



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**KERPIÇ BİNALARIN AĞIRLIK YÜKLERİ VE
DEPREM ETKİLERİ ALTINDA DAVRANIŞI VE
YURDUMUZDAKİ UYGULANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYŞE NUR TELOĞLU YAVAŞ

İSTANBUL, 2021



**FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**KERPIÇ BİNALARIN AĞIRLIK YÜKLERİ VE
DEPREM ETKİLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI VE
YURDUMUZDAKİ UYGULANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AYŞE NUR TELOĞLU YAVAŞ
(170241010)**

**Danışman
(Prof. Dr. Zekai Celep)**

İSTANBUL, 2021

10/07/2021

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 170241010 numaralı Ayşe Nur TELOĞLU YAVAŞ'ın hazırladığı "Kerpiç Binaların Ağırlık Yükleri Ve Deprem Etkileri Altındaki Davranışı Ve Yurdumuzdaki Uygulanışı" konulu İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, 10/07/2021 Cumartesi günü saat 10:00 'da yapılmış, sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** karar verilmiştir.

Düzeltilme verilmesi halinde:

Adı geçen öğrencinin Tez Savunma Sınavı .../.../20... tarihinde, saat da yapılacaktır.

Tez Adı Değişikliği Yapılması Halinde: Tez adının
..... şeklinde değiştirilmesi uygundur.

Jüri Üyesi	Tarih	İmza
(Danışman) Prof. Dr. Zekai CELEP	10/07/2021	KABUL
Prof. İbrahim EKİZ	10/07/2021	KABUL
Prof. Dr. Kadir GÜLER	10/07/2021	KABUL

BEYAN/ ETİK BİLDİRİM

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bağlı olduğum üniversite veya bir başka üniversitedeki başka bir çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

Ayşe Nur Teloğlu Yavaş
İmza

KERPIÇ BİNALARIN AĞIRLIK YÜKLERİ VE DEPREM ETKİLERİ ALTINDA DAVRANIŞI VE YURDUMUZDAKİ UYGULAMALARI

AYŞE NUR TELOĞLU YAVAŞ

ÖZET

İnsanoğlu için barınma kavramı, hayatını devam ettirmek için bir zarurettir. Medeniyetin başlangıcından itibaren, milletler evlerini yapmak için toprağı kullandılar. Toprağın su ve saman ile belirli miktarlarda karıştırılması ile kerpiç malzemesi elde edildi. Bu yapı malzemesi hem harç hem de binayı taşıyan duvar malzemesi olarak kullanılabilir. Ucuz ve ulaşılabilir bir malzeme olması sebebiyle yaygın bir yapı malzemesi olan kerpiç, üretim, kullanım ve tüketim aşamalarında kullandığı enerji çok az olduğu için çevreye duyarlılığı ile öne çıkmaktadır.

Yurdumuz, fay hatlarının yoğun olarak bulunduğu bir konumdadır. Yıkıcı depremlerde pek çok insanımız hayatını kaybetmiş, mal kayıpları yaşamıştır. Mühendislik hizmeti alan her binanın belirli önlemlerle depreme dayanıklı tasarlanabileceği unutulmamalıdır. Kırsal bölgeleri de etkileyen büyük depremlerde mühendislik hizmeti görmemiş kerpiç binaların göçmesi ile birçok vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. Bu kayıplar sebebiyle kerpiç yapılar hakkında haksız bir sonuç ortaya çıkartılmış ve bu sonuç ülkemizde son yayınlanan 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine yansımıştır. Ülkemizde şu anda geçerli olan deprem yönetmeliğinde (TBDY 2018), kerpiç binaların yapı malzemesi olarak kullanımına izin verilmemektedir. Bu tez kapsamında kerpiç binaların yapım kurallarına ve deprem güvenliği konusunda yayınlanan standartlar ve deprem yönetmeliklerine değinilmiş ve kat sayısı, spektral ivme katsayısı gibi sınırlamalarla kerpiç binaların tekrar TBDY'ne dâhil edilmesi için öneriler yapılmıştır.

Bu tez yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümünde, kerpiç malzemesinin tarihçesi ile beraber, fiziksel ve mekanik özelliklerinden bahsedilmiştir. İkinci

bölümde Dünya’da ve yurdumuzda bulunan kerpiç bina uygulamaları örneklerle gösterilmiştir.

Üçüncü bölümde ülkemizde kerpiç binaların yapım yöntemlerine ait standartlar ve deprem güvenliklerine ait kurallar verilmiştir.

Dördüncü bölümde kerpiç bina için yatay ve düşey yükler altında hesap yöntemlerinden bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde ayrıntılı bir hesap ile tek, iki ve üç katlı bir kerpiç binanın düşey yüklere ve depreme karşı taşıyıcı sistem güvenliğine dair sayısal bir analiz yapılmıştır.

Altıncı bölümde belirli sınırlandırmalar ile kerpiç binaların TBDY’ye tekrar dahil olabilmesi öneriler sunulmuştur.

Yedinci ve son bölümde, tez çalışmasından çıkarılan genel sonuçlar sıralanmıştır.

Anahtar kelimeler; Kerpiç Binalar, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Yığma Yapılar, Deprem Hasarı.

**STRUCTURAL BEHAVIOR OF ADOBE BUILDINGS UNDER
GRAVITY AND EARTHQUAKE LOAD AND THEIR
APPLICATION IN TURKEY
AYŞE NUR TELOĞLU YAVAŞ**

ABSTRACT

Sheltering is a necessity for humans to continue their life. From the beginning of civilization, nations have used the soil to make their homes. Adobe brick is obtained by mixing the soil with water and straw in certain amounts. This building material can be used both as a grout and as a load bearing wall material. This material is preferred commonly because of being cheap, obtainable and consuming low energy in all production, use and consumption.

Turkey is in a location where fault lines are intense. Many of our people lost their lives and suffered property losses in destructive earthquakes. It should not be forgotten that every building that getting engineering service during the design can be more earthquake resistant. Many of our citizens lost their lives due to the collapse of adobe buildings that did not receive engineering service in the great earthquakes that also affected the rural areas. Due to these losses, an unfair conclusion was drawn about adobe structures and this result was reflected in the Turkish Building Earthquake Resistant Design Code for Buildings (TBDY 2018), which was recently published in our country. In this code (TBDY 2018), the use of adobe buildings as construction materials is not allowed. Within the scope of this thesis, the construction rules of adobe buildings, the standards published on earthquake safety and earthquake regulations were mentioned, and suggestions were made for inclusion of adobe buildings in TBDY with limitations such as the number of floors and spectral acceleration coefficient.

This thesis consists of seven chapters. In the first part, the physical and mechanical properties of adobe material are mentioned together with its history.

In the second part, adobe buildings applications in the world and in our country are shown with examples.

In the third chapter, the standards for the construction methods of adobe buildings in our country and the rules for earthquake safety are given.

In the fourth chapter, calculation methods for adobe building under horizontal and vertical loads are mentioned.

In the fifth chapter, a numerical analysis of the structural system safety of a single, two and three-storey adobe building against vertical loads and earthquakes has been made with a detailed calculation.

In the sixth section, suggestions are presented for adobe buildings to be included in TBDY with certain limitations.

In the seventh and last chapter, the general conclusions extrapolated from the thesis study are listed.

Anahtar kelimeler; Adobe Buildings, Turkish Building Earthquake Resistant Design Code for Buildings, Mansory Buildings, Earthquake Damage,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince bana her zaman yardımcı olan, benimle bilgilerini paylaşan, tecrübesiyle beni her zaman doğru bir şekilde yönlendiren değerli danışman hocam Prof.Dr. Zekai Celep'e, üzerinde emeği olan tüm Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi öğretim üyelerine ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Muhammed Şükrü YAVAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini eksik etmeyip, her konuda bana destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayşe Nur Teloğlu Yavaş
İmza

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ.....	viii
SEMBOLLER.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
ŞEKİL LİSTESİ	xviii
KISALTMALAR.....	xx
GİRİŞ.....	1
BİRİNCİ BÖLÜM	2
1. KERPIÇ MALZEMESİ	2
1.1. TANIMI.....	2
1.2. ÖZELLİKLERİ	2
1.2.1. Kerpicing Üstünlükleri.....	4
1.2.2. Kerpicing Sakıncaları.....	4
1.3. DUVAR MALZEMESİ OLARAK KERPIÇ	5
1.3.1. Kerpicing Duvar Tasarımı Yöntemi.....	9
1.3.2. Kerpicing Duvar Yapım Yöntemi.....	9
1.4. KERPIÇDE YAPILAN İYİLEŞTİRMELER	13
İKİNCİ BÖLÜM	16
2. KERPIÇ BİNA UYGULAMALARI	16
2.1. DÜNYADA KERPIÇ BİNA UYGULAMALARI	16
2.2. YURDUMUZDA KERPIÇ BİNA UYGULAMALARI.....	19

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	24
3. KERPIÇ BİNA YÖNETMELİKLERİNİN İNCELEMESİ	24
3.1. ULUSLARARASI KERPIÇ BİNA YÖNETMELİKLERİ	24
3.1.1. Uluslararası Yönetmeliklerin Karşılaştırılması	25
3.2. YURDUMUZDAKİ KERPIÇ BİNA YÖNETMELİKLERİ	26
3.2.1. Yönetmelikler	26
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	30
4. KERPIÇ BİNANIN DÜŞEY VE YATAY YÜKLER ALTINDA GÜVENLİĞİ İÇİN HESAP YÖNTEMLERİ	30
4.1. KERPIÇ BİNADA MALZEME.....	30
4.2. DEPREM YÜKLERİ	32
4.3. KERPIÇ BİNA İÇİN HESAP YÖNTEMLERİ	34
4.3.1. Eşdeğer Duvar Kabulü ile Tasarım	35
4.3.2. Duvar Rijitlikleri ile Tasarım	40
4.3.1. Sonlu Ele man Programı ile Tasarım	43
BEŞİNCİ BÖLÜM	43
5. ÖRNEK BİR KERPIÇ BİNADA SAYISAL HESAP	44
5.1. KERPIÇ BİNA MALZEME ÖZELLİKLERİ.....	44
5.2. BİNAYA ETKİYEN DEPREM ETKİSİ	44
5.3. KERPIÇ BİNA BOYUTLARI VE YÜKLER	45
5.4. EŞDEĞER DUVAR YÖNTEMİ İLE SAYISAL HESAP	47
5.4.1. Tek Katlı Kerpiç Bina	48
5.4.1. İki Katlı Kerpiç Bina	51
5.4.2. Üç Katlı Kerpiç Bina	53
5.5. DUVAR RİJİTLİKLERİ İLE HESAP	55
5.5.1. Tek Katlı Kerpiç Binada Hesap	59

5.5.1. İki Katlı Kerpiç Binada Hesap.....	63
5.5.1. Üç Katlı Kerpiç Binada Hesap.....	66
5.6. SONLU ELEMEN PROGRAMI İLE HESAP	69
5.6.1. Tek Katlı Kerpiç Binada Hesap.....	70
5.6.2. İki Katlı Kerpiç Binada Hesap.....	74
5.6.3. Üç Katlı Kerpiç Binada Hesap.....	78
5.7. DEĞERLENDİRME	82
ALTINCI BÖLÜM.....	85
6. KERPIÇ BİNA İÇİN DEPREM YÖNETMELİĞİNE UYGUN ÖNERİLER	85
6.1. GENEL KURALLAR	85
6.2. TEMELLER VE TAŞIYICI DUVARLAR.....	85
6.2.1. Temel.....	85
6.2.2. Taşıyıcı Duvarlar	86
6.2.3. Taşıyıcı Duvarların En Büyük Mesnetlenmiş Uzunluğu.....	86
6.2.4. Taşıyıcı Duvar Boşlukları.....	86
6.3. LENTOLAR VE HATILLAR.....	87
6.3.1. Lentolar.....	87
6.3.2. Hatıllar	87
6.4. ÇATILAR.....	88
YEDİNCİ BÖLÜM	89
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	89
7.1. SONUÇLAR.....	89
7.2. ÖNERİLER	89
8. KAYNAKÇA	91

SEMBOLLER

A_{kat}	: Kat alanı
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
E	: Elastisite modülü
G	: Kayma modülü
g	: Yer değiştirme vektörü bileşenleri
h_k	: Kapı yüksekliği
h_p	: Pencere yüksekliği
h_f	: Döşeme yüksekliği
h_{kat}	: Kat yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
K_x, K_y	: x vey doğrultusundaki rijitlik
$l_{eş,x}, l_{eş,y}$: Tek doğrultuda eşdeğer duvar uzunluğu
l_k	: Kapı uzunluğu
l_p	: Pencere uzunluğu
m_t	: Bina kütlesi
n_{1998}	: 1998 Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen bir doğrultuda net duvar uzunluğunun kat alanına oranı
n_k	: Kapı adedi
n_p	: Pencere adedi
N_{Ed}	: Hesaplanan tasarım kuvveti
N_{Rd}	: Eksenel kuvvet kapasitesi
f_k	: Karakteristik basınç dayanımı
f_{vk}	: Karakteristik düz kayma dayanımı
f_t	: Çekme dayanımı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
$S_{aR}(T_p)$: Azaltılmış spektral ivme
$S_{ae}(T_p)$: Elastik spektral ivme
S_{DS}	: Kısa periyot spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
T_p	: Binanın hakim doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotları

t_{duvar}	: Duvar kalınlığı
V_{tE}	: Yatay deprem kuvveti
V_{Ed}	: Hesaplanan duvar kesme kuvveti
V_{Rd}	: Duvar tasarım kesme kuvveti dayanımı
W_{bina}	: Bina toplam ağırlığı
γ	: Birim Hacim Ağırlık
λ	: Narinlik katsayısı
γ_m	: Yığıma malzeme katsayısı
σ_d	: Düşey doğrultuda etkiyen tasarım kuvveti altında hesaplanan düşey basınç gerilmesi

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Kerpiç için genel toprak sınıflandırması	3
Çizelge 1.2 : Toprağın yağlılık oranına göre 1 m ³ için kullanılacak bitkisel katkı miktarı[9].	3
Çizelge 1.3 : Kerpiç boyutlarına göre sınıflandırma.	3
Çizelge 1.4 : Kerpiç binada duvar kalınlıkları ve duvar yükseklikleri [9].	9
Çizelge 3.1 : Farklı ülkelere ait standart ve yönetmelikler [21].	26
Çizelge 3.2 : Türkiye’de kerpiç bina üretiminde kullanılan yönetmelik ve standartlar.	27
Çizelge 3.3 : 1997 ve 2007 Deprem Yönetmeliği’nin kerpiç bina kuralları bakımından	28
Çizelge 4.1 : Kerpiç için seçilen mekanik özellikleri.	31
Çizelge 4.2 : Deprem Parametreleri.	34
Çizelge 5.1 : Kerpiç Bina Malzeme Dayanımları.	44
Çizelge 5.2 : Spektrum Parametreleri.	45
Çizelge 5.3 : Kerpiç Bina Boyut ve Malzeme Özellikleri.	47
Çizelge 5.4 : Pencere, kapı ve duvar boyutları.	47
Çizelge 5.5 : Bina Duvar ve Açıklık Uzunlukları.	48
Çizelge 5.6 : Tek Katlı Kerpiç Bina Düşey Yükler.	49
Çizelge 5.7 : Tek Katlı Binada Normal Kuvvet Kapasite Kontrolü (Eşdeğer Duvar Yöntemi).	49
Çizelge 5.8 : Tek katlı Binada Rijitlik ve Periyod Hesabı (Eşdeğer Duvar Yöntemi).	50
Çizelge 5.9 : Tek katlı Binada Kesme Kuvveti Kontrolü (Eşdeğer Duvar Yöntemi).	50

Çizelge 5.10	: İki Katlı Kerpiç Bina Düşey Yükler.	52
Çizelge 5.11	: İki Katlı Kerpiç Bina Normal Kuvvet Kontrolü (Eşdeğer Duvar Yöntemi).	52
Çizelge 5.12	: İki Katlı Binada Kesme Kuvveti Kontrolü (Eşdeğer Duvar Yöntemi).	53
Çizelge 5.13	: Üç Katlı Kerpiç Bina Düşey Yükler (Eşdeğer Duvar Yöntemi).	54
Çizelge 5.14	: Üç Katlı Kerpiç Bina Kesme Kuvveti Kontrolü (Eşdeğer Duvar Yöntemi).	55
Çizelge 5.15	: Toplam Net Duvar Uzunlukları.	56
Çizelge 5.16	: Y Doğrultusu Duvar Rijitlikleri.	57
Çizelge 5.17	: X Doğrultusu Duvar Rijitlikleri.	57
Çizelge 5.18	: Rijitlik Merkezi Koordinatları.	58
Çizelge 5.19	: Y Doğrultusu Duvarların Burulma Rijitliği Katkısı.	58
Çizelge 5.20	: X Doğrultusu Duvarların Burulma Rijitliği Katkısı.	59
Çizelge 5.21	: Tek Katlı Kerpiç Bina Normal Kuvvet Kontrolü (Duvar Rijitliği ile Hesap).	59
Çizelge 5.22	: Tek Katlı Kerpiç Binada Kesme Kuvveti (Duvar Rijitliği ile Hesap).	60
Çizelge 5.23	: Tek Katlı Bina Y doğ. Duvar Kayma Gerilmeleri.	62
Çizelge 5.24	: Tek Katlı Bina X doğ. Duvar Kayma Gerilmeleri.	62
Çizelge 5.25	: Tek Katlı Bina Kayma Gerilmesi Kontrolü.	63
Çizelge 5.26	: İki Katlı Binada Normal Kuvvet Kontrolü (Duvar Rijitliği İle Hesap).	63
Çizelge 5.27	: İki Katlı Binada Kesme Kuvveti (Duvar Rijitliği İle Hesap).	64
Çizelge 5.28	: Y Doğrultusunda Duvar Kayma Gerilmeleri (İki Katlı Bina).	65
Çizelge 5.29	: X Doğrultusunda Duvar Kayma Gerilmeleri (İki Katlı Bina).	65
Çizelge 5.30	: İki Katlı Bina Kayma Gerilmesi Kontrolü.	66
Çizelge 5.31	: Üç Katlı Bina Kayma Gerilmesi Kontrolü	66
Çizelge 5.32	: Üç Katlı Binada Kesme Kuvveti (Duvar Rijitliği İle Hesap).	67
Çizelge 5.33	: Y Doğrultusunda Duvar Kayma Gerilmeleri (Üç Katlı Bina).	68
Çizelge 5.34	: X Doğrultusunda Duvar Kayma Gerilmeleri (Üç Katlı Bina).	69
Çizelge 5.35	: Üç Katlı Bina Kayma Gerilmesi Kontrolü.	69

Çizelge 5.36 : Tek Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Normal Kuvvet ve Gerilmeler (Y Doğrultusunda Duvarlar).	71
Çizelge 5.37 : Tek Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Normal Kuvvet ve Gerilmeler (X Doğrultusunda Duvarlar).	71
Çizelge 5.38 : Tek Katlı Kerpiç Binada Normal Gerilme Kontrolü (Sonlu Eleman Çözümü).	72
Çizelge 5.39 : Tek Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Kesme Kuvveti ve Gerilmeler (Y Doğrultusunda Duvarlar).	73
Çizelge 5.40 : Tek Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Kesme Kuvveti ve Gerilmeler (Y Doğrultusunda Duvarlar).	73
Çizelge 5.41 : Tek Katlı Kerpiç Binada Kayma Gerilmesi Kontrolü.	74
Çizelge 5.42 : İki Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Normal Kuvvet ve Gerilmeler (Y Doğrultusunda Duvarlar).	75
Çizelge 5.43 : İki Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Normal Kuvvet ve Gerilmeler (X Doğrultusunda Duvarlar).	76
Çizelge 5.44 : İki Katlı Kerpiç Binada Normal Gerilme Kontrolü (Sonlu Eleman Çözümü).	76
Çizelge 5.45 : İki Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Kesme Kuvveti ve Gerilmeler (Y Doğrultusunda Duvarlar).	77
Çizelge 5.46 : İki Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Kesme Kuvveti ve Gerilmeler (X Doğrultusunda Duvarlar).	77
Çizelge 5.47 : İki Katlı Kerpiç Binada Kayma Gerilmesi Kontrolü.	78
Çizelge 5.48 : Üç Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Normal Kuvvet ve Gerilmeler (Y Doğrultusunda Duvarlar).	79
Çizelge 5.49 : Üç Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Normal Kuvvet ve Gerilmeler (X Doğrultusunda Duvarlar).	79
Çizelge 5.50 : Üç Katlı Kerpiç Binada Normal Gerilme Kontrolü (Sonlu Eleman Çözümü).	80
Çizelge 5.51 : Üç Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Kesme Kuvveti ve Gerilmeler (Y Doğrultusunda Duvarlar).	81
Çizelge 5.52 : Üç Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Kesme Kuvveti ve Gerilmeler (X Doğrultusunda Duvarlar).	82

Çizelge 5.53 : Üç Katlı Kerpiç Binada Kayma Gerilmesi Kontrolü	82
Çizelge 5.54 : Üç Hesap Yöntemi İçin Gerilme Değerleri	82
Çizelge 6.1 : Kerpiç birimi ölçüleri.	83

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Kerpiç kuvvetinin saha deneyi [7].	4
Şekil 1.2 : Kerpiç duvarda farklı iç kuvvetler [1].	6
Şekil 1.3 : Kerpiç binada oluşan sismik hasarlar [12].	7
Şekil 1.4 : Duvar köşelerinde oluşan kesme ve eğilme etkileri altında çatlama.	8
Şekil 1.5 : Pencere ve kapı boşluklarında oluşan çatlaklar.	9
Şekil 1.6 : Kerpiç harcının karıştırılması [10].	10
Şekil 1.7 : TS 2514’de yer alan kerpiç kalıp örneği b) Uygulamalı kerpiç kalıp örneği.	10
Şekil 1.8 : Kerpiç blokların eğimli şekilde dizimi.	11
Şekil 1.9 : Kerpiç duvar temel örneği.	11
Şekil 1.10 : TS2515’e göre kerpiç duvar örgüsü [9].	12
Şekil 1.11 : Kerpiç duvar imalatı [12].	12
Şekil 1.12 : Alker ile inşa edilen örnek bir kerpiç bina, İTÜ Maslak Kampüsü	14
Şekil 2.1 : Kerpiç yapı kullanımı dünya haritası [12].	16
Şekil 2.2 : Toplu kerpiç konutlar, Şibam, Yemen.	17
Şekil 2.3 : Cenne Ulu Camii, Mali.	17
Şekil 2.4 : Uzlaşma Şapeli, Chapel of Reconciliation, Berlin Almanya.	18
Şekil 2.5 : Kültür Merkezi, Nk’mp Desert Cultural Center, Osoyoos, British Columbia.	18
Şekil 2.6 : Toplum Merkezi, Macha Village Center, Huining, China.	19
Şekil 2.7 : Restore edilmiş kerpiç surlar, Hattutaş.	20
Şekil 2.8 : Çatalhöyük kazı çalışmaları, Diyarbakır.	21
Şekil 2.9 : a) Amasya, b) Divriği, c) Kütahya, d) Safranbolu, kerpiç ev örnekleri.	22
Şekil 2.10 : Sonsuz Şükran Köyü kerpiç evleri, Konya.	23

