1,2	0,30	0,22	0,16	0,270
x4	1,2	0,30	0,17	0,16	0,245
x12	1,181	0,30	0,11	0,16	0,215
x13	1,181	0,30	0,18	0,16	0,250
x14	1,18	0,30	0,19	0,16	0,255
x15	3,5	0,30	0,16	0,16	0,240
y1	1,164	0,30	0,15	0,16	0,235
y2	2,309	0,30	0,21	0,16	0,265
y3	1,951	0,30	0,24	0,16	0,280
y4	2,637	0,30	0,21	0,16	0,265
y5	1,2	0,30	0,15	0,16	0,235
y12	1,426	0,30	0,12	0,16	0,220
y13	1,712	0,30	0,18	0,16	0,250
y14	0,60	0,30	0,19	0,16	0,255
y15	4,45	0,30	0,15	0,16	0,235

Çizelge 5.32. Beşinci güçlendirme alternatifi için birinci kat güçlendirilen duvarlara ait normal gerilme ve kayma emniyet gerilmesi

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Kalınlığı (m)	Normal gerilme (S22) (MPa)	Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi (MPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (MPa)
<i>x1</i>	1,2	0,20	0,09	0,16	0,205
<i>x2</i>	4,0	0,20	0,11	0,16	0,215
<i>x3</i>	1,2	0,20	0,09	0,16	0,205
<i>x8</i>	0,888	0,20	0,09	0,16	0,205
<i>x9</i>	0,889	0,20	0,22	0,16	0,270
<i>x10</i>	4,977	0,20	0,08	0,16	0,200
<i>y1</i>	0,873	0,20	0,10	0,16	0,210
<i>y2</i>	1,732	0,20	0,13	0,16	0,225
<i>y3</i>	4,809	0,20	0,18	0,16	0,250
<i>y4</i>	0,90	0,20	0,12	0,16	0,220
<i>y8</i>	1,426	0,20	0,16	0,16	0,240
<i>y9</i>	1,997	0,20	0,30	0,16	0,310
<i>y10</i>	0,60	0,20	0,25	0,16	0,285
<i>y11</i>	2,968	0,20	0,17	0,16	0,245
<i>y12</i>	0,60	0,20	0,08	0,16	0,200



Şekil 5.37. Mevcut yapıda sadece dış duvarların güçlendirilmesi ile oluşan zemin kat modeli



Şekil 5.38. Mevcut yapıda sadece dış duvarların güçlendirilmesi ile oluşan birinci kat modeli

Çizelge 5.33. Beşinci güçlendirme alternatifi için zemin kat duvarlarının değerlendirilmesi

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Eşdeğer Kalınlık (m)	Max. Kayma Gerilmesi (kPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (kPa)	Değerlendirme
<i>x1</i>	1,2	0,40	38	235	√
<i>x2</i>	0,9	0,40	63	295	√
<i>x3</i>	1,2	0,40	71	270	√
<i>x4</i>	1,2	0,40	64	245	√
<i>x5</i>	3,9	0,10	33	248	√
<i>x6</i>	4,2	0,20	78	248	√
<i>x7</i>	3,85	0,20	77	248	√
<i>x8</i>	4,2	0,20	41	248	√
<i>x9</i>	3,85	0,20	69	248	√
<i>x10</i>	2,175	0,10	44	248	√
<i>x11</i>	2,125	0,20	47	248	√
<i>x12</i>	1,181	0,40	46	215	√
<i>x13</i>	1,181	0,40	59	250	√
<i>x14</i>	1,18	0,40	90	255	√
<i>x15</i>	3,5	0,40	101	240	√
<i>y1</i>	1,164	0,30	40	235	√
<i>y2</i>	2,309	0,30	59	265	√
<i>y3</i>	1,951	0,30	44	280	√
<i>y4</i>	2,637	0,30	79	265	√
<i>y5</i>	1,2	0,30	26	235	√
<i>y6</i>	1,075	0,20	25	248	√
<i>y7</i>	3,85	0,10	89	248	√
<i>y8</i>	2,0	0,20	73	248	√
<i>y9</i>	2,853	0,10	45	248	√
<i>y10</i>	1,075	0,10	65	248	√
<i>y11</i>	4,15	0,15	48	248	√
<i>y12</i>	1,426	0,40	55	220	√
<i>y13</i>	1,712	0,40	79	250	√
<i>y14</i>	0,60	0,40	47	225	√
<i>y15</i>	4,45	0,40	44	235	√