Şekil 2.11	: Göbeklitepe Ziyaretçi ve Canlandırma Merkezi, Şanlıurfa.	23
Şekil 3.1	: 1997 ve 2007 Deprem Yönetmeliğine göre kerpiç binalarda konstrüktif kurallar.	29
Şekil 4.1	: Yatay Elastik İvme Spektrumu [29].	33
Şekil 4.2	: Farklı katlara sahip kerpiç bina yükleri.	37
Şekil 4.3	: Duvar Boyutları.	41
Şekil 4.4	: Tek katlı kerpiç bina üç boyutlu görüntüsü.	43
Şekil 5.1	: Elastik spektrum ivme grafiği.	45
Şekil 5.2	: Kerpiç Binaya ait Kat Planı.	46
Şekil 5.3	: Tek Katlı Kerpiç Binada Düşey Yük Şekli.	48
Şekil 5.4	: İki Katlı Kerpiç Binada Düşey Yük Şekli.	51
Şekil 5.5	: Üç Katlı Kerpiç Binada Düşey Yük Şekli.	54
Şekil 5.6	: Bina Planı Üzerinde Duvar Uzunlukları.	56
Şekil 5.7	: Tek Katlı Binada Burulma Momenti ve Kesme Kuvveti.	61
Şekil 5.8	: İki Katlı Binada Burulma Momenti ve Kesme Kuvveti.	64
Şekil 5.9	: Üç Katlı Binada Burulma Momenti ve Kesme Kuvveti.	68
Şekil 5.10	: Tek Katlı Bina Sonlu Eleman Modeli.	70
Şekil 5.11	: İki Katlı Bina Sonlu Eleman Modeli.	74
Şekil 5.12	: Üç Katlı Bina Sonlu Eleman Modeli.	78
Şekil 5.13	: X. Doğrultusundaki normal gerilme karşılaştırması.	83
Şekil 5.14	: Y. Doğrultusundaki normal gerilme karşılaştırması.	83
Şekil 5.15	: X. Doğrultusundaki kayma gerilmeleri karşılaştırması.	84
Şekil 5.16	: X. Doğrultusundaki kayma gerilmeleri karşılaştırması.	84
Şekil 6.1	: Deprem Yönetmeliği'ne göre konstrüktif kurallar.	82
Şekil 6.2	: Kerpiç ve kiriş arasındaki bağlantı şekli.	84
Şekil 6.1	: Ahşap çatı uygulama şekli.	85

KISALTMALAR

BKS	Bina Kullanım Sınıfı
M.Ö	Milattan Önce
TS 2514	Türk Standartları 2514
TS 2515	Türk Standartları 2515
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
g	Gram
mm	Milimetre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
cm	Santimetre
dm	Desimetre
diğ.	Diğerleri
vb	ve Benzeri

GİRİŞ

Kerpiç bloklar düşük maliyetli, kolayca bulunabilen, termal ve akustik özelliklere sahip bir yapı malzemesidir. Yurdumuzda ne kadar kerpiç veya toprak konut bulunduğu, tam olarak bilinmemektedir. Ancak yapılan araştırmalara göre Yurdumuzda kırsal alanlardaki kerpiç bina oranı yaklaşık % 50'ye ulaşmaktadır [1]. Büyük olasılıkla bu binaların neredeyse tamamı geleneksel yöntemlerle inşa edilmiş ve herhangi bir standarda veya yönetmeliğe uygun olarak inşa edilmemiştir. Kerpiç binaların temel sakıncası, betonarme yapılar gibi diğer yapı türlerine göre deprem, sel gibi doğal afetlere dayanıklı olmamalarıdır. İnşaat çevre dostu ve ekonomik olduğu için kerpiç binalar insanlar tarafından inşa edilir. İran'daki Bam depreminde (2003), 40.000'den fazla insan ağır taş ve kerpiç harabeler altına gömüldü [1]. Örneğin, El Salvador 2001 depreminde 200.000'den fazla kerpiç bina ciddi şekilde hasar gördü veya yıkıldı, bu binaların enkazı altında 1.100 kişi öldü ve 1.000.000'den fazla insan evsiz kaldı. Aynı yıl Peru'nun güneyinde meydana gelen deprem 81 kişinin ölümüne, 25.000'e yakın kerpiç evin yıkılmasına ve 36.000 evin daha hasar görmesine ve 220.000'den fazla insanın sığınaksız kalmasına neden olmuştur.

Yurdumuzdaki bir diğer örnek ise, kırsal bölgede 50 yıldan daha eski kerpiç ve moloz taştan yapılmış, kırlarda yıkılan veya ağır hasar gören toplam 572 yığılma mesken olan 2019 Acıpayam Depremi'dir [1]. Ülkemizin geçmiş deprem yönetmeliklerinde kerpiç binalar uygun inşa edildiğinde depreme dayanıklı kabul edilmiş ve ilgili kurallar verilmiştir. Binalarını sağlıklı ve ekonomik malzeme olan kerpiçle yapımı her geçen gün azalmaktadır. Bu çalışma ile kerpiç binaların ülkemizde örnek teşkil eden mühendislik hizmeti verilmesi halinde belirli sınırlar içinde diğer bina türlerinde olduğu gibi depreme karşı kabul edilebilir güvenli olabileceği amaçlanmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. KERPIÇ MALZEMESİ

1.1. TANIMI

Geleneksel bir malzeme olan kerpiç, toprak ve saman karışımının su ile yoğrulup ahşap kalıplara döküldükten sonra güneşte kurutularak dayanım kazandırılan bir yapı malzemesidir. Kurutulduktan sonra dayanıklılığını ve suya direncini arttırmak için harç karışımına saman, ot, bitki sapları, kuru fundalar gibi çeşitli doğal katkıları kullanılmaktadır. İnsanoğluna çok uzun süre yapı malzemesi olarak hizmet etmiştir. Yapı sistemlerinde taşıyıcı eleman, duvar dolgusu, çatı örtüsü gibi farklı işlevlerde kullanıldığı bilinmektedir. İlkel şartlarda bile üretilebilen kerpiç, üretiminin kolay, maliyetinin düşük olmasından dolayı tercih edilmiştir.

Tamamen doğal içerikli olan kerpiç malzemesi, çevreye zarar vermeyip, tekrar doğaya dönebilmektedir. Çevreci özellikleriyle kullanıcıya iyi bir ısı yalıtımı ve akustik sağlayan kerpiç malzemesi, düşük enerji tüketimi ile de ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır. Tüm bunların yanında hemen her yerde kolay ve bol tedarik edilmesi özellikle kırsal bölgelerde her dönem alternatif malzeme olmuştur. Ülkemizde bulunan Şanlıurfa Harran evleri, Diyarbakır Çatalhöyük gibi birçok kültürel mirasımız kerpiçten oluşmaktadır.

1.2. ÖZELLİKLERİ

Kerpiç çeşitli boyut ve şekillerde parçacıklardan oluşan bir malzemedir. Buna göre kerpicing içeriğini kil, silt, kum ve çakıl olarak sınıflandırılabilir (Çizelge 1.1). Kerpiç malzemedeki hammadde olarak doğadan elde edilen kilin bağlayıcılığından yararlanır. Harç için kullanılacak toprakta kil miktarı belirli bir seviyede kalmalıdır. Toprak ne çok killi ne de kumlu olmalıdır. Kil içeriğinin aşırı olması durumunda kuruyup sertleşen kerpiçte istenmeyen çatlama ve büzülme sebepleri olabilir [4]. Kum oranının kilden fazla olması kilin bağlayıcılığını azaltacağı için kumun tanelerinin arasında boşluğa neden olur. Kerpiç için en uygun kil oranı %30-%40 arasında kil bulunan topraktır [5].

Çizelge 1. 1: Kerpiç için genel toprak sınıflandırması

Toprak sınıfı	Tane büyüklüğü (mm)
Kil	0-0.002
Silt	0.002-0.060
Kum	0.060-2
Çakıl	>2

Anadolu’da kerpiç malzemenin katkısı genellikle saman olmuştur. Kaynaklarda ortalama, 1 m³ çamur için yaklaşık 8-12 kg aralığında saman katkı kullanıldığı belirtilmektedir [6]. TS 2515’de toprağın yağlılık oranına göre kullanılacak bitkisel katkı miktarları verilmiştir.

Çizelge 1. 2: Toprağın yağlılık oranına göre 1 m³ için kullanılacak bitkisel katkı miktarı [9].

Toprak Yağlılığı	İçerdiği Yaklaşık Kil Miktarı	1 m ³ Toprak İçin Gerekli Bitkisel Madde (kg)
Yağsız	%20	5-7
Orta Yağlı	%35	7-10
Yağlı	%50	10-15
Çok Yağlı	%70	15-20

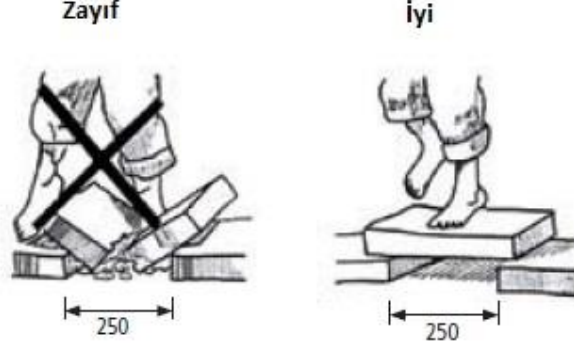
Kerpiç blokları elde etmek için ahşap kalıplar kullanılır. Fakat bu kalıplar hazırlanan bölgedeki ustaların kendi yaptıkları kalıplardır. Bu nedenle kerpiç bloklar boyutları bölgelere değişiklik göstermektedir. Kerpiç bloklar genel olarak iki formda hazırlanır: ana (tam), kuzu (yarm). Yurdumuzda belirlenen TS 2514 standardına göre 4 sınıfa ayrılır. Büyüklerine ana küçüklerine kuzu ismi verilir [5].

Çizelge 1. 3:Kerpiç boyutlarına göre sınıflandırma.

Sınıf	Boyut	Hacim	Yaklaşık ağırlık
	cm	m ³	kg
I	12×19×40	0.0091	10-12 (kuzu)
II	12×30×40	0.0144	15-25 (ana)
III	12×18×30	0.0065	7-11 (kuzu)
IV	12×25×30	0.009	10-15 (ana)

Kerpicin mukavemeti, basit olarak şu şekilde kabul edilebilir. Kerpiç 4 hafta güneşte kurutmadan sonra bir kişinin ağırlığını taşıyacak kadar güçlü olmalıdır (Şekil

1.1). Kırılırsa daha fazla kil ve lifli malzeme eklenmesi gerekir. Basınç dayanımı, tamamen kurduktan sonra 100 mm'lik kil küpleri denenerak belirlenebilir. Minimum basınç dayanımı 1.2 MPa değeri istenir [7].



Şekil 1.1: Kerpiç blok basınç dayanımı saha deneyi [7].

1.2.1. Kerpicin Üstünlükleri

Kerpiç bina, gözenekli yapısı sayesinde nem alışverişi sağlayarak nemi dengeler. İnsan sağlığı için uygun düzeye getirir. Bu da bina içinde temiz sağlıklı bir hava ve konfor sağlar. Isı depolama özelliği yüksektir, ısıyı bünyesinde tutar. Bu sayede binanın yapının ek malzeme ve katmanlara gerek duymaksızın sıcaklığını dengede tutar ve en uygun yaşam koşullarını sağlamaya yeterli olur. Yeniden kullanılabilir, geri dönüşümlü, çevreci bir malzemedir. Üretimi yerinde de yapılabildiği için maliyeti düşüktür, ayrıca bir tesis gerektirmez. Kaba inşaatı kolay ve hızlıdır. Bu durum yurdumuzda kırsal bölgede artmaya başlayan konut sorununun çözümüne bir katkı olabilir. Kerpiç bina eski bir geçmişi olmasına karşın yapılan iyileştirmeler, oluşturulacak şartlar ve bunların uygulanması ile günümüzün gereksinimlerini karşılayabilecek niteliğe ulaşacaktır.

1.2.2. Kerpicin Sakıncaları

Kerpiç binaların tüm bu olumlu özelliklerinin yanı sıra sürekli bakım ve onarım gerektirmektedir. Ancak kuru koşullarda yapımı gerçekleştirilebilir. Yağmurlu ve yağışlı hava koşullarında inşa edilemezler. Neme ve suya karşı hassastırlar. Su ve nem nedeniyle parçalanma ve bozulma meydana gelir. Su, özellikle yağmur, kerpiç bloklarının ve dolayısıyla duvarların parçalanmasına neden olabilir. Kerpiç duvar

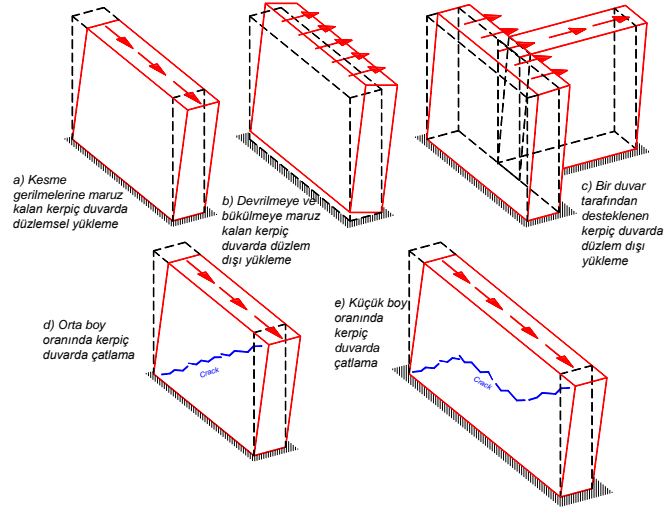
yüzeylerindeki şiddetli yağmur, kerpiç duvarda aşınmaya ve parça kırılmasına neden olabilir. Aşırı yüksek sıcaklık, yağmur nedeniyle ıslanan tuğlaların kuruması sırasında çatlamaya neden olur.

Sürüngeçler, kemirgenler ve böcekler gibi küçük hayvanlar ve toprakta büyüyen bitkiler ve bunların kökleri de kerpiç binaların çürümmesine ve bozulmasına neden olabilir. Basınç özellikle çekme dayanımı düşüktür.

1.3. DUVAR MALZEMESİ OLARAK KERPIÇ

Temel olarak kerpiç çamuru, uygun nitelikteki killi toprağın saman veya diğer bitkisel lifler belirli miktarda karıştırılıp su ile yoğurulmasıyla üretilir. Daha sonra ahşap kalıplara dökülerek kerpiç çamur şekillendirilir. Bloklar atmosferik koşullarda kurutulur ve kerpiç duvarlarda birim olarak kurutulmuş bloklar kullanılır. Bu malzemenin elde edilmesi şaşırtıcı derecede kolayken, harcı ahşap kalıplara yerleştirip güneş altında kuruttuktan sonra kerpiç blok elde edilir. Kerpiç blok yapımında aynı karışım duvarlar arası harç için kullanılabilir. Bu tür kerpiç, Anadolu'da uzun zamandan beri kullanılmaktadır [8].

Kerpiç bloğun kalitesi kullanılacak çamura, özellikle kil içeriğine ve samana (veya benzeri bitkisel liflere) bağlıdır. Bunları suyla karıştırıp yoğurmak özellikle su içeriği açısından önemlidir. Kerpicein çekme mukavemetini artırmak için çamura saman lifleri eklenir. Saman lifleri çamura yapışmadan veya kümelenmeden karıştırılmalı, çekme gerilmesinin iletilmesini sağlamalı ve böylece kuruduktan sonra kerpicein çekme mukavemetini arttırılmalıdır. Çok seyrek saman lifleri veya çok kısa lifler beklendiği gibi etkili olmayacaktır. Kolay karıştırma için daha fazla su tercih edilebilirse de harcın kalıba dökülmesinde zorluklara neden olacağı için uygun değildir. Ayrıca kerpiç bloğun kurutulmasından sonra daha fazla su içeriği, suyun buharlaşması nedeniyle istenmeyen önemli çatlaklara neden olabilir. Yeterli karıştırma suyunun olmaması ise, samanın karıştırılmasında ve şekillendirilmesinde zorluklara neden olabilir. Yaklaşık karışım oranları verilebilse de en önemli önlem, farklı karışım oranlarına sahip kerpiç blokların üretilmesi, incelenmesi ve üzerindeki çatlakların kontrol edilmesidir. Bazı durumlarda, karışıma küçük oranlarda kum eklenmesi tavsiye edilir.



Şekil 1. 1:Kerpiç duvarda farklı iç kuvvetler [1].

Kerpiç duvarlar, düzlem dışı yer hareketlerinin neden olduğu eğilme gerilmelerinden çatlamaya karşı çok hassastır. Düzlem dışı bükülmeden kaynaklanan çatlaklar genellikle iki enine duvar arasındaki bir duvarda meydana gelir. Çatlaklar genellikle her kesişme noktasında başlar, dikey veya çapraz olarak duvarın tabanına aşağı yönde ve daha sonra uzunluğu boyunca yatay yönde uzanır. Duvar, çatlak etrafında dönerek düzlemden ileri geri sallanır.

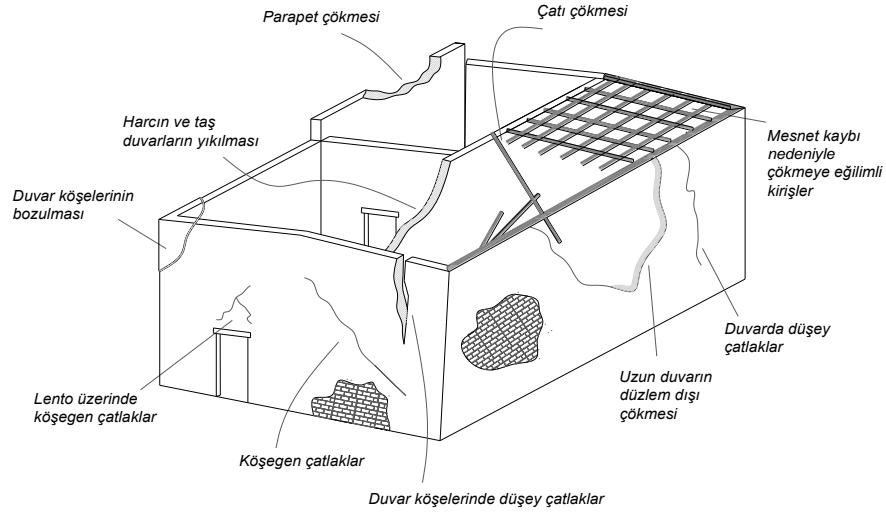
Düzlem dışı kuvvetlerden kaynaklanan çatlaklar kolaylıkla meydana gelse de, duvarın devrilmesi önlenmediği sürece hasarın boyutu genellikle şiddetli değildir. Kerpiç duvarların, duvar kalınlığı ve duvarın narinliği veya yükseklik-kalınlık oranı, duvarlar ile çatı ve/veya döşeme sistemi arasındaki bağlantı, duvarın yük taşıyıcı durumu, zemin şartlarının uygunluğu, düzlem dışı hareketini etkileyen başlıca faktörlerdir [34].

Bir duvarın narinlik oranı, devrilme stabilitesi için önemlidir. Çok kalın, sağlam bir duvarın devrilmesi neredeyse imkansızdır ve devrilmeden önce tabanda yatay olarak kayar. Öte yandan, ince duvarlar, devrilmeye veya orta yükseklikte muhtemelen burkulmaya karşı çok hassastır.

Duvarlar ile çatı ve/veya zemin sistemleri arasındaki bağlantılar, bir duvarın düzlem dışı hareketini büyük ölçüde iyileştirebilir. Bunun için zeminin veya çatının tam bir diyafram sistemi olması gerekli değildir. Duvarların düzlem dışı hareketlerini

stabilize etmek için bir bağ kirişi veya kısmi kontrplak diyafram yeterli olabilir. Diyaframı güçlendirmeden bir duvarın bir çatıya veya zemin sistemine sabitlenmesi bile düzlem dışı hareketi üzerinde önemli bir olumlu etkiye sahip olabilir. Düzlem dışı kararsızlığa yol açan veya devrilme duyarlılığını artıran koşullar: taşıma alanını azaltan taban erozyonu; gücü azaltan aşırı nem içeriği; veya kerpiçleri de zayıflatabilecek tekrarlanan ıslak-kuru döngülerdir.

Kerpiç binalar, çekme gerilmelerine karşı zayıftır ve güç tükenmesini bu gerilmeler kontrol eder. Bu nedenle depremden meydana gelen yatay kuvvetler duvarları kesme kuvveti ile zorlar. Kerpiç duvar inşaa edilirken hatıl kullanılması, düşey yüklerin dengeli dağıtılması, duvarın üst-alt seviyelerinin sağlamlaştırılması, temel ve çatıya iyi bağlanması ve kesme kuvvetlerini taşımasını sağlar.



Şekil 1.3: Kerpiç binada oluşan sismik hasarlar [12].

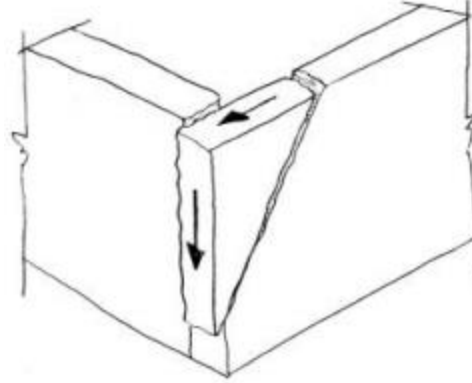
Kerpiç binalarda esas hasar nedeni sismik etkilerle duvarlarda oluşan kayma gerilmeleri sebebiyle çekme gerilmelerinin meydana getirdiği çatlaklar, ayrılma ve dağılımadır. Kerpiç bina ağır ve rijit bir yapıdadır dolayısıyla gelen deprem kuvveti o ölçüde büyük olacaktır. Binanın çekme ve basınç altındaki sünek olmayan davranışı, yapının önemli bir plastik şekil değiştirme göstermeden ani çökmesine sebep olabilir.

Deprem sırasında tipik hasar biçimleri şunlardır: duvarların şiddetli çatlaması ve parçalanması, duvarların köşelerde ayrılması ve çoğu durumda çökmeye neden olan

çatıların duvarlardan ayrılması, açıklık etrafında oluşan köşegen çatlaklar. Kerpiç bina yapı için karakteristik sismik eksiklikler Şekil 1.3'te özetlenmiştir [12].

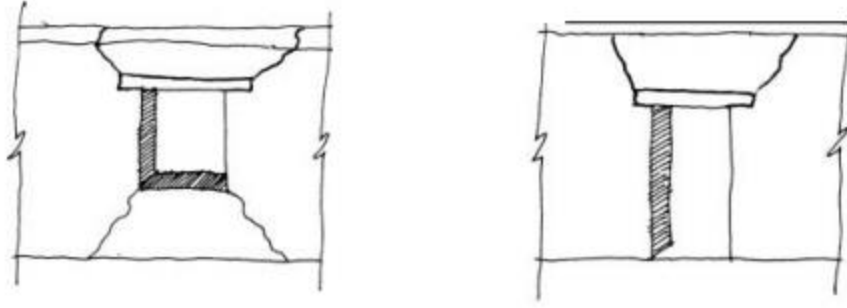
Çatlaklar, duvar düzleminde yataya göre yaklaşık 45 derecelik çekme gerilmelerine neden olan yatay kuvvetlerden kaynaklanır. Düşey yer değiştirme ile düzlem içi bir yatay kayma meydana geldiğinde yapıda daha ciddi hasar meydana gelebilir. Çapraz kesme çatlakları, uzun süreli yer hareketleri sırasında kötüleşmeye devam edebilir, çünkü yerçekimi sürekli olarak deprem kuvvetleriyle birlikte çalışarak hasarı şiddetlendirir.

Dikey duvarların kesişme noktalarında meydana gelen gerilme yığılmaları nedeniyle binaların köşelerinde hasar meydana gelebilir. Köşe bölümlerinin kararsızlığı genellikle köşenin iki tarafının serbest olması ve bu nedenle köşe bölümünün binadan dışarıya doğru çökmesi nedeniyle oluşur.



Şekil 1.4: Duvar köşelerinde oluşan kesme ve eğilme etkileri altında çatlama.

Kerpiç binada en sık kapı pencere açıklıklarında hasar görülmektedir. Bu açıklıkların üzerinde her zaman lento veya kiriş kullanılmalıdır. Lento olarak kereste veya betonarme kullanılabilir. Lentolar duvar kalınlığı ile bir olmalıdır ve duvar yükünü ve bina yüklerini taşıyacak kapasitede olmalıdırlar. Bu sayede duvar yükü kapı veya pencere bitişiğindeki dolu duvar parçalarına aktarılacaktır.



Şekil 1.5: Pencere ve kapı boşluklarında oluşan çatlaklar.

1.3.1. Kerpiç Duvar Tasarımı Yöntemi

TS 2515'e göre kerpiç bloklar ile yapılacak duvarların boyutları belirlenmiştir. Kerpiç binalar, bodrum ve bir zemin kattan oluşmalıdır. Öngörülen minimum duvar kalınlıkları ve duvar yükseklikleri aşağıda gösterilmiştir. Ancak deprem etkisi sebebiyle kerpiç duvarın yüksekliği 2.70m'yi geçmemesi öngörülmüştür [5]. Bodrum kat yüksekliği 2.40 m ile sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırılmalar kerpicing özelliklerinin bir sonucu olarak kabul edilebilir.

Çizelge 1. 4:Kerpiç binada duvar kalınlıkları ve duvar yükseklikleri [9].

Duvar	En Az Duvar Kalınlığı (cm)	En Fazla Duvar Yüksekliği (m)
Taşıyıcı duvar	40	2.40
Taşıyıcı duvar (deprem bölgesinde)	47	2.70
Taşıyıcı duvar	62	3.50

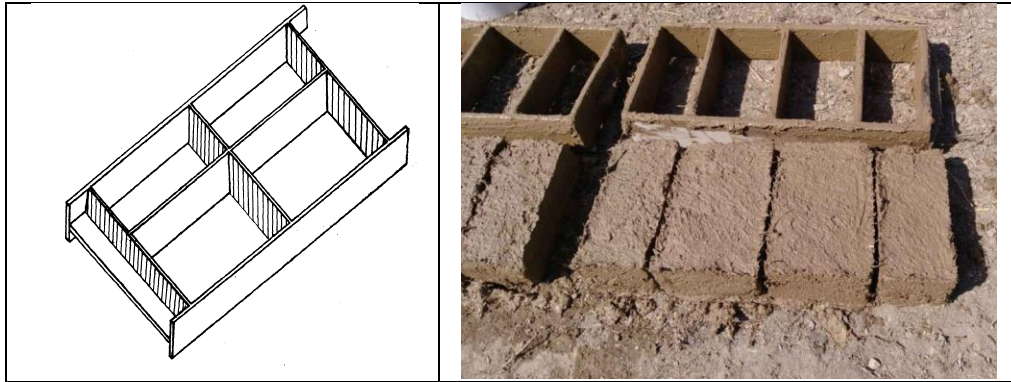
1.3.2. Kerpiç Duvar Yapım Yöntemi

Ayrıntılı incelendiğinde kerpiç çamuru için derin bir çukur kazılır. İşlemin tüm malzemeleri bir kürekle karıştırılır. Karıştırılan çamur, el arabası yardımıyla ahşap kalıplara alınır. Harcın kurutulması ve kalıplara kolayca dökülmesi için bu sürenin kısa olması önemlidir. Harç kalıba dökülmeden önce, kalıp yüzeyleri ıslatılır, böylece kalıbı tekrar kullanmanızı sağlamak için bloklar kolayca çıkarılabilir. Kalıp içindeki kerpiç blokların yüzeyi düzleştirilerek prizmatik şekil elde edilir. Kurutulmuş bloklar bir gün sonra kalıptan çıkarılır. Çevrilerek her iki tarafı da kurutulur ve beş gün boyunca düz bir zeminde gölgede tutulur.

Kerpiç duvarların yapımında kerpiçler arasında ve duvar yüzeyinde harç olarak aynı çamur karışımı kullanılabilir. Harç, duvar yüzeyine veya kerpiç tuğlaların birleştirilmesi için ara yüzeyine uygulanmadan önce, harcın duvara kolayca yapışması için duvar ıslatılır. Duvar örgüsünde kullanılan harcın her yerde aynı kalınlıkta olmasına ve düşey derzleri tam doldurulmasına özen gösterilerek duvarın taşıma gücüne katkı sağlanır. Derz kalınlıkları 1.5 cm'yi geçmemesi tavsiye edilir [9]. Kerpiç bloklar şaşırtılmalı dizilmeli, düşey derzler üst üste gelmemelidir.



Şekil 1. 6: Kerpiç harcının karıştırılması [10].



(a)

(b)

Şekil 1. 7:a) TS 2514'de yer alan kerpiç kalıp örneği b) Uygulamalı kerpiç kalıp örneği.

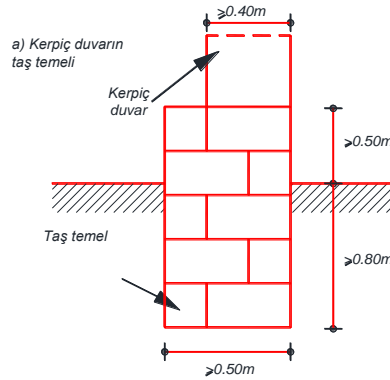
Kerpiciin inşaat süresi hava şartlarına bağlı olarak Mayıs ve Eylül arasındadır. Bu süreden sonra yağışlı havalardan başlamasıyla kerpiç nem alarak şişebilir. Bir

sonraki kullanıma kadar tuğlalar çadır şeklinde dizilir ve yağmurdan korunmak için üzeri örtülür. Ayrıca yeraltı sularının kerpiç tuğlalarına zarar vermesini önlemek için depolama alanının etrafına bir hendek kazılır [11].



Şekil 1.8: Kerpiç blokların eğimli şekilde dizimi.

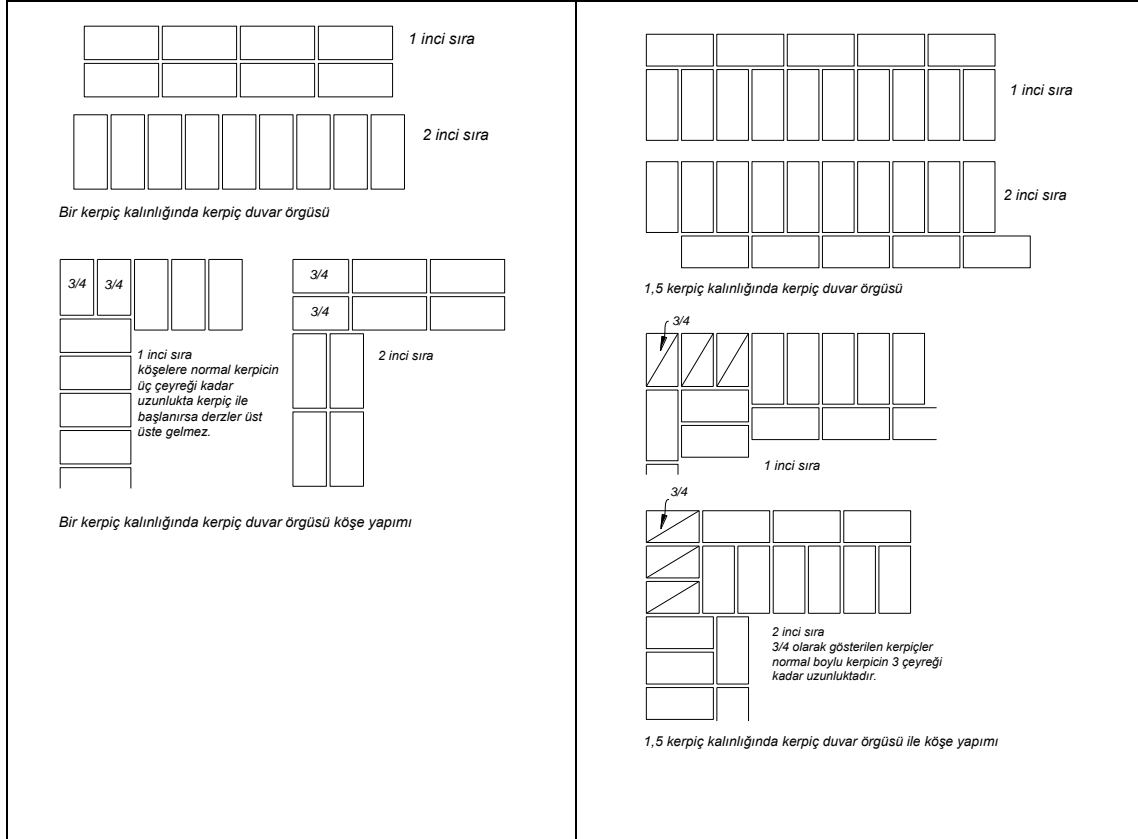
Kerpiç ile duvar yapımında iki yöntem öne çıkmaktadır. Birincisi yerinde döküm şeklinde belirli boyutlarda duvar oluşturmuş kalıplar arasına dökülmesiyle gerçekleştirilir. İkinci olarak ve yaygın kullanılan yöntem olarak kerpiç harcının kalıplara dökülerek elde edilen kerpiç bloklar ile duvarların örülmesidir. Zeminden en az 50 cm yüksekliğinde bir temelin üzerine yaklaşık 10 cm kalınlığında bir betonarme hatıl ile kerpiç bloklarla duvar örülmelidir.



Şekil 1. 9: Kerpiç duvar temel örneği.

Parça düzeyinde üretilen kerpiç blokların duvar oluşturulmasında örgü sistemi çok önemlidir. Taşıyıcı duvarlar 1 blok ana, 1×1 blok kuzu veya 1.5 blok ana-kuzu olarak örülmelidir. Diğer duvarlarda 1 blok kalınlığındaki örgüde bir sıra dizi blok olursa 1 sıra bağ blok olarak örülmelidir. 1 blok kalınlığındaki örgüde dizi blokları $\frac{3}{4}$

blok boyu ile başlamalıdır. Köşe saplama ve çapraz geçme duvarlarda bağlantıların usulüne uygun olmalarına dikkat edilmelidir.



Şekil 1. 10:TS2515'e göre kerpiç duvar örgüsü [9].



Şekil 1. 11: Kerpiç duvar imalatı [12].

1.4. KERPİCDE YAPILAN İYİLEŞTİRMELER

Bölüm 1.2.2’de belirtildiği gibi kerpicingin kullanımında bazı olumsuzlukları vardır. Kerpicingin sakıncalarını gidermek ve sağlamlaştırmak için çeşitli katkı malzemeleri eklenebilir. Bu katkı malzemelerini; bağlayıcı, kimyasal ve lif katkıları olarak ayrılabilir.

Bağlayıcı madde olarak kireç en yaygın malzemelerden biridir. Killi toprakla kireç arasında oluşan bağ büzülmeyi azaltır, yeterli plastikliğe sahip olur. Toprağın dağılmasını önler. Kireç toprak karışımında iyi sonuç elde edilmesi için %20-%40 kil oranı uygundur. Kireç katkısı miktarına göre kerpicingin basınç dayanımı arttırır. Verilere göre kireç katkısı %3 oranını geçmedikçe suya dayanıklılığı ve basınç dayanımını arttırır. Fakat toprak ve kireç reaksiyonu yavaş gerçekleştiği için başka katkı maddeleriyle kullanılması tavsiye edilmiştir. Kireç ve puzolanın birlikte kullanıldığı çalışmalar kerpici önemli ölçüde iyileştirmiştir. Silis bakımında zengin puzolanlar kireçle karıştırıldıkları zaman bağlayıcılık özelliği kazanırlar ve suda erimeyen silikatlar oluştururlar. Yüksek fırın cürüfları, silis dumanı, volkanik topraklar silis bakımından yüksek orana sahip, bu amaçla kullanılan puzolanlardır. Puzolan kerpiç için tek bağlayıcı olarak da kullanılabilir. Fakat kerpicingin toprak cinsine ve puzolanik katkı maddesinin cinsine göre katılacak miktar farklılık göstermektedir. Yapılan araştırmalar uygun puzolan katkı miktarının %10 oranında olduğunu göstermiştir [13].

Bağlayıcı madde olarak alçının, ülkemizde yaygın bulunması, harç ve sıva malzemesi olarak kullanılması, kerpiç toprağını sağlamlaştırması fikrini öne çıkarmıştır. Alçı %25-%60 oranında poroziteye sahip bir malzemedir. Kerpice katıldığı zaman kerpicinginde porozitesi artacaktır. Kerpicingin birim hacim ağırlığı azalırken su emme kapasitesi artar. Sertleşme süresi geleneksel kerpice göre daha hızlı olup kalıplanma süresini 20 dakikaya kadar düşürebilir. Kurumasının da dengeli bir şekilde sağladığı takdirde büzülme veya çatlamaya sebep vermemektedir. Bu sayede uygulama esnasında işçilikten, zamandan ve kurutma alanından tasarruf edilmiş olur [13].

Alçılı kerpiç “Alker” olarak isimlendirilmiş olup, günümüzde üzerinde araştırmalar devam etmektedir. 1980 yılında İTÜ Mimarlık Fakültesi’nde TÜBİTAK

MAG 505 projesi olarak yapılan araştırmada alçılı kerpicing özellikleri araştırılmış, bir deneme evi yapılmıştır. Bu araştırmada; geleneksel kerpiç biçiminde üretilecek duvar malzemesi için, bünye yapısı uygun bir toprak türüne (uygun kil miktarına sahip, uygun granülometredeki toprak) %10 alçı katkılı karışımın en iyi sonucu verdiği görölmüş. Deney sonuçlarına göre; normal kerpicing birim ağırlığı 1.70-1.80 kg/lt iken alçı katkılı kerpicing birim ağırlığı 1.45 kg/lt, normal kerpiçte büzölme rötre % 5 iken alçı katkılıda % 1.8' e düştüğü görölmüş. Zamana bağlı su emme katkısız örneklerde 2.7 cm iken alçı katkılıda 3 cm olmuştur. 1995 yılında yeni bir TÜBİTAK projesi kapsamında Toplu Konut İdaresi (TOKİ) desteği ile yeni bir deneme evi yapılmıştır. Yeni yapılan bu konut yapısı, alker malzemesinin pompa ile döküm tekniğinde kullanılabilirliğini göstermiştir. Yapılan bu yeni evin iklim şartlarından ve depremden etkisini görebilmek için dış sıvası yapılmamıştır. Halen İTÜ Ayazağa kampüsünde bulunan ve 1995'den beri 25 sene geçen evin dış yüzeyinde herhangi bir hasar bulunmamaktadır [14].



şekil 1. 12: Alker ile inşa edilen örnek bir kerpiç bina, İTÜ Maslak Kampüsü [35].

Kimyasal bir katkı olan NaOH üzerine yapılan çalışmada NaOH katkılı kerpicing birim hacim kütesinin katkısız kerpiçten daha az olduğu, NaOH katkısı kerpicing mekanik dayanımını arttırmaktadır. Ancak uygun katkı miktarı olarak belirlenen kütlece %3 oranı aşıldıktan sonra dayanımda yeniden azalmaya yol açtığı gözlemlenmiştir. NaOH katkısı kerpicing suda dağılmasını önleyerek suya karşı dirençli olmasını da sağlamaktadır [13].

Organik lifler, kerpicing büzölme ve çatlamasını önlemek için geçmişten beri kullanılan katkılardır. Gübre ve bitkisel özsular, saman keten elyaf, pamuk sapı ve

benzeri organik lif niteliğindeki bitki artıklarının kullanımı kerpiç toprağının dengeli ve daha homojen kurumasını sağlar. Aynı zamanda organik lifler su çekme kapasitesi fazla olduğu için dayanımın azalmasına sebep olabilir. Çürüme yaparak özelliklerini yitirebilir. Bu nedenle inorganik liflerin katılması üzerine araştırmalar, deneyler yapılmaya devam etmektedir.

Cam elyaf, fiber lif, polipropilen lif gibi farklı lif katkıli kerpiç araştırmaları yapılmaktadır. Kerpicin fiziksel ve mekanik özellikleri karışındaki lif katkı miktarı ve lif boyu ile değişmektedir. Genellikle lif miktarı ile kerpiç birim hacim kütlesi ters orantılıdır. Bu da karışındaki katkı miktarının artmasının kerpicin yük altında dağılıp parçalanmasını engellediğini gösterir. Bu sayede yapı malzemesi kerpiç olan binalar yükler altında şekil değiştirmeler yapsa bile tamamen binanın göçmesi engellenebilir. Yapılan iyileştirmeler göstermektedir ki katkıli kerpiç ile kerpicin kullanım alanı genişleyebilir.

İKİNCİ BÖLÜM

2. KERPIÇ BİNA UYGULAMALARI

İnsanoğlu yaşamını sürdürebilmek için kendisine barınak yapma ihtiyacı duymuştur. Bu nedenle etrafında bulunana taş, ahşap, toprak gibi doğal yapı malzemeleri kullanmışlardır. Kerpiç ise yerleşik toplumların ilk dönemlerinden beri, taş ahşap yerine, kullanımı tercih edilmiştir. Kerpiç bina, en eski yapı türü olup tarihi yaklaşık 9000 yıl öncesine dayanmaktadır. Hititler, Sümerler, Mısırlılar kerpici kullanan toplulukların başında gelmektedir. Kerpiç ile barnaklardan evlere, saraylardan kent surlarına kadar çok çeşitli anıtsal yapılar uzun çağlar boyunca inşa edilmiştir.

2.1. DÜNYADA KERPIÇ BİNA UYGULAMALARI

Yapı malzemesi olarak kerpice Dünya’da en çok Anadolu, Orta Asya, Orta ve Güney Amerika ve Afrika’nın büyük bir bölümünde rastlanır.



Şekil 2. 1: Kerpiç yapı kullanımı dünya haritası [12].

Günümüzde dünya nüfusunun yaklaşık %30 u kerpiç yapılarda yaşamaktadır [1, 2]. Geçmişten günümüze süregelen hala kullanımı devam etmekte olan kerpic binalar bulunmaktadır. Bunlara birkaç örnek ile verilebilir.

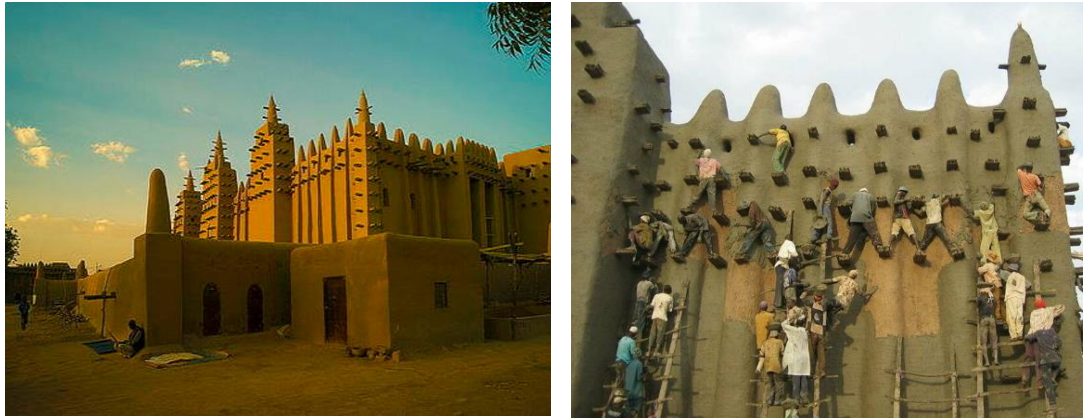
Şibam, Yemen’de kerpiçten inşa edilen binalarıyla ünlü, dikey mimarinin kullanıldığı en eski kasabalardan biridir. Bu binalardan bir çoğu 5 ile 11 kat arasında

değişen çok katlı konutlardır. Bazı binalar 30 m'yi geçen yükseklikleriyle dünyanın en yüksek kerpiç binaları olmuşlardır [33]. Fakat kerpicin çabuk yıpranması sebebiyle hala her yıl bakım ve onarım görmekte olup kullanılmaya devam etmektedir.