Çizelge 5.34. Beşinci güçlendirme alternatifi için birinci kat duvarlarının değerlendirilmesi

Duvar İsmi	Uzunluğu (m)	Eşdeğer Kalınlık (m)	Max. Kayma Gerilmesi (kPa)	Kayma Emniyet Gerilmesi (kPa)	Değerlendirme
<i>x1</i>	1,2	0,30	47	205	√
<i>x2</i>	4,0	0,30	41	215	√
<i>x3</i>	1,2	0,30	117	205	√
<i>x4</i>	3,533	0,20	166	207	√
<i>x5</i>	3,85	0,20	85	207	√
<i>x6</i>	3,0	0,20	72	207	√
<i>x7</i>	4,2	0,20	226	207	X
<i>x8</i>	0,888	0,30	11	205	√
<i>x9</i>	0,889	0,30	24	270	√
<i>x10</i>	4,977	0,30	160	200	√
<i>y1</i>	0,873	0,30	47	210	√
<i>y2</i>	1,732	0,30	33	225	√
<i>y3</i>	4,809	0,30	58	250	√
<i>y4</i>	0,90	0,30	43	220	√
<i>y5</i>	5,205	0,20	102	207	√
<i>y6</i>	1,50	0,20	24	207	√
<i>y7</i>	1,075	0,20	160	207	√
<i>y8</i>	1,426	0,30	45	240	√
<i>y9</i>	1,997	0,30	210	310	√
<i>y10</i>	0,60	0,30	131	285	√
<i>y11</i>	2,968	0,30	88	245	√
<i>y12</i>	0,60	0,30	34	200	√

Çizelgelerden görüldüğü gibi güçlendirilmeyen bir iç duvar hariç diğer bütün güçlendirilmiş veya güçlendirilmemiş duvarların kesme dayanımları yeterli olmaktadır. Güçlendirilen duvarlarda oluşan maksimum kayma gerilmelerinin değerlerinin düşük olması dikkat çekicidir. Dördüncü güçlendirme alternatifi ile de gerekli performans düzeyine sağlanamamış olmakla birlikte, birinci alternatif dışındaki diğer üç alternatife oranla daha iyi bir çözüme ulaşıldığı söylenebilir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada mevcut yığma yapıların güçlendirilmesinde püskürtme beton tekniğinin kullanımını araştırılmıştır. Bu kapsamda, konu ile ilgili geniş bir literatür taramasının ardından, yığma yapılar hakkında genel bilgiler aktarılmış ve yığma yapıların deprem altındaki davranışı ve güçlendirilmesi konulara yer verilmiştir. Ardından ele alınan örnek bir yığma yapı önce mevcut durumu ile deprem yükleri altında analiz edilmiş ve yetersiz olduğu tespit edildikten sonra ise önerilen beş farklı alternatif ile güçlendirilmiş şekilde yeniden analiz edilmiştir. Bu beş farklı güçlendirme alternatifi: a) tüm duvarların içten ve dıştan püskürtme beton ile güçlendirilmesi b) tüm duvarların püskürtme beton ile tek taraftan güçlendirilmesi, c) sadece zayıf duvarların içten ve dıştan püskürtme beton ile güçlendirilmesi, d) tüm iç duvarların her iki taraftan püskürtme beton ile güçlendirilmesi, e) tüm dış duvarların içten ve dıştan püskürtme beton ile güçlendirilmesi şeklindedir. Tüm güçlendirme alternatiflerinde püskürtme beton kalınlığı 5 cm olarak seçilmiştir. Yapılan tüm hesaplamalarda Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) esas alınmıştır. Yapılan çalışma neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Araştırılan beş farklı güçlendirme seçeneği arasından sadece, birinci alternatif olarak ele alınan, tüm duvarların içten ve dıştan püskürtme beton ile güçlendirilmesi alternatifinde deprem etkisine karşı gerekli güvenlik sağlanabilmiştir.