Şekil 2. 2:Toplu kerpiç konutlar, Şibam, Yemen.

Mali'de bulunan Djenne Camii 13. yy'dan kalma kerpiç yapıdır. Üç minareli olan bu yapının kerpiç duvarlarına giren ahşap elemanlar bulunmaktadır. Bu elemanlar camii için iskele görevi görürken dış cephe için dekoratif bir öge olmuştur. Senede bir gün yerel halk kendi imkanlarıyla caminin sıvasını yenilemektedir.



Şekil 2. 3: Cenne Ulu Camii, Mali.

Kerpiç ilkel şartlarda üretilip kullanılan bir malzeme olarak görülse de günümüzde çağdaş bir malzeme olarak iyileştirip kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel malzeme olarak bilinen kerpiç ile de çağa uygun modern yapılar yapılabilmektedir.

Almanya'da Berlin duvarının yapımında yıkılan bir kilisenin kalıntılarını koruyan yeni bir şapel inşa edilmiştir. Yeni yapılan bu Uzlaşma Şapeli'n kerpiç duvarlarında eski yapının molozlarından elde edilen malzemeler katkı malzemesi olarak kullanılmıştır [14]. Şapel duvarı 7.2 m yüksekliğinde, 0.6 m genişliğe sahiptir.



Şekil 2. 4:Uzlaşma Şapeli, Chapel of Reconciliation, Berlin Almanya [15].

Kanada'nın güneyinde yer alan NK'Mip Desert Cultural Center modern mimariye sahip olup bu yapıda toprak renkli katkı malzemeleriyle karıştırılmış olup 80 m uzunluğunda, 5.5 m yüksekliğinde ve 0.6 m kalınlığında kerpiç duvarlar bulunmaktadır [15].



Şekil 2. 5:Kültür Merkezi, Nk'mip Desert Cultural Center, Osoyoos, British Columbia [15].

Macha Köyü, Gansu eyaletinde, Huinning İlçesindedir. Yerel konutlar çoğunlukla ana malzeme olarak toprak kullanmaktadır. Köy halkı için yapılan bu toplum merkezinde de temel olarak tuğla duvar, toprak, koçan ve ahşap kullanılmıştır. Çok işlevli olarak kullanılan bu merkezde 0.5 m kalnlığında kerpiç duvar kullanılmıştır [15].



Şekil 2. 6:Toplum Merkezi, Macha Village Center, Huining, China[15].

2.2. YURDUMUZDA KERPIÇ BİNA UYGULAMALARI

Yurdumuzda teknolojinin gelişmesi ile birlikte inşaat sektöründe, malzeme seçimleri için farklı çeşitlilikler ön plana çıkmıştır. Yüksek teknoloji ile üretilen bu malzemelerin imkân verdiği yüksek ve gelişmiş mimari yapılar kerpiç kullanımını azaltmıştır. Bu gelişmeler yapı malzemesi pazarında olumlu etkiler oluştururken, fazla enerji ihtiyacı, yüksek maliyet ve oluşturduğu çevre kirliliği ile yaşam kaynaklarımızı da tüketmektedir. Bu nedenle daha çevreci malzeme arayışına gidilmiş, geçmişten günümüze kadar varlığını sürdüren kepicin kullanımı için çalışmalar artmıştır. Kerpicing de çağdaş bir malzeme olarak tekrardan sektörde yerini alması beklenir. Gelecek nesillere yaşanabilir bir çevre bırakabilmek için bu malzemenin iyileştirip

kullanımına izin verilmesi önemlidir. Geçmişten günümüze gelen bazı örnekleri sıralayabiliriz.

Araştırmacılara göre M.Ö.1800 yılında kurulan, Hitit İmparatorluğu, Anadolu'daki en büyük kavimlerdenidir. Hititlerin başkenti olan Hattuşa, bugün Çorum ili sınırları içinde bulunan Boğazköy'dür. Bu uygarlığa ait ilk yazılı kaynaklar, Hitit kralı I.Hattusilis zamanından kalma kil tabletlerdir ve ilk defa 1911 yılında çıkartılmıştır.

M.Ö.1600-1200 yılları arasında Hititlerin hem idari hem de dini başkenti olan Hattuşa'ta Alman Arkeoloji Enstitüsü 1931 yılından günümüze kadar kazı çalışmalarını yapmayı sürdürmüştür.

Yapılan kazılar sonucu toplam 9 km uzunluğundaki kerpiç yığma duvar ve ahşap hatıl içerikli Hitit kent surlarının kaideleri ortaya çıkmıştır [8]. 2003-2005 yılları arasında surların 65m'lik uzunluğundaki bölümü Alman Arkeoloji Enstitüsü başkanlığında, JTI firmasının desteğiyle ayağa kaldırılmıştır. Yeniden yapılan sur bölümü Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 2. 7: Restore edilmiş kerpiç surlar, Hattuşa.

Bugünkü bilgilerimize göre Anadolu'da ilk yerleşik düzene geçtiğimiz yer Çayönü Höyüğü'dür. Elazığ ile Diyarbakır arasında bulunan bu bölgede yapılan kazı çalışmalarında 5 m yükseklikte taş duvarlarla örülmüş subasman üzerine 4 m yüksekliğinde kerpiçle yükseltelen 1.8 m kalınlığında duvarı olan, aralarında avlular yer alan çok odalı bir yapı ortaya çıkmıştır. Bu kerpiçlerin boyutlarının 40×40, 40×20-30 cm olduğu tespit edilmiştir [16].



Şekil 2. 8:Çatalhöyük kazı çalışmaları, Diyarbakır.

Aşıklıhöyük'te bulunan kerpiçlerin ölçülerinin 40×40 cm olduğu ölçülmüştür. Troya'daki kerpiçler ise 40×60 cm ölçülerindedir [10].

Kerpiç çoğunlukla olarak Orta Doğu Anadolu' bölgesinde kullanılsa da diğer bölgelerde de taş ve ahşap ile birlikte çeşitli tekniklerle karşımıza çıkmaktadır. Kuzey Anadolu bölgesinin iç kesimlerinde Amasya, Samsun-Havza, Safranbolu, Orta Anadolu da Kütahya, Sivas-Divriği karşımıza çıkan, ahşap iskelet arası kerpiç dolgulu konutlarda, ahşap karkas masif taş veya kerpicing üzerine kurulmaktadır. Genel olarak hımsız olarak isimlendirilen yapım sistemidir. Ahşap iskeleti oluşturan ahşap, düşeyde ana ve ara dikmeler, yatayda kirişleme sistemi ile belirli aralıklarda çatılarak oluşturulmuştur. Bu sistemde ana taşıyıcı malzeme ahşap olup, kerpiç dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kerpiç tuğlalar Safranbolu'da 27×27×10, 27×13×10, 27×22×10, 32×20×13, 25×16×10 gibi, Kütahya'da ise 9×12×30 ve 15×30×60 cm gibi çeşitli ebatlardadır. Divriği'de 15×25×50 cm boyutlu kerpiçlerle ensiz ara duvarlar ve üst kat duvarları örülmüş, 15×50×50 cm büyüklüğünde çift kerpiç bloklarla kalın duvarlar inşa edilmiştir [17].



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2. 9:a) Amasya, b) Divriği, c) Kütahya, d) Safranbolu, kerpiç ev örnekleri.

Konya'da kullanılan kerpiçlerde analar $27 \times 27 \times 10$ cm, kuzular $14 \times 27 \times 10$ cm kadardır. Eskişehir ve Kayseri civarlarında ana ve kuzu kerpiç yerine hepsi aynı büyüklükte kerpiç yapılır. Boyutları $12 \times 15 \times 35$ – $15 \times 20 \times 40$ cm arasında değişmektedir. Ankara köylerinde bu boyuttakiler kuzu, iki katı olanlar anadır. Elazığ'da alt katta kerpiç ölçüleri ana $27.5 \times 27.5 \times 10$ cm, kuzu $13 \times 27.5 \times 10$ cm, üst katta ana $30 \times 30 \times 10$ cm, kuzu $15 \times 30 \times 10$ cm'dir. Diyarbakır'da analar $28 \times 28 \times 8$, $30 \times 30 \times 10$ cm, kuzular bunun yarısı kadardır. İstanbul ve Edirne civarlarında 40-32 cm boyunda, 20-15 cm eninde, 12-10 cm kalınlığında çeşitli kerpiç boyutları görülmektedir[18].

Yurdumuzda toprak eski ve ilkel bir yapı malzemesi olarak görülse de farklı malzemelerle kullanılmış kompozit binalar, modern mimariler bulunmaktadır.

Konya’da 2011 senesinde yapımı tamamlanan Sonsuz Şükran Köyü, sanatçılar ve tasarımcılar tarafından inşa edilen tamamen kerpiçten yapılan 30 haneli köydür. Tek ve iki katlı, avlulu ve balkonlu olarak tasarlanan bu evler günümüz kerpiç mimarisinin önemli örneklerindedir.



Şekil 2. 10: Sonsuz Şükran Köyü kerpiç evleri, Konya [19].

Dünyanın birçok yerinde modern yapılarda kullanılan sıkıştırılmış toprak örneğini Şanlıurfa’da 2018 yılında tamamlanan ziyaretçi merkezinde görebiliriz. Göbeklitepe’de ortaya çıkan dairesel tapınlardan esinlenerek inşa edilen bu merkez, tek katlı dairesel binalardan oluşmaktadır. Yapının bulunduğu yerle uyumunun sağlanabilmesi için sıkıştırılmış toprak duvar tekniği tercih edilmiştir.



Şekil 2. 11:Göbeklitepe Ziyaretçi ve Canlandırma Merkezi, Şanlıurfa [20].

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. KERPIÇ BİNA YÖNLETMELİKLERİNİN İNCELEMESİ

Kerpiç ile bina üretim belirlenen yönetmelik ve standard kurallarına göre yapılması öngörülmüştür. Kerpiç bina kullanımı belirli bölgelerde yaygın olsada, kerpiç bina tasarımı için çeşitli standart ve yönetmeliği bulunan ülke sayısı sınırlıdır. Yurdumuzda yakın zamana kadar geçerliliği olan kerpiç bina üretimi için de çeşitli ilgili yönetmelik ve standartlarımız mevcuttur.

Bu kapsamda hazırlanan belgeler kerpiçle sınırlı değildir. Çeşitli toprak yapı üretim teknikleri içermektedir; Sıkıştırılmış Toprak Tuğla, Dökme toprak, Yerinde Dökme Toprak vs. Yurdumuzda ise toprak yapı çeşidi olarak sadece kerpiç ile ilgili yönetmeliği bulunmaktadır.

3.1. ULUSLARARASI KERPIÇ BİNA YÖNETMELİKLERİ

Yıllardır toprak, uygun topraklara ve iklim koşullarına sahip dünyanın bir çok bölgesinde hakim bir yapı malzemesi olmuştur. Bu durum toprağı inşaat amaçlı kullanmak için kurallar geliştirmeyi gerektirmiştir. Çoğu standartlarda kerpiç, toprak yapı üretim çeşidi altında belirtilmiştir.

Orta Avrupa'da, toprak inşaatı alanındaki teknik kuralların tarihi, 14. ve 15. yüzyıllarda şehirlerin gelişimiyle yakından ilgilidir. Şehirlerin hızlı büyümelerinin bir sonucu olarak, temel yapı malzemesi olarak kerestenin bulunabilirliği kıt hale gelmiştir. Dahası, ahşap yapılar yangın hasarına duyarlı olup, yangınlar, kaza sonucu veya savaş sonucunda şehirlerin tüm bölümlerinin yok edilmesinden sorumluydu.

Her iki sorun da birkaç Alman eyaleti arasında ilk zorunlu bina yönetmeliklerinin hazırlanmasına yol açtı. Ernestine Yapı Yönetmeliği 1556, Thüringen eyaletinde, binaların yalnızca ahşaptan yapılmasına izin vermemekteydi, bunun sonucu olarak sadece ateşli tuğlalar, kerpiç veya doğal taşlarla birlikte ahşap iskeletli yapılar olarak inşa edilmiştir.

Bu kapsamda 1944'te hazırlanan Alman Toprak Yapı Yönetmeliği (Lehmbauordnung), Avrupa'da bu konuda bir yapı malzemesi olarak ilk çağdaş teknik

standattır [21]. Hazırlanan bu belge dönemin toprak bina yapımı için tüm teknik bilgisini özetler nitelikteydi. 1944'te İkinci Dünya Savaşı'nın sonlarında bir çok konut yıkılmış, milyonlarca insan yeni bir barınağa ihtiyaç duyuyordu. Toprak ise yerel olarak mevcut tek yapı malzemesiydi. Alman yönetiminin bu yönetmeliği hazırlamaktaki amacı, toprağın savaştan sonra yeniden yapılanma dönemi için bir yapı malzemesi olarak kullanımını sağlamak olmuştur. Fakat 1970'lerde sanayileşmenin sonucu olarak Avrupa'da da toprak malzeme kullanımı önemini yitirmiştir.

3.1.1. Uluslararası Yönetmeliklerin Karşılaştırılması

Çizelge 3.1 farklı ülkelere ait belge türüne göre toprak yapı içeriklerine genel bir bakış sağlamaktadır. Standart olarak belirtilen belgeler tanınmış bir idari kuruluş tarafından onaylanmış, yapı için gerekli teknik standartları içermektedir. Yeni gelişmeler ortaya çıktıkça kurum tarafından bu standartlar gözden geçirilip, yenilenmesi beklenir. Normatif belge veya yönlendirici belge ise ilgili alanda kanıtlanmış, belirli bir yeterliliğe sahip uzman bir grup veya kuruluş tarafından hazırlanır ve genel kullanım için yayınlanır.

Bölgesel, ulusal veya yerel standartlar kuruluşları tarafından son 30 yılda yayınlanan 11 ülkeden 20 farklı belge içeriği verilmiştir (Çizelge 3.1). İçerdiği yapı malzemesi ve yapım sistemleri hakkında bilgi vermektedir.

Çizelge 3. 1: Farklı ülkelere ait standart ve yönetmelikler [21].

ÜLKE	Doküman Adı	İçerik		
		Tür	Yapı Malzemesi	Yapım Sistemi
Avustralya	EBAA (2004)	Normatif Belge	Toprak blok	Sıkıştırılmış Toprak
			Toprak Harç	Yığma Toprak Blok
Fransa	AFNORXP.P13-901	Standart	Kerpiç	
İsviçre	Regeln zum Bauen mit Lehm	Normatif Belge	Kerpiç, Hafif Toprak, Toprak Harç	Yığma Toprak Blok, Sıkıştırılmış Toprak, Toprak Dolgu, Duvar Astarı
Almanya	Lehmbau Regeln(2009)	Standart	Dökme toprak, Kil panel, Kerpiç, Toprak harç, Hafif kil	Sıkıştırılmış toprak, Dökme toprak, Yığma Kerpiç Blok, Toprak Dolgu, Toprak sıva, Duvar astarı
	RL 0803 (2004)	Normatif Belge	Toprak Sıva	
Amerika	UBC, Sec. 2405 (1982)	Yönetmelik		Yığma toprak blok
	14.7.4 NMAAC (2006)	Yönetmelik	Kerpiç, Toprak duvar harcı	Yığma toprak blok, Sıkıştırılmış toprak
	ASTM E2392/E2392M	Standart	Kerpiç, Toprak harc	Dökme toprak, Yığma toprak blok, Sıkıştırılmış toprak, Toprak harç, Duvar astarı
Peru	NTE E.080 (2000)	Standart	Kerpiç	Yığma toprak blok
Hindistan	IS: 2110 (1998)	Standart		Sıkıştırılmış toprak
	IS: 13827 (1998)	Standart	Kerpiç	Yığma toprak blok, Sıkıştırılmış toprak
	IS 1725 (2011)	Taslak	Stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak blok	
Y.Zelanda	NZS 4297-9 81998)	Standart	Toprak, Kerpiç	Sıkıştırılmış toprak, Yığma toprak blok, Sıkıştırılmış toprak
Türkiye	Ts 537, 2514, 2515	Standart	Kerpiç	
Sri Lanka	Specification for CSEB, SLS 1382	Standart	Stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak blok	Yığma toprak blok
Nijerya	NIS 369 (1997)	Standart	Stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak blok	
	NBC 10.23 (2006)	Yönetmelik		Yığma toprak blok, Sıkıştırılmış toprak blok

3.2. YURDUMUZDAKİ KERPIÇ BİNA YÖNETMELİKLERİ

3.2.1. Yönetmelikler

Yurdumuzda kerpiç bina yönetmelik ve standartlara bağlı olmasına rağmen kırsal bölgelerde daha yoğun kullanıldığı için yönetmeliklerin uygulanabilirliği yetersiz kalmıştır. Bu nedenle kerpiç binaların karşılaştığı olumsuz durumlar bu binalar için kullanımının durdurulmasına kadar gitmiştir. Ülkemizde kerpiç yapı için hazırlanmış belgelerin içeriğine ait bilgi Çizelge 3.2’de görülmektedir. Yurdumuzda toprak yapı üretiminde TS 2514 (Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları), TS 2515 (Kerpiç

Yapıların Yapım Kuralları) Standartları ve Deprem Yönetmeliği'nden yararlanılmaktadır. Kerpiç yapı standartları (TS 2514, TS 2515) 2011 yılında yürürlükten kaldırılmış ve yenilenmemiştir. Ancak 2011 yılına kadar kerpiç yapıların üretiminde bu standartlardan yararlanıldığı için çalışmaya dâhil edilmeleri uygun görülmüştür. Bu standartlar yalnızca kerpiç tekniğini kapsamakta ve kerpiç binaların tasarım, uygulama ve bakım aşamaları konusunda bilgi vermektedir. TBDY ise deprem ile ilgili uygulaması gereken kuralları içermektedir.

Çizelge 3. 2: Türkiye’de kerpiç bina üretiminde kullanılan yönetmelik ve standartlar.

Yönetmelik-Standart	İçerik
TS 2514 (Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları)	Malzeme ve İşçilik Kriterleri
TS 2515 (Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları)	Tasarım Kriterleri ve Üretim Teknikleri
Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	Yığma Binalar için Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları

TS 2514 Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları kapsamında malzeme ve işçilik kurallarının ayrıntılı olarak incelendiği görülmektedir. Ayrıntılı olarak incelenen diğer başlık ise kerpicingin uygunluğunu tespit etmek için yapılan deneylerdir. Bu başlık altında; toprak numunesinin alınması, çamur numunesinin hazırlanması, çekme deneyi, büzülme (rötre) deneyi, çamurlaşma deneyi ve basınç deneyi bulunmaktadır. Standart kapsamında performans kriterlerine çok ayrıntılı olmamakla birlikte genel olarak değinilmiş; dayanıklılık, büzülme, basınç dayanımı ve çekme dayanımı gibi kriterler incelemiştir [22].

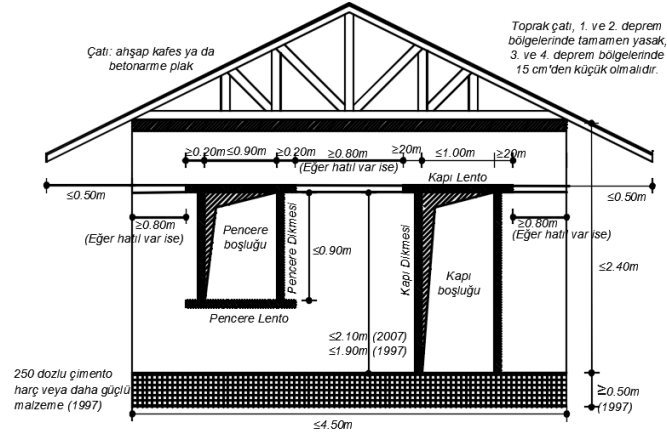
TS 2515 Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları’nda; tasarım kriterleri, çatı, duvar ve temel üretim kriterleri incelenen başlıklardır. Bu başlıklar altında; kat adedi, kat yüksekliği, duvar uzunluğu, duvar boşlukları, duvar kalınlığı, çatı eğimi ve saçak genişliği, bağ kirişleri, lentolar, yüzey bitişleri ile temel genişliği, temel yüksekliği gibi konularda kurallar ve minimum boyutlar belirtilmiştir. Duvar, çatı ve hatulların uygulama şekilleri gösterilmiştir. Aynı zamanda malzeme kriterleri çok ayrıntılı olmamakla birlikte çimento esaslı harçlar, toprak esaslı harçlar ve harç derzleri gibi bazı başlıklar incelenmiştir.

Deprem Yönetmeliği'nde (1997) ise tasarım kuralları ve çatıya ait ayrıntılı üretim kriterleri verilmiştir. Malzeme ve işçilik kriterleri ile temel üretim kriterlerinde ise bazı başlıklar verilmiştir. Yönetmelikte; kerpiçin uygunluğunu belirlemede kullanılan deneylere ait bilgi bulunmamaktadır [23, 24].

Çizelge 3. 3: 1997 ve 2007 Deprem Yönetmeliği'nin kerpiç bina kuralları bakımından karşılaştırılması.

<i>Kurallar</i>	<i>Deprem Yönetmeliği 1997</i>	<i>Deprem Yönetmeliği 2007</i>
Temel ile üst yapı arasındaki malzeme	50 dozlu çimento harçlı taş veya daha güçlü bir malzeme	-
Kat sayısı	1 (Bodrum kat hariç)	
Bina önem katsayısı (I)	1	-
Kat yüksekliği	Normal kat 2.70m, Bodrum 2.40m.	
Kat planı şekli	Simetrik ve dikdörtgene yakın	-
Duvar boyutu	Dış duvarlar en az 1.5, İç duvarlar en az 1 kerpiç boyu	
Bodrum kat temel kalınlığı	≥ 50 cm	-
Bina köşesi ile pencere ve kapı arasındaki boşluklar	$\geq 1.0m$, Eğer hatıl var ise $\geq 0.8m$	
Pencere ve kapı arası boşlukları	$\geq 1.0m$, Eğer hatıl var ise $\geq 0.8m$	
En uzun açıklık	$\leq 4,5m$	
Kapı boşlukları	$\leq 1m$ yatayda, $\leq 2.10m$ in düşeyde	$\leq 1m$ yatayda, $\leq 1.90m$ düşeyde
Pencere boşlukları	$\leq 0.90m$ yatayda, $\leq 1.20m$ in düşeyde	
Lento kesitleri ve uzunlukları	Kesit: $10cm \times 10cm$, uzunluk: $\geq 20cm$	
Çatı saçakları ile duvarlar arasındaki boşluklar	$\leq 50cm$ ve hafif olmalı	
Toprak çatı izni	1. ve 2. Deprem bölgesi, izin verilmiyor 3. ve 4. Deprem bölgesi, ≤ 15 cm	
Çatı malzemesi	Ahşap makas veya betonarme plak döşeme	

Deprem Yönetmeliği (1997) 11. Bölümü tamamen kerpiç yapılara ayrılırken, 2007 yönetmeliğinin 5. Bölümü olan yığma yapılar bölümünde kerpiç yapılara yer verilmiştir [23, 24]. Çizelge 3.3'de iki yönetmeliğin tek bir başlık altında değerlendirilmiştir.



Şekil 3. 1:1997 ve 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre kerpiç binalarda konstrüktif kurallar.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. KERPIÇ BİNANIN DÜŞEY VE YATAY YÜKLER ALTINDA GÜVENLİĞİ İÇİN HESAP YÖNTEMLERİ

Bu bölümde kerpiç binanın kendi eleman ağırlıklarından ve binadaki hareketli yüklerden oluşan düşey yüklerin ve deprem gibi yatay yüklerin nasıl hesaplanacağına dair hesap yöntemleri verilmiştir. Kerpiç bina üzerindeki yüklerin hesabı sonrası, binanın bu yükleri taşıması için kontroller de bu bölümde bulunmaktadır. Bu bölümde verilen formüller, malzeme özellikleri ve deprem parametreleri tezin 5.bölümündeki sayısal hesapta kullanılmıştır.

4.1. KERPIÇ BİNADA MALZEME

Kerpiç bina, diğer bölümlerde belirtildiği gibi kerpiç duvarlardan oluşur. Duvarlarda bulunan kerpiç tuğlanın kalitesi kullanılacak harca, özellikle kil içeriğine ve samana (veya benzeri bitkisel liflere) bağlıdır. Duvarı oluşturan bloklar arasında, kerpicin ana maddesi ile benzer bir malzemedен oluşan harç bulunmaktadır. Bölüm 5’de yapılan sayısal hesapta kullanılacak kerpiç bloklar için basınç ve kayma gerilmeleri, elastisite ve kayma modülü, kerpicin birim hacim ağırlığı gibi parametreler bu bölümde verilecektir. Kerpiç tuğlaların arasına sürülen harç için ayrıca bir gerilme değeri verilmeyecektir.

EN772-1:200 boyutları ile üretilen kerpiç tuğlaların %5 birim kısalma altında basınç dayanımları 0.5 ile 3.2 MPa arasında bulunmuştur. Ayrıca aralarında harç bulunarak oluşturulan kerpiç duvarlar farklı koşullarda (kür ve sıcaklık) basınç deneyine maruz bırakılmış ve 0.45 ile 1.0 MPa arasında basınç dayanımları ortaya çıkmıştır [25]. 2018 yılında yapılan çalışmada kerpiç içine saman ve pirinç kabuğu karıştırıldığında bu katkıların kerpicin basınç ve çekme dayanımına etkileri araştırılmıştır. Saman ve pirinç kabuğu içeren kerpiç bloklar, sadece kerpiç içeren bloğa göre basınç dayanımını arttırmış fakat çekme dayanımını azaltmıştır. Sadece kerpiç içeren tuğlaların ortalama basınç ve çekme dayanımı sırasıyla 1.36 MPa ve 0.28 MPa olarak hesaplanmıştır [26]. Kerpiç malzeme içine alçı ve kil gibi malzemeler

eklenerek elde edilen “alker” malzemesi için yapılan deneyler sonucu, 90 günlük bakım sonucu içinde sadece saman katkısı olan kerpiç malzemenin basınç dayanımı 2.4 MPa ile 2.9 MPa arasında bulunmuştur [27]. Farklı katkılar ile kerpiç malzemenin basınç dayanımı arttırılabildiği görülmüştür.

Kerpiç malzeme, %5 birim kısalma altında yapılan basınç deneyleri ile elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilmiştir [25]. Eğride gerilmenin sabit, şekil değiştirmenin arttığı duruma kadar, bir doğru çizilir ve bu doğrunun eğimi ile elastisite modülü kerpiç için 135 MPa hesaplanmıştır. Pirinç ve saman katkıları ile kerpiç malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştirildiği çalışmada, sadece kerpiç malzeme için elde edilen ortalama elastisite modülü 65 MPa olarak bulunmuştur [26]. Geliştirilen yeni bir malzeme olan alkerin elde edildiği çalışmada, 90 günlük kür sonucu içinde sadece saman katkısı olan kerpiç tuğlanın elastisite modülü 880 MPa olarak bulunmuştur [27].

Yine aynı çalışmada [27], içinde sadece saman katkısı olan kerpiç bloğun yapılan deneylerle kayma dayanımı 0.15 MPa, kayma modülü ise 180 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma ile elde edilen kerpiç bloklar, diğer mekanik özellikler hakkındaki çalışmaların aksine gerçek bir binanın inşasında kullanılmış ve zarar görmeden bu binalar günümüze gelmiştir [27].

2020 yılında farklı miktardaki polipropilen katkılarla kerpiç malzemesinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için yapılan çalışmada, kerpiç blokların katkılı veya katkısız birim kütlesi ağırlığı değişmemiş ve 19 kN/m³ ile 20 kN/m³ arasında değişmektedir [28].

Çizelge 4. 1: Kerpiç için seçilen mekanik özellikleri

Parametre	Sembol	Değer
Basınç Dayanımı	f_k (N/mm ²)	1.5
Düz Kayma Dayanımı	f_{vk0} (N/mm ²)	0.15
Elastisite Modülü	E (N/mm ²)	880
Kayma Modülü	G (N/mm ²)	180
Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{kerpiç}$ (kN/m ³)	20
Çekme Dayanımı	f_t (N/mm ²)	0.30

Yukarıdaki çalışmalardan görüldüğü gibi kerpiç blokların basınç dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin benzer olmadığı görülmüştür. Başka çalışmalarda diğer malzeme değerlerinin de çalışmalar arttıkça benzer olmadığı görülebilir. Bu farklı değerlerin sebebi, kerpiç malzeme içindeki toprak, kullanılan su içindeki saflık oranı ve diğer kullanılan katkı değerlerine bağlıdır. Bu tez kapsamında yapılan ortalama malzeme özellikleri yaklaşık olarak Çizelge 4.1’de verilmiştir.

4.2. DEPREM YÜKLERİ

2018 yılında yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)’nde deprem yükünün hesabı üç adet hesap yöntemi vardır [29]. Bunlar “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi”, “Mod Birleştirme Yöntemi” ve “Zaman-Tanım Alanında Hesap Yöntemi”dir.

Kerpiç malzemesi, konut, ahır gibi toplumsal olarak az önemli bina türlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu malzemenin kırsal bölgelerde daha yaygın kullanılabilmesi için hesapların olabildiğince basit olması gerekmektedir. Binalar basit ve az katlı olduğu için TBDY 2018’de tanımlanan “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” kerpiç binalar için daha uygun olduğuna karar verilmiştir. X veya Y doğrultusunda binaya gelen yatay deprem kuvveti (V_{tE}) Denklem 4.1’de verilmiştir.

$$V_{tE} = m_t S_{aR}(T_p) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’deki parametreler;

m_t : Bina kütlesi

$S_{aR}(T_p)$: Azaltılmış spektral ivme

T_p : Binanın hakim doğal titreşim periyodu

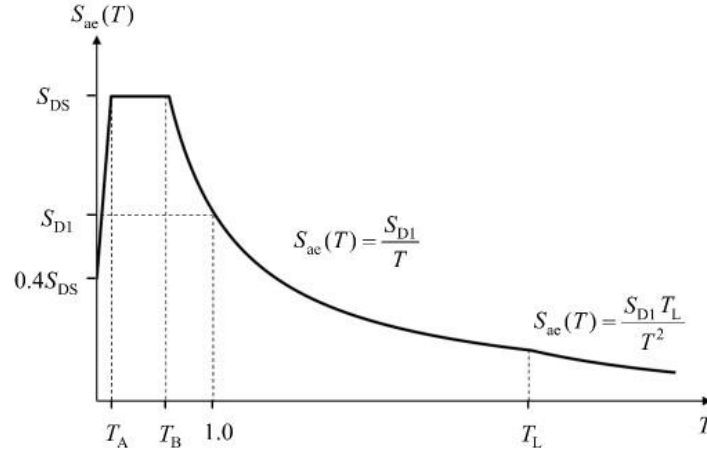
I : Bina Önem Katsayısı

S_{DS} : Kısa periyot spektral ivme katsayısı

g : Yerçekimi ivmesi

Yatay deprem yükünün hesabı için binanın periyoduna (T_p) karşı gelen, TBDY 2018’de tanımlanan yatay ivme spektrumu kullanılır. Şekil 4.1’de verilen S_{DS} ve S_{D1}

değerleri “Türkiye Deprem Tehlike Haritası” web sitesinden hesaplanır. [30] Spektrum köşe periyotları olan T_A ve T_B değerleri S_{DS} ve S_{D1} değerlerine bağlı olarak hesaplanır. Spektrum uzun periyodu olan T_L değeri TBDY 2018’de 6 sn olarak belirtilmiştir [29].



Şekil 4. 2: Yatay Elastik İvme Spektrumu [29].

Binanın hâkim periyodu olan T_p 'ye karşı gelen ve Şekil 4.1'deki spektrum kullanılarak hesaplanan ivme değeri $S_{ac}(T_p)$ 'dir. Bu değer elastik ivme değeridir ve deprem yükü azaltma katsayısı olan R_a ile azaltılmamış ivme değeridir. Eşdeğer deprem yükü formülünde bulunan azaltılmış ivme değeri $S_{aR}(T_p)$ değeri Denklem 4.2 ile hesaplanır.

$$S_{aR}(T_p) = \frac{S_{ac}(T_p)}{R_a(T_p)} \quad (4.2)$$

Denklem (4.2)'de azaltılmış tasarım spektral ivme değerinin hesabında kullanılan Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T_p)$ yapının doğal titreşim periyodu T_p ve spektrum köşe periyodu değerlerine bağlı olarak seçilecek Denklem (4.3) veya Denklem (4.4)'e göre hesaplanır

$$R_a(T_p) = \frac{R}{I} \quad T_p > T_B \quad (4.3)$$

$$R_a(T_p) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T_p}{T_B} \quad T_p \leq T_B \quad (4.4)$$

Denklem 4.3 ve 4.4’de (I), Bina Önem Katsayısını ifade etmekte olup bina kullanım amacına göre belirlenmektedir. R Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, D Dayanım Fazlalığı katsayısı olup TBDY 2018’de bulunan Tablo 4.1’e göre belirlenmektedir [29]. Seçilen hareketli yükler “konut” türü binalar için verilen “(n) hareketli yük katılım katsayısını” 0.3 kabul ederek azaltılabilir.

Kerpiç binalar yaygın olarak “konut” amacıyla yapıldığı için TBDY 2018’de tanımlanan Bina Önem Katsayısı (I) “1” olarak alınabilir.

Çizelge 4.2: Deprem Parametreleri.

Hareketli yük katılım Katsayısı (n)	0.3
Bina Önem Katsayısı (I)	1
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	2.5
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	1.5

Kerpiç binalar “Süneklik Düzeyi Sınırlı” olan sistemlerdir. TBDY 2018 Tablo 4.1’de Yığma Binalar için verilen Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) sırasıyla 2.5 ve 1.5 olarak verilmiştir. Kerpiç binalarda sünekliğin düşük olması sebebiyle için de bu değerlerin kabul edilmesi bu tez tarafından önerilir.

Sonuç olarak Bölüm 5’de yapılacak sayısal hesapta seçilen ve kullanılan deprem parametreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

4.3. KERPIÇ BİNA İÇİN HESAP YÖNTEMLERİ

Bu bölümde tezin 5.bölümde yapılacak sayısal hesap için bir altlık oluşturulacaktır. Binaların tasarımı üç farklı hesap öngörülmüştür.

İlk olarak duvar rijitlikleri yaklaşık bir şekilde hesaba katılarak tasarım yapılır. İkinci hesapta duvar rijitlikleri ayrı ayrı hesaba katılarak rijitlik merkezi bulunur ve iç

kuvvetler hesaplanarak boyutların yeterli olup olmadığı kontrol edilir. Daha ayrıntılı hesap için binalar bir sonlu eleman programı ile kerpiç malzeme özellikleri tanımlanıp, TBDY 2018'e [29] göre deprem spektrumu kullanılır. Binaya gelen yükler de girilerek iç kuvvetler hesaplanabilir. Seçilen boyutların yeterli olup olmadığı kontrol edilir.

4.3.1. Eşdeğer Duvar Kabulü ile Tasarım

Binaya gelen düşey yükler, duvar ağırlığı ile beraber duvarlar üzerindeki çatı ağırlığından meydana gelir. Eğer birden fazla kat adedi bulunuyorsa, katlar arası döşeme ağırlıkları da düşey yüklere dâhil edilir.

Duvar ağırlıkları için her iki doğrultuyu beraber dikkate alarak toplam duvar uzunluğu hesaplanır. Ardından duvar kalınlığı, duvarın yüksekliği ve duvar malzemesinin (ana malzeme kerpiç) birim hacim ağırlığı, toplam duvar uzunluğu ile çarpılarak duvarlar üzerindeki düşey yükler hesaplanır.

Binada bulunan her bir duvarın uzunluğunu ayrı ayrı bulmak yerine, bu yöntem ile binadaki eşdeğer duvar uzunluğu hesaplanır. 1998 Deprem Yönetmeliği'nde [32] kerpiç yapılar için kurallar bulunmaktadır. Bu yönetmelikte tek bir doğrultuda net duvar uzunluğunun (pencere ve kapı uzunlukları hariç) kat alanına oranı en az 0.25m/m^2 olarak verilmiştir. Bu minimum oran dikkate alınarak eşdeğer duvar uzunluğu hesaplanabilir. Bu orana “ n_{1998} ”, kat alanına A_{kat} denirse, tek bir doğrultuda eşdeğer duvar uzunluğu ($\ell_{eş,x}$ veya $\ell_{eş,y}$) yaklaşık olarak Denklem 4.5 ile hesaplanır.

$$\ell_{eş,x} = A_{kat} n_{1998,x} \quad (4.5)$$

A_{kat} , kat alanıdır ve katın X doğrultusundaki uzunluğu (B_x) ile Y doğrultusundaki uzunluğunun çarpımı ile bulunur (Denklem 4.6).

$$A_{kat} = B_x B_y \quad (4.6)$$

Denklem 4.5'de sadece X doğrultusu için eşdeğer duvar uzunluğu formülü verilmiştir. Aynı formül kat uzunlukları arasındaki oran kullanılarak Y doğrultusu için de yazılabilir ($\ell_{eş,y}$). X doğrultusu büyük kat uzunluğu, Y doğrultusu ise küçük kat uzunluğu olarak kabul edilebilir. Bu sebeple 0.25m/m^2 değeri X doğrultusu için geçerli

olan n_{1998} oranı iken, Y doğrultusu için bu oran kat uzunlukları arasındaki oran sebebiyle daha küçük olacaktır (Denklem 4.7).

$$n_{1998,y} = \frac{B_y n_{1998,x}}{B_x} \quad (4.7)$$

Duvarlardaki açıklıklar olan kapı ve pencere boşluklarının duvardaki toplam uzunluklarını hesaplamak için Denklem 4.8 kullanılır. Burada “ n_k ” ve “ n_p ” sırasıyla yapıdaki kapı ve pencere sayılarıdır. Kapı uzunluğu ve yüksekliği sırasıyla “ ℓ_k ” ve “ h_k ”, pencere uzunluğu ve yüksekliği sırasıyla “ ℓ_p ” ve “ h_p ” ile gösterilir.

$$\ell_{açıklık} = n_k \ell_k + n_p \ell_p \quad (4.8)$$

Hem kapı ve pencere açıklıkları hem de duvar uzunlukları dikkate alınarak hesaplanan brüt duvar uzunluğu Denklem 4.9 ile hesaplanabilir.

$$\ell_{brüt} = \ell_{eş,x} + \ell_{eş,y} + \ell_{açıklık} \quad (4.9)$$

Kerpiç duvar kalınlıkları tüm binada aynı alınabilir ve “ t_{duvar} ” ile gösterilebilir. Kat yüksekliği h_{kat} olmak üzere tek bir kattaki duvar ağırlığı, brüt duvar ağırlığından, kapı ve pencerelerin ağırlıklarının çıkartılması ile elde edilir. Duvar ağırlığı Denklem 4.10’da verilmiştir

$$W_{duvar} = (\ell_{brüt} h_{kat} - n_k \ell_k h_k - n_p \ell_p h_p) t_{duvar} \gamma_{kerpiç} \quad (4.10)$$

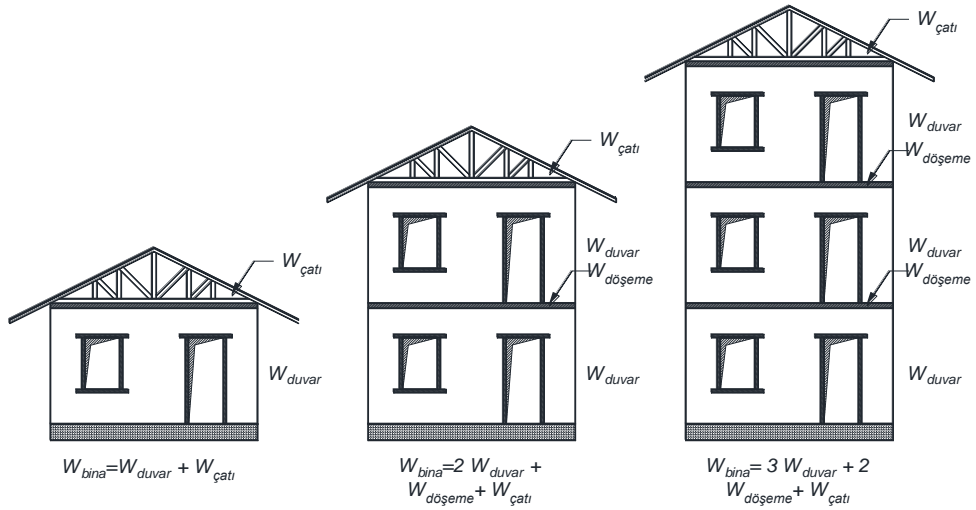
Buradaki kerpiçin birim hacim ağırlığı Çizelge 4.1’de verilen malzeme değerlerinden alınarak sayısal hesapta kullanılabilir.

Bina ağırlığının hesabında hem çatı ağırlığı hem de duvarların ağırlığı dikkate alınmıştır. Hem duvar hem de çatı ağırlığı binanın ağırlığını oluşturur. Duvarlar üzerindeki çatıda betonarme döşemenin yanında ısı yalıtımını sağlamak için kil tabaka genellikle öngörülür. Ayrıca çatıdaki ahşap makas ve diğer malzemeler için bir ek kaplama yükü ($g_{kap.}$) de çatı ağırlığını bulurken dikkate alınabilir. Çatı alanı, kat alanı ile aynı kabul edilebilir. Çatıdaki betonarme döşeme üzerindeki alana yayılı yük,

betonun birim hacim ağırlığı (γ_{beton}) ile betonarme döşemenin yüksekliğinin (h_f) çarpımı ile bulunur. Isı yalıtımı için koyulan kil tabaka üzerindeki alana yayılı yük, kilin birim hacim ağırlığı (γ_{kil}) ile kil tabakanın yüksekliğinin (h_{kil}) çarpımı ile bulunur. Çatıdaki ahşap makas ağırlıkları için kaplama yükü, çatı ağırlığında hesaba katılmalıdır. Çatı ağırlığı Denklem 4.11 ile hesaplanır.

$$W_{\text{çatı}} = (h_f \gamma_{beton} + h_{kil} \gamma_{kil} + g_{\text{kap.,çatı}}) A_{\text{çatı}} \quad (4.11)$$

Binanın toplam ağırlığı (W_{bina}), tek katlı bina için denklem 4.8'den hesaplanan duvar ağırlığı (W_{duvar}) ile Denklem 4.11'den hesaplanan çatı ağırlığının ($W_{\text{çatı}}$) toplamı ile hesaplanır. Eğer bina, bir kattan daha fazla şekilde inşa edilirse (2 veya 3 katlı), o kattaki duvarların ağırlığı ve katlar arası döşemenin ağırlığı da bina ağırlığında dikkate alınır. Katlar arası döşeme ağırlığında hem sabit yükler hem de hareketli yükler etkilidir.



Şekil 4.2: Farklı katlara sahip kerpiç bina yükleri

Düşey yükler ile binaya etkiyen normal gerilmeler hesaplanır. Bu gerilmeler kerpiç için emniyet gerilmesi ile karşılaştırılarak tasarım doğrulanır.