İkinci alternatif olarak incelenen tüm duvarların püskürtme beton ile tek taraftan güçlendirilmesi durumunda en elverişsiz çözüme ulaşılmıştır. Tek taraflı mantolamanın ilgili duvarın davranışı açısından tavsiye edilemediği gerçeğinin yanısıra, burada yapılan hesaplamalar neticesinde yapının bütününe yönelik analizler açısından da tek taraflı mantolamanın iyi bir çözüm oluşturmadığı görülmüştür.

Üçüncü ve dördüncü alternatif olarak sunulan, sadece dayanımı yetersiz duvarların her iki taraftan güçlendirilmesi ve tüm iç duvarların her iki taraftan güçlendirilmesi alternatiflerinde birbirine yakın sonuçlara ulaşılmıştır. Bu şekilde yapılacak güçlendirmelerle kısıtlı çözümlere ulaşılabileceği görülmüştür.

Beşinci alternatif olarak incelenen, tüm dış duvarların her iki taraftan püskürtme beton ile güçlendirilmesi durumunda ilk alternatiften sonraki en iyi çözüme ulaşılmış ve bir duvar dışında bütün duvarlarda oluşan gerilemelerin emniyet gerilmesinin altında kaldığı görülmüştür.

İncelenen bina için tüm duvarların her iki taraftan mantolanması seçeneğinden sonraki en iyi seçeneğin sadece dış duvarların her iki taraftan mantolanması olduğu açıkça görülmüştür.

İleride yapılacak çalışmalarda yapılacak güçlendirmenin maliyetinin de güçlendirme işleminde bir parametre olarak ele alınıp, güçlendirme tekniğinin seçiminde belirleyici bir faktör olabileceği düşünülmektedir. Aynı bina üzerinde yapılacak güçlendirme tekniği iki veya daha fazla farklı program vasıtasıyla gerçekleştirilip, sonuçları karşılaştırılabilir. Benzer olarak püskürtme beton yerine son zamanlarda geliştirilen lif katkılı beton uygulaması yapılarak hem mekanik açıdan hem de maliyet açısından karşılaştırılabilir.

7. KAYNAKLAR

- Akman S (2000). Yapı hasarları ve onarım ilkeleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 100-103.
- Albert ML, Elwi AE, Cheng RJJ (2001). Strengthening of Unreinforced Masonry Walls Using FRPs. *Journal of Composites for Construction*. 76-84.
- Aliaari M, Memari A (2004). Analysis of Masonry Infill Steel Frames with Seismic Isolator Subframes. *Engineering Structures*. 27(4), 487-500.
- Altın S, Kuran F, Kara ME, Anıl Ö (2005). Yığma Yapıların Rehabilitasyonu için Bir Yöntem. Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı, Ankara.
- Ateş T (2013). İçten Ve Dıştan Donatılı Püskürtme Beton İle Güçlendirilen Yığma Duvarların Düzlem Dışı Tekrarlı Yük Altındaki Davranışı. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Batur N (1999). Donatısız Yığma Binaların Yatay Yükler Altındaki Davranışı ve Bazı Ülkelerin Şartnamelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Bayülke N (1978). Tuğla Yığma Yapıların Depremdeki Davranışları, Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni.
- Bayülke N (1980), Yığma Yapılar, Ankara.
- Bayülke N (1986). A Simple Impulse Table to be Used in the Determination of Earthquake Behaviors of Rural Housing. *Bulletin of the Ministry of Public Works and Settlement*. 92, 202-210.
- Bayülke N (1992). Yığma Yapılar. İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi. 26.
- Bayülke N (1999). Depremde Hasar Gören Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi, İzmir
- Bayülke N (2001-a). Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı. İzmir.
- Bayülke N (2001-b). Depremde Hasar Gören Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi. İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi.
- Bayülke N (2011). Yığma Yapıların Deprem Davranışı ve Güvenliği. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, ODTÜ, Ankara.
- Binda L, Modena C, Baronio G, Abbaneo S (1997). *Construction and Building Materials*, 1(3), 133-142.
- Carlos C (2000). Masonry in the Seismic Areas of the Americas, Recent Investigation and Developments. *Structural Engineering Material*. 2, 319-327.
- Christen DB, Gilstrap J, Dolan CW (1996). Composite Materials Reinforcement of Existing Masonry Walls. *Journal of Architectural Engineering*. 63-70.
- Cluni F, Gusella V (2004). Homogenization of Non-Periodic Masonry Structures. *International Journal of Solids and Structures*. 41(7), 1911-1923.

- Çöğürçü MT (2007). Yığma Yapıların Yatay Derz Güçlendirme Yöntemiyle Güçlendirilmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dafnis AD, Kolser H, Reimerdes HG, Günter H (2002). Arching in Masonry Walls Subjected to Earthquake Motions. *Journal of Structural Engineering*. 153-159.
- DİE (2000). T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Bina Sayımı.
- DİE (2005). Türkiye İstatistik Yıllığı, Bina İnşaat İstatistikleri. T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara. 448-449.
- Dimas V (1998). Out-of-Plane Cyclic Behavior of URM Walls Retrofitted with Fiber Composites. PhD Thesis, The University of Arizona, Arizona. 158.
- Döndüren MS (2008). Bağlayıcı Özelliği Artırılan Duvar ve Sıva Harcının Düzlem Dışı Yüklenen Tuğla Duvarların Mekaniksel Davranışına Etkisi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Durak S (2008). Ege bölgesinde yaygın olarak kullanılan yığma yapıları ve bu yapıların deprem güvenliği, YL Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- 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.
- ElGawady MA, Lestuzzi P, Badoux M (2006). Retrofitting of Masonry Walls Using Shotcrete, 2006 NZSEE Conference. Paper 45.
- Erberik MA (2007). Türkiye'deki Yığma Yapıların Hasargörebilirliği. Altıncı Ulusal Deprem
- Gambarotta L ve Lagomarsino S (1997). Damage Models for the Seismic Response of Brick Masonry Shear Walls. Part I: The Mortar Joint Model and Its Applications. *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, 26, 423-439.
- Giordano A, Mele E, De Luca A (2002). Modelling of Historical Masonry Structures: Comparison of Different Approaches Through a Case Study. *Engineering Structures*. 24, 1057-1069.
- Hendry AW (2001). *Masonry Walls: Materials and Construction*, Construction and Building
- Hutchinson TC, Nicolaisen KN, Morrill KB (2004). Blast Retrofit Strategies for Masonry Walls: Exploratory Experimental Study. *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*. 7(10), 773-783.
- Jafarov O (2012). Lifli Polimerlerle Güçlendirilmiş Yığma Duvarların Modellenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 239 sayfa.
- Jai JCH (1999). Reinforced Masonry Walls with Composite Materials. *Engineering Geology*. 80, 164-173.
- Juha'sova E (2001). Assessment of Seismic Resistance of Masonry Structures Including Boundary Conditions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 22, 1193-1197.
- Kalkan N (2008). Düzlem Dışı Tersinir Yüklenen Yığma Yapıların Donatılı Püskürtme Beton ile Güçlendirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

- Kanit R, Atımtay E, Erdal M, Can Ö (2005). Düzlem Dışı Yüklenen Yığma Yapıların Deneysel Davranışı. YDGA 2005-Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara. 60-67.
- Kanit R, Atımtay E (2006). Experimental Assessment of the Seismic Behavior of Load-Bearing Masonry Walls Loaded Out-of-Plane. Turkish J. Eng. Env. Sci. 30, 101-113.
- Karaşin A, Karaesmen E (2005). 1 Mayıs Bingöl Depreminde Meydana Gelen Yığma Yapı Hasarları. YDGA 2005 Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, ODTÜ, Ankara. 112-119.
- Kaya E (2003). Yığma Yapıların Çelik ve Betonarme Takviyesi Uygulanabilirliği ve Yapım Hataları. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Khaled I (1995). Inelastic Behavior of Reinforced Masonry Shear Walls, An Experimental and Analytical Study. Ph.D. Thesis, Carleton University Institute of Science and Technology, Canada.
- Korkmaz KA (2014). Farklı Yapısal Malzeme Özelliklerinin Yığma Yapı Davranışına Etkisi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi. 3, 69-78.
- Köse M (2003). Betonarme Yapı Elemanlarının Çelik Lamalarla Güçlendirilmesi ve Birleştirilmesi; Deneysel İnceleme. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kun H (2006). Behavior of Reinforced Concrete Masonry Walls Subjected to Combined Axial Loading and Out-of-Plane Bending. MSc Thesis, Dalhousie University Institute of Science and Technology. Canada. 112.
- Luciano R ve Sacco E (1998). A Damage Model for Masonry Structures. European Journal of Mechanics, A/Solids. 17(2), 285-303.
- Mamari AM, Burnett EFP, Kozey BM (2002). Seismic Response of a New Type of Masonry Tie Used in Brick Veneer Walls. Construction and Building Materials. 16(7), 397-407.
- Marfia S ve Sacco E (2001). Modelling of Reinforced Masonry Elements, International Journal of Solids and Structures. 38, 4177-4198
- Milao H (2005). CFRP Sheets Application to Masonry Shear Walls with Openings. PhD Thesis, University of Alberta, Canada. 138.
- Mohamed AH, Abdel H, Samer AB (2003). Cyclic Performance of Concrete-Backed Stone Masonry Walls. Journal of Structural Engineering. 596-605.
- Mosalam KMA (1996). Experimental and Computational Stages for the Seismic Behavior Evaluation of Frames With Infill Walls. PhD Thesis, Cornell University, New York. 376.
- Özsaraç S (2008). Yığma Yapılarda Taşıyıcı Tuğla Duvarların GFRP ile Güçlendirilmesinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pluijm RVD (1999). Out-of plane Bending of Masonry: Behavior and Strength. Ph.D.Thesis, Technical University of Netherland Institute of Science and Technology, Netherland, 1-48.