Düşey yüklerin yanında, deprem etkisi ile oluşan binaya gelen yatay yükler vardır. Yatay yük hesabı için eşdeğer deprem yükü hesabı yapılır. Deprem yükü, Denklem 4.1'de denklemin sol tarafı dikkate alınarak yapılır. Buradaki bina kütlesi

(m_T), bina ağırlığının (W_{bina}) yerçekimi ivmesine (g) bölünmesi ile elde edilir. Spektral ivmeyi ($S_{aR}(T_p)$) belirleyebilmek için, önce binanın hakim periyodunu (T_p) belirlemek gerekir. Bina hakim periyodu Denklem 4.12 ile hesaplanır.

$$T_{px} = 2\pi \sqrt{\frac{m_T}{K_x}} \quad (4.12)$$

Burada K_x , etkili deprem yönündeki yatay rijitlik değeridir. Bu değer etkili deprem yönünde olduğu için hem X hem de Y doğrultusunda her iki doğrultuda farklı rijitlik değeri (K_x veya K_y) için ayrı ayrı bina periyodu (T_{px} veya T_{py}) hesaplanır. Yatay rijitlik, eşdeğer duvara ilgili yönde gelen tasarım kesme kuvvetinin yatay yerdeğiştirmeye bölünmesi ile elde edilir. İlgili yöndeki tasarım kesme kuvveti, yaklaşık olarak eşdeğer duvarda oluşan ve üzerinde normal kuvvetin olduğu kayma gerilmesi (f_{vk}) ile duvar yükün etkidiği duvar alanının çarpılması ile elde edilir. İlgili yöndeki yatay kuvvet, binanın en üst noktası yerine duvarın ağırlık merkezi olan orta noktadan etkidiği için kat yüksekliğinin yarısı ($h_{\text{kat}}/2$) alan formülünde kullanılabilir (Denklem 4.14).

Yatay yerdeğiştirme (D_x), yatay yerdeğiştirmeden dolayı oluşan kayma açısı (γ_c) ile duvar kalınlığının (t_{duvar}) çarpılması ile elde edilir. Kayma açısı ise kayma gerilmesinin duvarın kayma modülüne bölünmesi ile elde edilir (Denklem 4.13). Denklemdeki kayma modülü (G) Çizelge 4.1'den alınabilir.

$$D_x = \gamma_c t_{\text{duvar}} = \frac{f_{vk}}{G} \quad (4.13)$$

Son durumda duvarın yatay rijitliği Denklem 4.14 ile hesaplanır.

$$K_x = \frac{\ell_{eş,x}(h_{\text{kat}}/2)G}{t_{\text{duvar}}} \quad (4.14)$$

Bulunan yatay rijitlik değeri, Denklem 4.12'de yerine koyularak bina hakim periyodları hesaplanır. Şekil 4.1'de bulunan spektrum grafiği kullanılarak elastik spektrum ivmesi seçilir. Ardından Denklem 4.3 ve 4.4 ile azaltılmış spektrum ivmesi

($S_{aR}(T_p)$) elde edilir. Sonunda Denklem 4.1'in sol tarafı kullanılarak binaya gelen yatay deprem kuvveti elde edilir.

Boyutların yeterliliğinin araştırılması için duvar üzerindeki normal kuvvet ve kesme kuvvetlerinin, kapasite değerlerinin altında olması gerekir. Tezin amacı doğrultusunda bu kuvvetler için TBDY 2018 "Deprem Etkisi Altındaki Yığma Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı için Özel Kurallar" [29] bölümündeki formüller, referans olarak kullanılmıştır.

Kerpiç duvara düşey doğrultuda etkiyen tasarım kuvveti, N_{Ed} , duvar düşey yük tasarım dayanımı olan N_{Rd} 'den (Denklem 4.15) daha büyük olmaması gerekir. N_{Ed} değeri, düşey yük kombinasyonları olan $1.4G+1.6Q$ ve $G+0.3Q$ (G :sabit yük, Q :hareketli yük) yüklemelerinden gelen normal kuvvet değeridir.

$$N_{Rd} = \lambda A_{et} f_d \quad (4.15)$$

Denklem 4.15'deki N_{Rd} formülündeki A_{et} değeri, etkili duvar alanıdır ve duvarın her iki yönde toplam eşdeğer uzunluğu ($\ell_{eş,x} + \ell_{eş,y}$) ile duvar kalınlığınının (t_{duvar}) çarpılması ile elde edilir. λ değeri, kapasite azaltma katsayısı olup narinlik (h_{duvar}/t_{duvar}) oranına bağlıdır [29]. Bu hesap yöntemi için duvar yüksekliği, kat yüksekliği (h_{kat}) seçilmiştir. Tasarım basınç dayanımı f_d , Denklem 4.16 ile hesaplanır.

$$f_d = f_k / \gamma_m \quad (4.16)$$

f_k karakteristik basınç dayanımı olup, Çizelge 4.1'den alınabilir. γ_m değeri ise yığma malzeme katsayısı olup, TBDY 2018'den alınmış [29] ve kerpiç için "2" olarak kabul edilmiştir.

Kerpiç duvarlar üzerindeki kesme kuvveti kontrolü, çalışmanın amacı doğrultusunda TBDY 2018 [29] formülleri referans alınarak yapılmıştır. Kerpiç duvarlar "donatısız yığma duvarlar" olarak düşünülmüş ve kerpiç duvarlarda taşıyıcı yığma duvar tasarım kesme kuvveti dayanımı V_{Rd} , duvara etkiyen tasarım kesme kuvveti, V_{Ed} 'den daha büyük olacaktır. V_{Ed} , ilgili yöndeki deprem kuvvetidir ve

Denklem 4.1'in sol tarafı kullanılarak hesaplanır. Duvar kesme kuvveti dayanımı V_{Rd} ise, Denklem (4.17) ile hesaplanan değerlerden küçük olanı olarak alınacaktır.

$$V_{Rd,x} = f_{vd} t_{duvar} \ell_{e\varphi,x} \quad (4.17a)$$

$$V_{Rd,x} = \ell_{e\varphi,x} t_{duvar} \frac{1.5 f_{vd0}}{b} \sqrt{1 + \frac{N_{Ed}}{1.5 \ell_{e\varphi,x} t_{duvar} f_{vd0}}} \quad (4.17b)$$

Denklem 4.17b'deki b değeri, duvar yüksekliğinin (h_{duvar}), ilgili yöndeki eşdeğer duvar uzunluğuna ($\ell_{e\varphi,x}$) oranıdır. Duvar yüksekliği, bu hesap yöntemi için kat yüksekliğine (h_{kat}) eşittir. İlgili yöndeki eşdeğer duvar uzunluğu, kat yüksekliğine göre büyüktür. Bu sebeple b oranı küçük bir değerdir. Fakat TBDY 2018'e göre bu değer "1" den küçük olamayacağı için Denklem 4.17b'de "1" olarak alınabilir. Denklem 4.17a'da bulunan duvar tasarım kesme dayanımı f_{vd} , Denklem 4.18 ile bulunur.

$$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_m \quad (4.18)$$

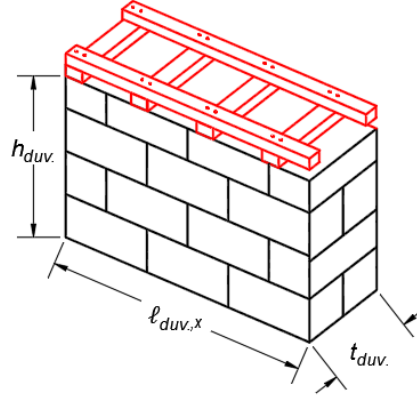
f_{vk} , duvar karakteristik kesme dayanımı ise TBDY 2018 [29] referans alınarak Denklem 4.19 ile bulunur.

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0.4 \sigma_d \quad (4.19)$$

f_{vk0} , Çizelge 4.1'deki düz kesme dayanımıdır. σ_d ise, düşey doğrultuda etkiyen tasarım kuvveti N_{Ed} 'nin, etkili duvar alanı olan A değerine bölünmesi ile elde edilir. Duvar alanı A , Denklem 4.3'de verilmişti. Denklem 4.17b'de bulunan f_{vd0} değeri, düz kesme dayanımının (f_{vk0}), malzeme katsayısına (γ_m) bölünmesi ile elde edilir.

4.3.2. Duvar Rijitlikleri ile Tasarım

Bu hesap yönteminde, eşdeğer bir duvara ait tek bir uzunluk yerine, kerpiç bina üzerindeki her bir duvarın uzunluğu hesapta kullanılmıştır.



Şekil 4.3: Duvar Boyutları.

Şekil 4.3’de gösterildiği gibi duvar yüksekliği h_{duvar} ile, ilgili doğrultudaki duvar genişliği $l_{duvar,x}$ ile ve duvar kalınlığı t_{duvar} ile gösterilmiştir. Duvar genişliği sadece bir doğrultuda şekilde gösterilmiştir. Aynı şekil diğer doğrultuda da çizilebilir (Y doğrultusu). Dikdörtgen kesitli bir duvar parçasının rijitliğin ilgili doğrultuda TBDY 2018 [29] referans alınarak Denklem 4.20 ile hesaplanmıştır.

$$k_{duvar,x} = \frac{1}{\frac{h_{duv.}^3}{12E_{duv.}I_{duv.,x}} + \frac{h_{duv.}}{1.2G_{duv.}A_{duv.}}} \quad (4.20)$$

Buradaki $E_{duv.}$ ve $G_{duv.}$ tezin 5.bölümünde bulunan sayısal hesapta kullanılmak üzere Çizelge 4.1’den alınabilir. $I_{duv.,x}$ duvarın ilgili doğrultudaki atalet momentidir ve Denklem 4.21 ile hesaplanır.

$$I_{duv.,x} = \frac{l_{duv.,x}^3 t_{duv.}}{12} \quad (4.21)$$

$A_{duv.}$ ise duvar parçasının yatay en kesit alanıdır ve Denklem 4.22 ile hesaplanır.

$$A_{duv.} = l_{duv.,x} t_{duv.} \quad (4.22)$$

Eşdeğer duvar yönteminin aksine binaya gelen sabit ve hareketli düşey yükler ayrıntılı olarak hesaplanabilir. Bunun için duvardan, çatıdan ve döşemeden gelen yükler

sabit yükleri (G), döşemenin hareketli yükü ise hareketli yükleri (Q) oluşturur. Seçilen boyutların kapasite kontrolü yapılırken artırılmış normal kuvvet yükleri kullanılır. Bunlar; $1.4G+1.6Q$ ve $G+0.3Q+E$ 'dür.

Binaya gelen yatay deprem kuvvetini bulabilmek için Denklem 4.1'in sol tarafı kullanılabilir. Bina periyodu hesabı (T_p) için, duvarların toplam yatay rijitliği bulunmalıdır (Denklem 4.12 ve 4.14). Bunun için ilk yöntemin aksine bu hesap yönteminde eşdeğer duvar uzunluğu bulmak yerine ($\ell_{eş,x}$), her bir duvarın ilgili doğrultudaki genişliği toplanmalı ve yatay rijitlik, toplam duvar genişliği ile bulunmalıdır. Bulunan yatay rijitlik Denklem 4.12'de yerine koyularak bina periyodu hesaplanır.

Eğer binanın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında bir fark var ise, yatay deprem kuvveti etkisinde duvarlarda burulma momentleri oluşur. Kesme kuvveti kapasitesi kontrol edilirken burulma momentleri dikkate alınmalıdır. Binanın rijitlik merkezi koordinatları ilgili doğrultuda Denklem 4.23a ve 4.23b ile hesaplanır.

$$x_R = \frac{\sum_i x_i k_{yi}}{\sum_i k_{yi}} \quad (4.23a)$$

$$y_R = \frac{\sum_i y_i k_{xi}}{\sum_i k_{xi}} \quad (4.23b)$$

Buradaki i indisi hesabı yapılan duvarı işaret eder. x_i ve y_i değerleri duvarın ağırlık merkezinin seçilen koordinat sistemine uzaklığıdır. Her bir duvarın rijitlik merkezi koordinatının (x_R ve y_R), ağırlık merkezi koordinatı (x_G ve y_G) ile arasındaki farkın, duvara gelen kesme kuvveti ile çarpımı, duvara gelen burulma momentini (M_b) verir. Burulma momentinden dolayı oluşan kesme etkisine *burulma kesme kuvveti* ile yatay deprem kuvvetinden dolayı oluşan kesme etkisine *öteleme kesme kuvveti* denir. İlgili doğrultuda her ikisinin toplamı duvarın toplam kesme kuvvetini verir. Burulma kesme kuvveti, duvara gelen burulma momentinin, duvarın burulma rijitliğine (J) bölünmesi ile elde edilir. Burulma rijitliği Denklem 4.24 ile hesaplanır.

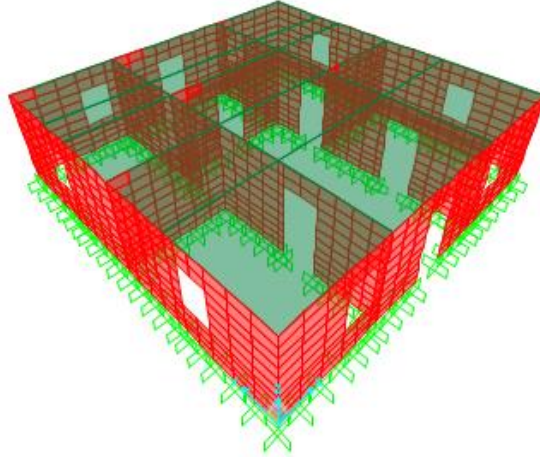
$$J = \sum_I [(y_i - y_R)^2 k_{x_i} + (x_i - x_R)^2 k_{y_i}] \quad (4.24)$$

Bulunan kesme kuvvetleri, Denklem 4.17'deki V_{Rd} , kapasite kesme kuvvetlerinden küçük olmalıdır.

4.3.1. Sonlu Eleman Programı ile Tasarım

Bu hesap yönteminde kerpiç bina duvarları, sonlu eleman programı olan SAP2000'de [32], *kabuk* elemanlar ile modellenebilir. Duvarlar modellenirken kapı ve pencereleri boşlukları dikkate alınmış ve modele konulmamıştır.

Birden fazla kat adedi olduğu zaman betonarme kat döşemesi de kabuk eleman ile modellenebilir. Ardından sırasıyla Denklem 4.15 ve 4.17'deki N_{Rd} ve V_{Rd} kapasite iç kuvvetlerinin programdan okunan değerler ile karşılaştırılır.



Şekil 4.4: Tek katlı kerpiç bina üç boyutlu görüntüsü

Programdan okunan normal kuvvet değerleri arttırılmış yükler üzerinden gözönüne alınır. ($G+0.3Q+E$ ve $1.4G+1.6Q$). Yatay deprem kuvvetinin hesabında “Eşdeğer Deprem Yüğü” kullanılıp ve iç kuvvetler $G+Q+E$ yüklemelerinden alınır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

5. ÖRNEK BİR KERPIÇ BİNADA SAYISAL HESAP

Bu bölümde Bölüm 4’de verilen hesap yöntemlerinin ana yapı malzemesi kerpiç olan ve benzer malzeme özelliklerine sahip binaların düşey yükler ve deprem etkisi altında gerilme kontrolleri yapılacaktır. Seçilen duvar kalınlığı, kat yüksekliği gibi boyutların binalar için uygun olup olmadığına karar verilecektir. Ayrıca sayısal hesaplar tek katlı, iki katlı ve üç katlı kerpiç bina için yapılacaktır. Bu sayede diğer parametreler sabit tutularak, kat sayısının artırılması ile kerpiç binada izin verilen kat adedi bulunmaya çalışılmıştır.

5.1. KERPIÇ BİNA MALZEME ÖZELLİKLERİ

Örnek kerpiç bina için Çizelge 4.1’de bulunan ve literatürden alınan yaklaşık malzeme özellikleri kullanılacaktır. Malzeme güvenlik katsayısı γ_m için TBDY 2018’de [29] verildiği gibi “donatısız yağma” tipi duvar kabul edilip 2 değeri kullanılacaktır. Karakteristik dayanımlar güvenlik katsayısına bölünerek tasarım dayanımları elde edilmiştir.

Çizelge 5. 3: Kerpiç Bina Malzeme Dayanımları.

Parametre	Sembol	Değer
Basınç Dayanımı	f_k (N/mm ²)	1.5
Düz Kayma Dayanımı	f_{vk0} (N/mm ²)	0.20
Elastisite Modülü	E (N/mm ²)	880
Kayma Modülü	G (N/mm ²)	180
Birim Hacim Ağırlık	$\gamma_{kerpiç}$ (kN/m ³)	20
Güvenlik Katsayısı	γ_m	2
Tasarım Basınç Dayanımı	f_d (N/mm ²)	0.75
Tasarım Düz Kayma Dayanımı	f_{vd0} (N/mm ²)	0.10

Çizelge 4.1’deki karakteristik dayanımlar ve diğer kerpiç malzeme özellikleri yanında, tasarım malzeme dayanımlarının tamamı Çizelge 5.1’de verilmiştir. Bu malzeme dayanımları, kerpiç binanın tasarımında ve kontrolünde kullanılacaktır.

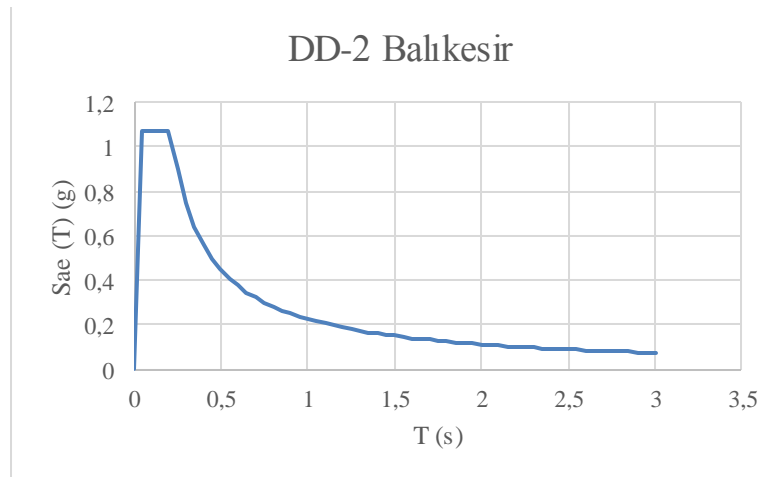
5.2. BİNAYA ETKİYEN DEPREM ETKİSİ

Bina konumu, zemin sınıfı girilerek tasarım depremi olan DD-2 deprem seviyesi altında binaya ait yatay elastik ivme spektrumu elde edilir. Binaya gelen yatay deprem ivmesi için tüm hesaplarda kullanılmak üzere *Türkiye Deprem Tehlike Haritaları* kullanılmıştır. Seçilen konum, deprem düzeyi ve diğer spektrum parametreleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2: Spektrum Parametreleri.

Deprem Düzeyi	DD-2
Zemin Sınıfı	ZB
Konum	Balıkesir
S_{DS}	1.071
S_{D1}	0.225
T_A (s)	0.042
T_B (s)	0.210
Hareketli yük katılım Katsayısı (n)	0.3
Bina Önem Katsayısı (I)	1
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	2.5
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	1.5

Bu parametrelerle Şekil 5.1’de bulunan yatay elastik spektrum ivme grafiği elde edilmiştir.

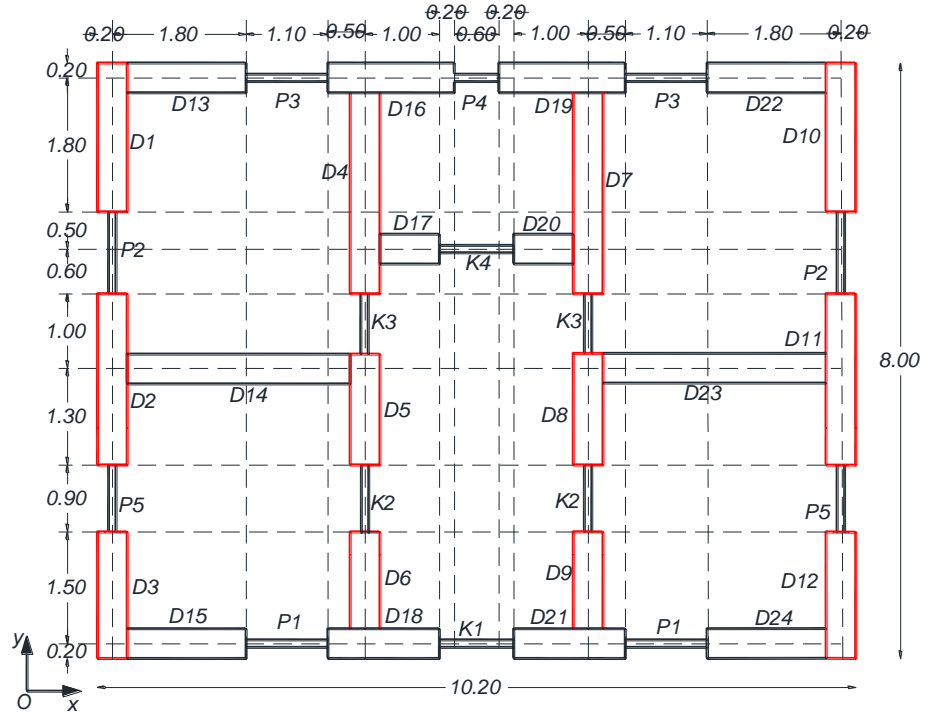


Şekil 5.1: Elastik spektrum ivme grafiği.

5.3. KERPIÇ BİNA BOYUTLARI VE YÜKLER

Her üç hesap yöntemi için aynı örnek bina kullanılmıştır. Bir kattan daha fazla kat adedine sahip binaların tüm katları aynı kat planına sahiptir. Binaya ait kat planı Şekil 5.3’de verilmiştir. Kerpiç duvarlar *D*, pencereler *P*, kapılar *K* simgesi ile gösterilmiştir. X doğrultusundaki duvarlar siyah renk ile, Y doğrultusundaki duvarlar kırmızı renk ile gösterilmiştir.

Binada duvarlar kerpiç iken, katın üzerinde betonarme döşemeden oluşan ve üzerinde ahşap makasların olduğu bir çatı bulunmaktadır. Birden fazla kat adedi olan binalarda kat döşemeleri betonarme olarak düşünülmüş ve bina ağırlığında döşeme yüklerindeki hareketli ve sabit yükler de dikkate alınmıştır.



Şekil 5.2: Kerpiç Binaya ait Kat Planı.

Kerpiç bina üzerindeki yük değerleri, çatı malzeme özellikleri ve boyutlar Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3: Kerpiç Bina Boyut ve Malzeme Özellikleri.

Özellik	Değer
X doğ. Kat uzunluğu (B_x) (m)	10.2
Y doğ. Kat uzunluğu (B_y) (m)	8.0
Kat Alanı ($A_{kat}=B_x \times B_y$) (m^2)	81.6

Tüm Duvar Kalınlıkları ($t_{duv.}$) (m)	0.40
Kapı Sayısı (n_k)	6
Pencere Sayısı (n_p)	9
Kat yüksekliği(h_{kat}) (m)	2.80
Beton birim hacim ağırlık (γ_{beton}) (kN/m^3)	25
Kat ve çatı betonarme döşeme kalınlığı (h_{fkat}) (m)	0.12
Döşeme hareketli yük (q) (kN/m^2)	2.5
Döşeme kaplama yükü ($g_{kap.}$) (kN/m^2)	1.5
Çatı kil tabaka kalınlığı (h_{kil}) (m)	0.15
Kil birim hacim ağırlık (γ_{kil}) (kN/m^3)	20
Çatı kaplama ağırlığı ($g_{kap.,çatı}$) (kN/m^2)	1.0

Verilen boyut ve malzeme özelliklerine göre üç ayrı hesap yöntemi kullanılarak örnek binada boyut kontrolü yapılmıştır.

5.4. EŞDEĞER DUVAR YÖNTEMİ İLE SAYISAL HESAP

Şekil 5.3'de verilen duvar, pencere ve kapı uzunlukları yerine bu değerlerin yaklaşık değerleri kullanılarak bu hesap yöntemi uygulanmıştır. Çünkü bu yöntemde, net duvar uzunluğu hesaplanmak yerine, duvar uzunlukları yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Yaklaşık tüm pencere ve kapı boyutları Çizelge 5.4'de verilmiştir. Bölüm 4'de bahsedilen 1998 yönetmeliği [31] referans alınarak ilgili doğrultuda net duvar uzunluğunun kat alanına oranı ($n_{1998,x}$), büyük uzunluğa sahip ($B_x=10.2m$), X doğrultusunda $0.25 m/m^2$ alınmıştır. Denklem 4.7 kullanılarak daha küçük uzunluğa sahip Y doğrultusunda ise ($B_y=8m$) bu oran ($n_{1998,y}$), kat uzunluğu ile orantılı $0.20 m/m^2$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4: Pencere, kapı ve duvar boyutları.

Özellik	Değer
Kapı Sayısı (n_k)	6
Pencere Sayısı (n_p)	9
Kapı Uzunluğu (ℓ_k) (m)	1.0
Kapı Yüksekliği (h_k) (m)	2.10
Pencere Uzunluğu (ℓ_p) (m)	0.9
Pencere Yüksekliği (h_p) (m)	1.2
$n_{1998,x}$ (m/m^2)	0.25
$n_{1998,y}$ (m/m^2)	0.20

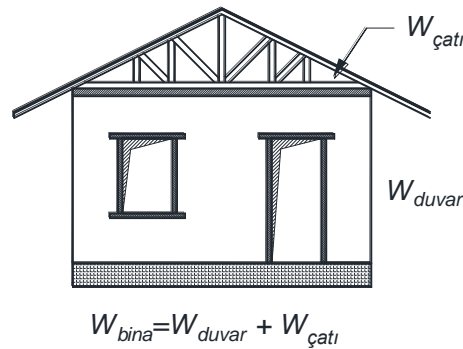
Denklem 4.6 kullanılarak kat alanı (A_{kat}) bulunmuştur. Çizelge 5.4'deki n_{1998} oranları ve Denklem 4.5 kullanılarak ilgili doğrultudaki eşdeğer net duvar uzunlukları bulunmuştur. Açıklık uzunlukları olan kapı ve pencere uzunlukları Denklem 4.8 ile hesaplanmıştır. Buradaki kapı ve pencere sayıları ve kapı ve pencere uzunlukları Çizelge 5.4'den alınabilir. Brüt duvar uzunluğu, eşdeğer duvar uzunlukları ile kapı ve pencere uzunlukları toplanarak Denklem 4.9 ile hesaplanmıştır. Bütün binaya ait uzunluklar Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5: Bina Duvar ve Açıklık Uzunlukları.

A_{kat} (m ²)	81.6
$l_{eş,x}$ (m)	20.4
$l_{eş,y}$ (m)	16.3
$l_{açıklık}$ (m)	14.1
$l_{brüt}$ (m)	50.8

5.4.1. Tek Katlı Kerpiç Bina

Tek katlı kerpiç binanın ağırlığı kat duvar ağırlığı ile çatı ağırlığının toplanması ile elde edilir (Şekil 5.4). Duvar ağırlığı bulunurken hesaplanan kat yüksekliği ve duvar kalınlığı Çizelge 5.3'den alınmıştır. Kerpiğin birim hacim ağırlığı, yine duvar ağırlığının hesabında kullanılmak üzere Çizelge 5.1'den alınmıştır. Çatı betonarme döşemesi ve kil tabakanın yüksekliği, malzemelerin birim hacim ağırlıkları ve çatı kaplama ağırlığı Çizelge 5.3'den alınmıştır. Çatı alanı ($A_{çatı}$) kat alanı ile aynı alınmış olup 81.6 m²'dir. Duvarlar üzerindeki ağırlık Denklem 4.10 ile, çatı ağırlığı ise Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır.



Şekil 5.3: Tek Katlı Kerpiç Binada Düşey Yük Şekli

Tek katlı kerpiç binaya ait düşey yükler ve bina ağırlığı Çizelge 5.6'da verilmiştir. Toplam bina ağırlığı çatı ve duvar yüklerinin toplamı ile elde edilir.

Çizelge 5.6: Tek Katlı Kerpiç Bina Düşey Yükler.

Özellik	Değer
W_{duvar} (kN)	959.4
$W_{\text{çatı}}$ (kN)	571.2
$W_{\text{bina,G+0.3Q}}$ (kN)	1530.6
$N_{\text{Ed,1.4g+1.6q}}$	2142.8

Bulunan bina ağırlığı düşey doğrultudaki aksenal kuvvettir (N_{Ed}). Denklem 4.15'de bulunan λ değeri, narinlik değeri olan $h_{\text{duv.}} / t_{\text{duv.}}$ değerine bağlıdır. Narinlik değeri 7 olarak hesaplanmıştır. Narinlik değeri 6 ile 10 arasında olduğundan, λ değeri 0.8 seçilmiştir [29]. Etkili duvar alanı ($A_{\text{et.}}$) hesabında kullanılan, eşdeğer net duvar uzunlukları Çizelge 5.5'den alınabilir. Denklem 4.15 ile bulunan kapasite normal kuvvet (N_{Rd}), tasarım normal kuvveti olan ve artırılmış yüklerden (1.4G+1.6Q) gelen N_{Ed} ile karşılaştırılır. Bu yüklerde herhangi bir hareketli yük olmadığı için normal kuvvet hesaplarında kullanılmamıştır. Bu değer Çizelge 5.6'dan alınmıştır. Kapasitenin tasarım kuvvetlerinden büyük olması istenir.

Çizelge 5.7'de yapılan kontrol sonucu tek katlı kerpiç binanın düşey yüklerle karşı, bu boyutlarla güvenliğinin sağlandığı görülmüştür.

Çizelge 5.7: Tek Katlı Binada Normal Kuvvet Kapasite Kontrolü (Eşdeğer Duvar Yöntemi).

Özellik	Değer
$h_{\text{duv.}}$ (m)	2.8
$t_{\text{duv.}}$ (m)	0.4
λ	0.8
f_d (N/mm ²)	0.75
$l_{\text{eş,x}}$ (m)	20.4
$l_{\text{eş,y}}$ (m)	16.3
$A_{\text{et.}}$ (m ²)	14.68
N_{Rd} (kN)	8808.0
N_{Ed} (kN)	2142.8
$N_{\text{Ed}} < N_{\text{Rd}}$	Sağlandı.

Binaya gelen yatay kuvvetler olan deprem yüklerinin hesabı öncelikle ilgili doğrultudaki bina periyodu Denklem 4.12 kullanılarak bulunmuştur. Periyod hesabında bulunan ilgili doğrultudaki yatay rijitlik Denklem 4.14 ile bulunmuştur. Rijitlik hesabında kullanılan kayma modülü (G), Çizelge 5.1'den alınmıştır. Tasarım kesme dayanımının hesabı için Denklem 4.18 ve 1.19 kullanılmıştır (Çizelge 5.8)

Çizelge 5.8: Tek katlı Binada Rijitlik ve Periyod Hesabı (Eşdeğer Duvar Yöntemi).

Özellik	Değer
$N_{Ed,1.4g+1.6q}$ (kN)	2142.8
m_T (ton)	156.02
A_{et} (m ²)	14.68
σ_d (N/mm ²)	0.145
f_{vk0} (N/mm ²)	0.20
f_{vd0} (N/mm ²)	0.10
f_{vk} (N/mm ²)	0.26
f_{vd} (N/mm ²)	0.13
G (N/mm ²)	180
K_x (MN/m)	12852
K_y (MN/m)	10269
T_x (s)	0.026
T_y (s)	0.029

Bulunan periyod değeri ile Şekil 5.2'den ilgili doğrultudaki elastik ivme değerleri ($S_{ae}(T)$) bulunmuştur. Elastik ivme değerlerinin deprem yükü azaltma katsayısı (R_a)'na bölünerek azaltılmış ivme değerleri bulunmuştur (Çizelge 5.9). Köşe periyodu olan T_B , bina periyodundan büyük olduğundan R_a hesabında Denklem 4.4 kullanılmıştır. Denklem 4.1 kullanılarak binaya etkiyen tasarım kesme kuvveti hesaplanmıştır. Hesaplanan kesme kuvveti Denklem 4.17'de verilen kapasite kesme kuvvetlerinden küçük olanı ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.9: Tek katlı Binada Kesme Kuvveti Kontrolü (Eşdeğer Duvar Yöntemi).

Özellik	Değer
$S_{ae,x}$ (T) (g)	0.83
$S_{ae,y}$ (T) (g)	0.87
T_B (s)	0.210
D	1.5
R	2.5
I	1

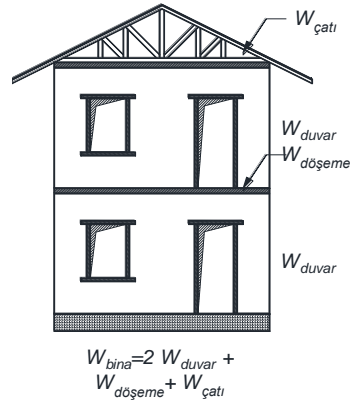
$R_{a,x}$	1.62
$R_{a,y}$	1.64
$S_{aR,x}$ (T) (g)	0.51
$S_{aR,y}$ (T) (g)	0.53
$V_{tE,x}$ (kN)	111.6
$V_{tE,y}$ (kN)	116.0
$V_{Rd1,x}$ (kN)	1054.2
$V_{Rd2,x}$ (kN)	2030.0
$V_{Rd1,y}$ (kN)	842.3
$V_{Rd2,y}$ (kN)	1747.0
$V_{tE,x} < V_{Rd,x}$	Sağlandı.
$V_{tE,y} < V_{Rd,y}$	Sağlandı.

Tek katlı binanın kapasite kesme kuvvetlerinin minimumu X ve Y doğrultularında sırasıyla 1054.2 kN ve 842.3 kN'dur. Bu değerler, tasarım kesme kuvvetlerinden büyüktür. Tek katlı kerpiç binanın kesme kuvveti kontrolü sağlanmıştır.

5.4.1. İki Katlı Kerpiç Bina

İki katlı kerpiç binada duvar yükleri ve çatı yükü dışında, kat döşeme yükü de bulunur. Döşeme yükü sabit ve hareketli yüklerden oluşur. Bina ağırlığı bu ağırlıkların da eklenmesi ile bulunur (Şekil 5.4). Duvar ağırlığı iki kat adedi olduğu için bina ağırlığında 2 ile çarpılarak hesaba dahil edilir.

Döşeme üzerindeki hareketli yük, kaplama yükü ve beton birim hacim ağırlığı Çizelge 5.3'den alınmıştır. Çatı yükü ve duvar yükü tek katlı bina ile eşit alınmıştır.



Şekil 5.4: İki Katlı Kerpiç Binada Düşey Yük Şekli

Dikkate alınan alana yayılı yükler kat alını ile çarpılmıştır (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10: İki Katlı Kerpiç Bina Düşey Yükler.

Özellik	Değer
W_{duvar} (kN)	959.4
$W_{\text{çatı}}$ (kN)	571.2
$q_{\text{döş.}}$ (kN/m ²)	2.5
A_{kat} (mm ²)	81.6
$Wq_{\text{döş.}}$ (kN)	204.0
$Wg_{\text{döş.}}$ (kN)	244.8
$g_{\text{kap.}}$ (kN/m ²)	1.5
$Wg_{\text{kap.}}$ (kN)	122.4
$N_{\text{Ed,1.4g+1.6q}}$ (kN)	4326.5

Arttırılmış yüklerle bulunan bina ağırlığı tasarım normal kuvveti olan N_{Ed} 'dir. Kapasite normal kuvvet, Denklem 4.15 ile hesaplanmıştır. Duvar, çatı ve döşeme sabit yükleri, zati yükler olarak alınmış ve sadece döşeme hareketli yükü, hareketli yük olarak bina ağırlığın eklenmiştir.

Çizelge 5.11: İki Katlı Kerpiç Bina Normal Kuvvet Kontrolü (Eşdeğer Duvar Yöntemi).

Özellik	Değer
λ	0.8
f_d (N/mm ²)	0.75
$A_{\text{et.}}$ (m ²)	14.68
N_{Rd} (kN)	8808.0
$N_{\text{Ed,1.4g+1.6q}}$ (kN)	4326.5
$N_{\text{Ed}} < N_{\text{Rd}}$	Sağlandı.

İki katlı binam yatay rijitliği, tek katlı bina ile aynı alınmıştır. Çünkü buradaki h_{kat} , $l_{\text{eş,x}}$, $t_{\text{duv.}}$ ve G değerleri değişmemiştir. Denklem 4.12 ile iki katlı bina periyodu, tek katlı bina periyodundan fazla olmasının sebebi bina kütesinin (m_T) daha fazla olmasıdır. İlgili doğrultuda iki katlı binaya ait yatay bina rijitlikleri, bina periyodu, yatay elastik ivmeler, deprem yükü azaltma katsayıları, taban kesme kuvvetleri ve kesme kuvveti kontrolü Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Bina periyodları, spektrum köşe periyodu olan T_B 'den küçük olduğu görülmüştür. Bu sebeple, deprem yükü azaltma katsayıları Denklem 4.4 ile hesap edilmiştir.

Çizelge 5.12: İki katlı Binada Kesme Kuvveti Kontrolü (Eşdeğer Duvar Yöntemi).

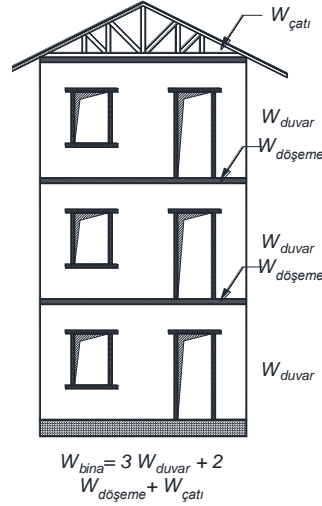
Özellik	Değer
m_T (ton)	441.0
K_x (MN/m)	12852
K_y (MN/m)	10269
T_x (s)	0.037
T_y (s)	0.041
$S_{ae,x}$ (T) (g)	0.98
$S_{ae,y}$ (T) (g)	1.05
$R_{a,x}$	1.67
$R_{a,y}$	1.69
$S_{aR,x}$ (T) (g)	0.58
$S_{aR,y}$ (T) (g)	0.62
$V_{tE,x}$ (kN)	257.9
$V_{tE,y}$ (kN)	273.0
$V_{Rd1,x}$ (kN)	1296.9
$V_{Rd2,x}$ (kN)	2606.5
$V_{Rd1,y}$ (kN)	1036.3
$V_{Rd2,y}$ (kN)	2277.6
$V_{tE,x} < V_{Rd,x}$	Sağlandı.
$V_{tE,y} < V_{Rd,y}$	Sağlandı.

Denklem 4.17 ile hesaplanan kapasite kesme kuvvetlerinin minimumu X ve Y doğrultularında sırasıyla 1296.9 kN ve 1036.3 kN'dur. Bu değerler, tasarım kesme kuvvetinden büyüktür. Bu sebeple iki katlı binanın kesme kuvveti güvenliği, seçilen kerpiç bina boyutları ile sağlanmıştır.

5.4.2. Üç Katlı Kerpiç Bina

Üç katlı kerpiç binada üç adet duvar yükleri ve çatı yükü dışında, 2 tane de kat döşeme yükü bulunur. Döşeme yükü sabit ve hareketli yüklerden oluşur. Bina ağırlığı bu ağırlıkların da eklenmesi ile bulunur (Şekil 5.5). Arttırılmış yükler kullanılarak (1.4G+1.6Q) sabit ve hareketli yükler birleştirilmiştir.

Kerpiç bina tasarım kurallarının bulunduğu 2007 [33] ve 1998 [32] Türk Deprem Yönetmeliklerinde kerpiç binaların en fazla iki katlı yapılmasına izin verilir. Bu tez çalışması kapsamında üç katlı bina için de kontroller denenmiştir.



Şekil 5.5: Üç Katlı Kerpiç Binada Düşey Yük Şekli

Şekil 5.5'deki takip edilerek üç katlı bina için düşey yükler Çizelge 5.13'de verilmiştir. Denklem 4.15 ile kapasite normal kuvvet bulunarak, tasarım normal kuvveti ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.13: Üç Katlı Kerpiç Bina Düşey Yükler (Eşdeğer Duvar Yöntemi).

Özellik	Değer
W_{duvar} (kN)	959.4
$W_{çatı}$ (kN)	571.2
$W_{q_{döş.}}$ (kN)	204.0
$W_{g_{döş.}}$ (kN)	244.8
$W_{g_{kap.}}$ (kN)	122.4
$N_{Ed,1.4g+1.6q}$ (kN)	6183.7
N_{Rd} (kN)	8808.0
$N_{Ed} < N_{Rd}$	Sağlandı.

Üç katlı bina için düşey yük kontrolü sağlansa bile, üç katlı kerpiç bina yapımı, önceki yönetmelikler referans alınarak bu çalışma kapsamında önerilmemiştir. Bunun sebebi, kerpicin dayanımı bir yığma malzeme kadar yükse bir dayanımı olmasına rağmen, su, sıcaklık gibi dış faktörler altında dağılabilmesi ve göçmelere sebebiyet

vermesidir. Kerpiç malzemesi için daha fazla basınç deneyleri yapıp, daha düşük basınç dayanımlarının kullanılması öngörülmüştür. Örnek kerpiç bina için yaklaşık olarak alınan kerpiç basınç dayanımı $f_k=1.5 N/mm^2$, kerpiç için görece olarak küçük büyük bir basınç dayanımı değeridir.

Üç katlı bina için kesme kuvveti kontrolü, bulunan periyod ve ivme değerleri ile beraber tasarım kesme kuvvetinin bulunarak ve Denklem 4.17’de kapasite kesme kuvveti ile karşılaştırılarak yapılmıştır (Çizelge 5.14).

Çizelge 5.14: Üç Katlı Kerpiç Bina Kesme Kuvveti Kontrolü (Eşdeğer Duvar Yöntemi).

Özellik	Değer
m_T (ton)	630.3
T_x (s)	0.044
T_y (s)	0.049
$S_{aR,x}$ (T) (g)	0.63
$S_{aR,y}$ (T) (g)	0.62
$V_{tE,x}$ (kN)	394.9
$V_{tE,y}$ (kN)	389.2
$V_{Rd1,x}$ (kN)	1503.4
$V_{Rd2,x}$ (kN)	3011.1
$V_{Rd1,y}$ (kN)	1201.3
$V_{Rd2,y}$ (kN)	2646.5
$V_{tE,x} < V_{Rd,x}$	Sağlandı.
$V_{tE,y} < V_{Rd,y}$	Sağlandı.

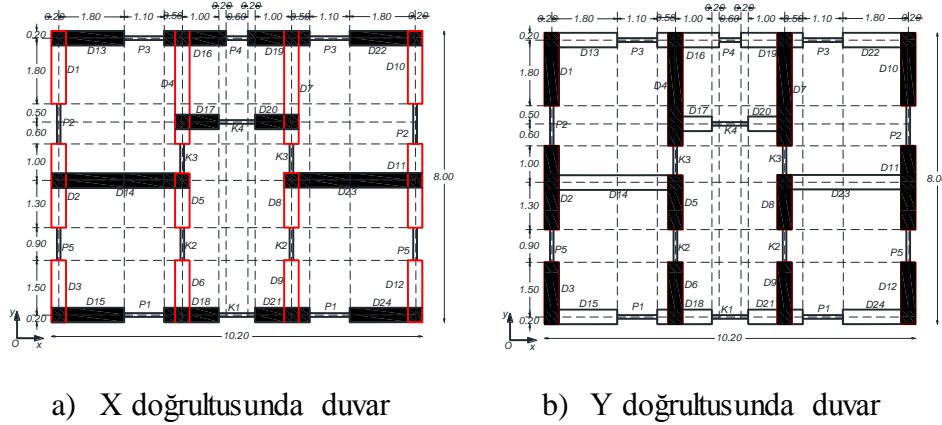
Kapasite kesme kuvvetlerinin en küçükleri ile tasarım kesme kuvvetleri arasındaki fark fazladır. Eşdeğer duvar uzunluğu ile yapılan hesabın, kesme için çok güvenli olduğu görülmüştür.

5.5. DUVAR RİJİTLİKLERİ İLE HESAP

İlk yöntemden farklı olarak bu hesap yönteminde, bütün duvarların rijitlikleri ayrı ayrı bulunarak kesme hesabında kullanılmıştır. Bina planı, Bölüm 5.4’deki ile aynı kullanılmıştır (Şekil 5.3). Aynı bölge ve zemin sınıfı seçilmiş ve Şekil 5.2’deki deprem spektrumu dikkate alınmıştır.

Şekil 5.3’de duvarların her iki doğrultuda da kat planının en dışına kadar devam ettiği kabul edilmiştir. İki duvarın kesişim bölgelerinin etkisi ihmal edilmiştir. Duvar rijitlikleri hesaplarırken kullanılan boyutlarda buna dikkat edilmiştir. İlk hesaptan farklı olarak her bir kapının ve pencerenin ayrı ayrı uzunlukları hesapta dikkate alınmıştır.