- Rao RS (1996). Seismic Retrofit of Non-Ductile RC Frames Using Friction Dampers. PhD Thesis, Cornell University Institute of Science and Technology, New York. 295.
- Saadatmanesh H, Ehsani MR (1991). RC Beams Strengthened with GFRP Plates. I: Experimental Study. Journal of Structural Engineering. 117(11), 3417-3433.
- Sallio N (2005). Mevcut Yığma Yapıların Deprem Bakımından İncelenmesi ve Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Salonikios T, Karakostas C, Lekidis V, Anthoine A (2003). Comparative Inelastic Pushover Analysis of Masonry Frames. Engineering Structures. 25(12), 1515-1523.
- SAP2000 Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc. Berkeley, USA
- Simsir CC (2004). Influence of Diaphragm Flexibility on the Out-of Plane Dynamic Response of Unreinforced Masonry Walls. PhD Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois. 250.
- Stierwalt DD, Hamilton HR (2004). Creep of Concrete Masonry Walls Strengthened with FRP Composites. Construction and Building Materials. 2-11.
- Tokgöz H (2011). Dıştan Perde Duvarla Güçlendirmede Perde – Hatıl Birleşim Yerlerinde Kullanılan Blon Sayısının Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 26 (3), 649-656.
- TS 2848 (1977). Kargir Duvar Harçları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2717 (1977). Harç Kumları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 453 (2006). Önyapımlı (Prefabriğe), Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 4377-T1 (1987). Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Düşey Delikli, Hafif, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1467 (2005). Doğal Yapı Taşları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. 1–4.
- TS EN 771-1 (2005). Kârgir Birimler – Özellikler, Bölüm: 1 Kil Kârgir Birimler, Tuğlalar. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. 9–35.
- TS 498 (1997) Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türer A, Şimşek Ç, Gölalmış M, Özden B, Dilsiz A, Özen Ö (2005). Kullanılmış Araba Lastiği ile Güçlendirme Antakya Pilot Uygulaması ve Dekoratif Çözümler. YDGA 2005 Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı, ODTÜ, Ankara. 1-8.
- Uzun M (2017). Yığma Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi ve Bir Güçlendirme Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Zarnic R, Gostic S, Crewe AJ, Taylor CA (2001). Shaking Table Tests of ¼ Reduced-Scale Models of Masonry Unfilled Concrete Frame Buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 30, 819-834.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında UŞAK 'ın Banaz ilçesinde doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Banaz'da Lise Öğrenimini Uşak'da tamamladı. 2002 – 2008 yılları arasında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2009 – 2015 tarihleri arasında Uşak Üniversitesi, Namık Kemal Üniversitesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığı'nda İnşaat Mühendisi Olarak görev aldı. 2015 tarihinde evlenme sebebiyle İsviçre'ye taşındı. İsviçre'de İnşaat Mühendisi olarak iş hayatına devam eden Hilal ALEMDAROĞLU ORULKAYA evli ve iki çocuk annesidir.