Net duvar boyları hem X hem de Y doğrultusunda ayrı ayrı toplanarak hesaplanmıştır. Pencere ve kapılar, duvar uzunluklarından çıkartılarak net duvar uzunlukları bulunmuştur.



Şekil 5.6: Bina Planı Üzerinde Duvar Uzunlukları

Binaya ait ilgili doğrultuda toplam net duvar uzunluğu Çizelge 5.15’de verilmiştir.

Çizelge 5.15: Toplam Net Duvar Uzunlukları.

Özellik	Değer
X doğrultusunda toplam net duvar uzunluğu (L_x) (m)	24.4
Y doğrultusunda toplam net duvar uzunluğu (L_y) (m)	24.6

Kerpiç binanın kontrolü hem normal kuvvetler hem de kesme kuvvetleri için yapılmıştır. Binanın ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi arasında fark var ise, aradaki mesafe ile duvarlarda oluşan kesme kuvvetlerinin çarpımı kadar burulma momenti oluşur. Hesap için binanın rijitlik merkezi koordinatları Denklem 4.23 ile hesaplanmıştır. Y doğrultusundaki duvarların rijitlik hesabı Çizelge 5.16’de verilmiştir.

Çizelge 5.16: Y Doğrultusu Duvar Rijitlikleri.

Duvar	Doğrultu	x (m)	y (m)	L _a (m)	L _k (m)	A (m ²)	I (m ⁴)	k _y (kN/m)
1	Y	0.20	7.00	2.00	0.40	0.80	0.27	41668
2	Y	0.20	3.75	2.30	0.40	0.92	0.41	52040
3	Y	0.20	0.85	1.70	0.40	0.68	0.16	31489
4	Y	3.60	4.90	3.10	0.40	1.24	0.99	79698
5	Y	3.60	3.35	1.50	0.40	0.60	0.11	24948
6	Y	3.60	0.85	1.70	0.40	0.68	0.16	31489
7	Y	6.60	6.45	3.10	0.40	1.24	0.99	79698
8	Y	6.60	3.35	1.50	0.40	0.60	0.11	24948
9	Y	6.60	0.85	1.70	0.40	0.68	0.16	31489
10	Y	10.00	7.00	2.00	0.40	0.80	0.27	41668
11	Y	10.00	3.90	2.30	0.40	0.92	0.41	52040
12	Y	10.00	0.85	1.70	0.40	0.68	0.16	31489

X doğrultusundaki duvarların rijitlik hesabı Çizelge 5.17’de verilmiştir.

Çizelge 5.17: X Doğrultusu Duvar Rijitlikleri.

Duvar	Doğrultu	x (m)	y (m)	L _a (m)	L _k (m)	A (m ²)	I (m ⁴)	k _x (kN/m)
13	X	1.00	7.80	2.00	0.40	0.80	0.27	41668
14	X	1.90	3.90	3.80	0.40	1.52	1.83	103468
15	X	1.00	0.20	2.00	0.40	0.80	0.27	41668
16	X	3.95	7.80	1.70	0.40	0.68	0.16	31489
17	X	4.00	5.50	1.20	0.40	0.48	0.06	15849
18	X	3.85	0.20	1.50	0.40	0.60	0.11	24948
19	X	6.25	7.80	1.70	0.40	0.68	0.16	31489
20	X	6.20	5.50	1.20	0.40	0.48	0.06	15849
21	X	6.35	0.20	1.50	0.40	0.60	0.11	24948
22	X	9.20	7.80	2.00	0.40	0.80	0.27	41668
23	X	8.50	3.90	3.80	0.40	1.52	1.83	103468
24	X	9.20	0.20	2.00	0.40	0.80	0.27	41668

Seçilen koordinat sistemine göre duvar koordinatları ve duvar rijitlikleri ile Denklem 4.23 kullanılarak bina rijitlik merkezi koordinatları Çizelge 5.18’da verilmiştir.

Çizelge 5.18: Rijitlik Merkezi Koordinatları.

Özellik	Değer
X Doğrultusunda Kat Uzunluğu (B_x) (m)	10.20
Y Doğrultusunda Kat Uzunluğu (B_y) (m)	8.00
X Doğrultusunda Ağırlık Merkezi Koordinatı (x_G) (m)	5.10
Y Doğrultusunda Ağırlık Merkezi Koordinatı (y_G) (m)	4.00
X Doğrultusunda Rijitlik Merkezi Koordinatı (x_R) (m)	5.10
Y Doğrultusunda Rijitlik Merkezi Koordinatı (y_R) (m)	4.15

X doğrultusunda, rijitlik merkezi ile ağırlık merkezi arasında bir fark yok iken, Y doğrultusunda 0.15m kadar bir fark vardır. TBDY 2018'e göre eşdeğer deprem yükü hesabında minimum dışmerkezlilik 0.05 olarak belirtilmiştir [29]. Yapılan hesaplamada minimum değer göz önüne alınmamış, hesaplanan değer üzerinden işlemler yapılmıştır. Bu sebeple, Y doğrultusunda burulma momenti de oluşur. Burulma momentinin kesme kuvvetine katkısı, burulma momentinin burulma rijitliğine (J) bölünmesi ile elde edilir. Burulma rijitliği (J), Denklem 4.24 ile hesaplanır. Y doğrultusundaki duvarların burulma rijitliğine katkısı Çizelge 5.19'de verilmiştir. \bar{x} ve \bar{y} ifadeleri, rijitlik merkezi koordinatları (x_R ve y_R) ile duvarların koordinatları (x ve y) arasındaki farktır.

Çizelge 5.19: Y Doğrultusu Duvarların Burulma Rijitliği Katkısı.

Duvar	Doğrultu	x_k (kN)	y_k (kN)	\bar{x} (m)	\bar{y} (m)	$\bar{x}^2 k_y$ (kNm)
1	Y	8334	0	-4.90	2.83	1000452
2	Y	10408	0	-4.90	-0.42	1249492
3	Y	6298	0	-4.90	-3.32	756059
4	Y	286913	0	-1.50	0.73	179320
5	Y	89814	0	-1.50	-0.82	56133
6	Y	113362	0	-1.50	-3.32	70851
7	Y	526006	0	1.50	2.28	179320
8	Y	164658	0	1.50	-0.82	56133
9	Y	207830	0	1.50	-3.32	70851
10	Y	416681	0	4.90	2.83	1000452
11	Y	520405	0	4.90	-0.27	1249492
12	Y	314893	0	4.90	-3.32	756059

X doğrultusundaki duvarların burulma rijitliğine katkısı Çizelge 5.20’de verilmiştir.

Çizelge 5.20: X Doğrultusu Duvarların Burulma Rijitliği Katkısı.

Duvar	Doğrultu	xk_y (kN)	yk_x (kN)	\bar{x} (m)	\bar{y} (m)	\bar{y}^2k_x (kNm)
13	X	0	325011.4	-4.10	3.63	549387
14	X	0	403526.4	-3.20	-0.27	7482
15	X	0	8333.626	-4.10	-3.97	656366
16	X	0	245616.9	-1.15	3.63	415182
17	X	0	87168.43	-1.10	1.33	28081
18	X	0	4989.64	-1.25	-3.97	392990
19	X	0	245616.9	1.15	3.63	415182
20	X	0	87168.43	1.10	1.33	28081
21	X	0	4989.64	1.25	-3.97	392990
22	X	0	325011.4	4.10	3.63	549387
23	X	0	403526.4	3.40	-0.27	7482
24	X	0	8333.626	4.10	-3.97	656366

Denklem 4.24 kullanılarak toplam burulma rijitliği (J), 10723358 kNm olarak hesaplanmıştır.

5.5.1. Tek Katlı Kerpiç Binada Hesap

Tek katlı kerpiç binanın üzerindeki düşey yükler Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Bina üzerindeki artırılmış yüklerle (1.4G+1.6Q) hesaplanan normal kuvvet $N_{Ed,1.4g+1.6q} = 2142.8$ kN idi. Tasarım normal kuvveti ile kapasite normal kuvvetin karşılaştırılması Çizelge 5.21’de verilmiştir. Tek katlı binada döşeme olmadığından hareketli normal kuvvet hesabında dikkate alınmamıştır. Etkin alan ($A_{et.}$) hesabında Çizelge 5.13’deki toplam net duvar uzunlukları kullanılmıştır. Tek katlı kerpiç bina için kapasite normal kuvveti, tasarım normal kuvvetinin üstündedir.

Çizelge 5.21: Tek Katlı Kerpiç Bina Normal Kuvvet Kontrolü (Duvar Rijitliği ile Hesap).

Özellik	Değer
W_{duvar} (kN)	959.4
$W_{çatı}$ (kN)	571.2
$N_{Ed,1.4g+1.6q}$ (kN)	2142.8

λ	0.8
f_d (N/mm ²)	0.75
A_{et} (m ²)	19.6
N_{Rd} (kN)	11760.0
$N_{Ed} < N_{Rd}$	Sağlandı.

Kesme kuvveti kontrolü için, bir önceki hesap yöntemine benzer olarak rijitlikler hesaplanmış, rijitlikler ile periyod bulunmuş, bulunan periyod değeri ile de deprem etkisinden gelen kesme kuvveti hesaplanmıştır (Çizelge 5.22). Rijitlik hesabında, Çizelge 5.13’de bulunan toplam duvar net uzunlukları kullanılmıştır ve Denklem 4.14 dikkate alınmıştır.

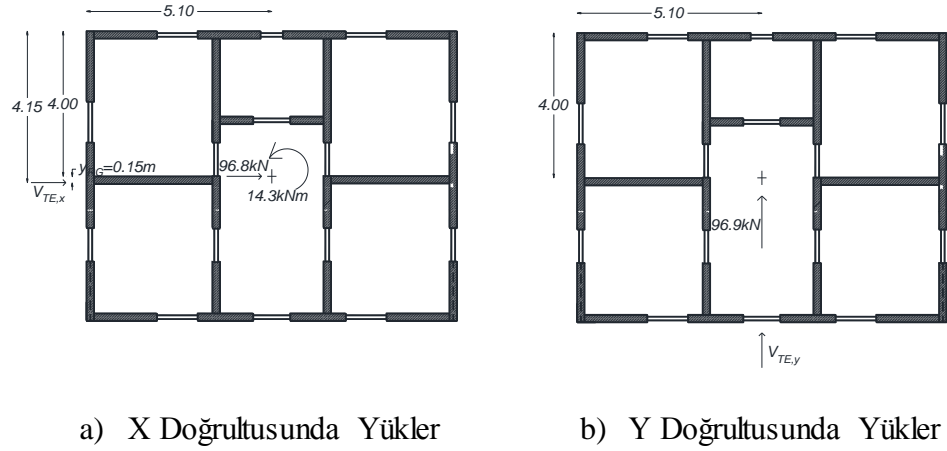
Çizelge 5.22: Tek Katlı Kerpiç Binada Kesme Kuvveti (Duvar Rijitliği ile Hesap).

Özellik	Değer
K_x (MN/m)	15372
K_y (MN/m)	15498
T_x (s)	0.0236
T_y (s)	0.0235
$S_{ae,x}$ (T) (g)	0.79
$S_{ae,y}$ (T) (g)	0.79
$R_{a,x}$	1.78
$R_{a,y}$	1.78
$S_{aR,x}$ (T) (g)	0.44
$S_{aR,y}$ (T) (g)	0.44
$V_{tE,x}$ (kN)	96.83
$V_{tE,y}$ (kN)	96.90

Eğer kirişin ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi arasında fark var ise burulma momenti oluşur. İlgili doğrultuda burulma momenti Denklem 4.25 ile hesaplanır.

$$M_{b,x} = V_{tE,x} (y_R - y_G) \quad (4.24)$$

X doğrultusunda rijitlik ve ağırlık merkezi arasında bir koordinat farkı olmadığından bir burulma momenti oluşmamıştır. Fakat Y doğrultusunda oluşan 0.15m’lik koordinat farkı (Çizelge 5.16), E_x yönündeki depremden dolayı oluşan taban kesme kuvveti ($V_{tE,x}$) ile çarpılarak binaya etkiyen burulma momenti 14.3 kNm hesaplanır.



Şekil 5.7: Tek Katlı Binada Burulma Momenti ve Kesme Kuvveti

Kesme kuvvetinin kendisinden ve burulma momenti etkisinden bulunan tasarım kesme etkisi, her bir duvara rijitliği oranında dağıtılmıştır. Bulunan kesme kuvvetleri duvar alanına bölünerek, duvarlar üzerindeki kayma gerilmeleri hesaplanmıştır. Denklem 4.17a ve 4.17b’de verilen kapasite kesme kuvvetleri yerine, kapasite gerilmeler bulunmuştur. Bunun için Denklem 4.17b’de bulunan kapasite kesme kuvveti, ilgili doğrultuda duvar uzunluğu (L_x) ve duvar kalınlığına (t_{duv}) bölünerek, kapasite kayma gerilmesinin ilki bulunmuştur. Denklem 4.18’de bulunan diğer kapasite kayma gerilmesi ile karşılaştırıldığında küçük olanı kapasite kayma gerilmesidir. Tasarım kesme kuvveti Denklem 4.25a ve 4.25b ile hesaplanmıştır.

$$V_{xi} = \frac{k_{xi}}{\sum_i k_{xi}} V_{iE,x} + \frac{M_{b,x}}{J} k_{xi} \bar{y}_i \quad (4.25a)$$

$$V_{yi} = \frac{k_{yi}}{\sum_i k_{yi}} V_{iE,y} + \frac{M_{b,y}}{J} k_{yi} \bar{x}_i \quad (4.25b)$$

Çizelge 5.23’de Y doğrultusunda duvarlar üzerindeki kayma gerilmeleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.23: Tek Katlı Bina Y doğ. Duvar Kayma Gerilmeleri.

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	Ey Yönü	Gerilme
-------	----------	---------------------	---------	---------

			V _y (Öteleme) (kN)	V _y (Burulma) (kN)	τ _y (N/mm ²)
1	Y	0.80	7.73	0	0.0097
2	Y	0.92	9.65	0	0.0105
3	Y	0.68	5.84	0	0.0086
4	Y	1.24	14.78	0	0.0119
5	Y	0.60	4.63	0	0.0077
6	Y	0.68	5.84	0	0.0086
7	Y	1.24	14.78	0	0.0119
8	Y	0.60	4.63	0	0.0077
9	Y	0.68	5.84	0	0.0086
10	Y	0.80	7.73	0	0.0097
11	Y	0.92	9.65	0	0.0105
12	Y	0.68	5.84	0	0.0086

Çizelge 5.24’de X doğrultusunda duvarlar üzerindeki kayma gerilmeleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.24: Tek Katlı Bina X doğ. Duvar Kayma Gerilmeleri.

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	Ex Yönü		Gerilme τ _x (N/mm ²)
			V _x (Öteleme) (kN)	V _x (Burulma) (kN)	
13	X	0.80	7.79	-0.23	0.0094
14	X	1.52	19.34	-0.44	0.0124
15	X	0.80	7.79	-0.23	0.0094
16	X	0.68	5.88	-0.05	0.0086
17	X	0.48	2.96	-0.02	0.0061
18	X	0.60	4.66	-0.04	0.0077
19	X	0.68	5.88	0.05	0.0087
20	X	0.48	2.96	0.02	0.0062
21	X	0.60	4.66	0.04	0.0078
22	X	0.80	7.79	0.23	0.0100
23	X	1.52	19.34	0.47	0.0130
24	X	0.80	7.79	0.23	0.0100

En büyük kayma gerilmeleri, kapasite kayma gerilmeleri ile Çizelge 5.25’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.25: Tek Katlı Bina Kayma Gerilmesi Kontrolü.

Özellik	Değer
---------	-------

f_{vk0} (N/mm ²)	0.2
σ_d (N/mm ²)	0.11
f_{vk} (N/mm ²)	0.244
$f_{vd,1}$ (N/mm ²)	0.121
$f_{vdx,2}$ (N/mm ²)	0.235
$f_{vdy,2}$ (N/mm ²)	0.235
$\tau_{x,maks.}$ (N/mm ²)	0.0130
$\tau_{y,maks.}$ (N/mm ²)	0.0119
$f_{vd,1} > \tau_{x,maks.}$	Sağlandı.
$f_{vd,1} > \tau_{y,maks.}$	Sağlandı.

Tek katlı kerpiç bina için kesme güvenliği sağlanmıştır.

5.5.1. İki Katlı Kerpiç Binada Hesap

İki katlı kerpiç binadaki düşey yük şekli Şekil 5.5’de verilmiştir. Üzerindeki çatı, duvar ve döşeme yükleri Çizelge 5.26’da verilmiştir. Etkin duvar alanı hesabında, Çizelge 5.15’deki duvar uzunlukları kullanılmıştır.

Çizelge 5.26: İki Katlı Binada Normal Kuvvet Kontrolü (Duvar Rijitliği İle Hesap).

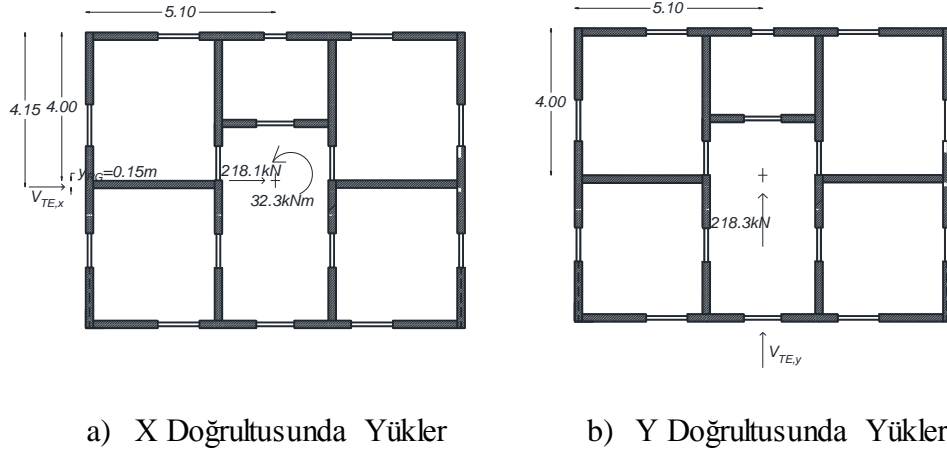
Özellik	Değer
W_{duvar} (kN)	959.4
$W_{çatı}$ (kN)	571.2
$W_{qdöş.}$ (kN)	204.0
$W_{gdöş.}$ (kN)	244.8
$W_{gkap.}$ (kN)	122.4
$N_{Ed,1.4g+1.6q}$ (kN)	4326.5
λ	0.8
f_d (N/mm ²)	0.75
$A_{et.}$ (m ²)	19.6
N_{Rd} (kN)	11760.0
$N_{Ed} < N_{Rd}$	Sağlandı.

Kesme kuvveti kontrolü için, bir önceki hesap yöntemine benzer olarak rijitlikler hesaplanmış, rijitlikler ile periyod bulunmuş, bulunan periyod değeri ile de deprem etkisinden gelen kesme kuvveti hesaplanmıştır (Çizelge 5.27). Rijitlik hesabında, Çizelge 5.15’de bulunan toplam duvar net uzunlukları kullanılmıştır ve Denklem 4.14 dikkate alınmıştır.

Çizelge 5.27: İki Katlı Binada Kesme Kuvveti (Duvar Rijitliği İle Hesap).

Özellik	Değer
K_x (MN/m)	15372
K_y (MN/m)	15498
T_x (s)	0.0336
T_y (s)	0.0335
$S_{ae,x}$ (T) (g)	0.94
$S_{ae,y}$ (T) (g)	0.94
$R_{a,x}$	1.90
$R_{a,y}$	1.89
$S_{aR,x}$ (T) (g)	0.49
$S_{aR,y}$ (T) (g)	0.49
$V_{tE,x}$ (kN)	218.1
$V_{tE,y}$ (kN)	218.3

Y doğrultusunda oluşan 0.15m'lik koordinat farkı (Çizelge 5.18), E_x yönündeki depremden dolayı oluşan taban kesme kuvveti ($V_{tE,x}$) ile çarpılarak binaya etkiyen burulma momenti 32.3 kNm hesaplanır.



Şekil 5.8: İki Katlı Binada Burulma Momenti ve Kesme Kuvveti.

Kesme kuvvetinin kendisinden ve burulma momenti etkisinden bulunan tasarım kesme etkisi, her bir duvara rijitliği oranında dağıtılmıştır. Bulunan kesme kuvvetleri duvar alanına bölünerek, duvarlar üzerindeki kayma gerilmeleri hesaplanmıştır. Denklem 4.17a ve 4.17b'de verilen kapasite kesme kuvvetleri yerine, kapasite gerilmeler bulunmuştur. Bunun için Denklem 4.17b'de bulunan kapasite kesme kuvveti, ilgili doğrultuda duvar uzunluğu (L_x) ve duvar kalınlığına ($t_{div.}$) bölünerek, kapasite kayma gerilmesinin ilki bulunmuştur

Çizelge 5.28'da Y doğrultusunda duvarlar üzerindeki kayma gerilmeleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.28: Y Doğrultusunda Duvar Kayma Gerilmeleri (İki Katlı Bina).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	Ey Yönü		Gerilme τ_y (N/mm ²)
			Vy (Öteleme) (kN)	Vy (Burulma) (kN)	
1	Y	0.80	17.40	0	0.0218
2	Y	0.92	21.74	0	0.0236
3	Y	0.68	13.15	0	0.0193
4	Y	1.24	33.29	0	0.0268
5	Y	0.60	10.42	0	0.0174
6	Y	0.68	13.15	0	0.0193
7	Y	1.24	33.29	0	0.0268
8	Y	0.60	10.42	0	0.0174
9	Y	0.68	13.15	0	0.0193
10	Y	0.80	17.40	0	0.0218
11	Y	0.92	21.74	0	0.0236
12	Y	0.68	13.15	0	0.0193

Çizelge 5.29'de X doğrultusunda duvarlar üzerindeki kayma gerilmeleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.29: X Doğrultusunda Duvar Kayma Gerilmeleri (İki Katlı Bina).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	Ex Yönü		Gerilme τ_x (N/mm ²)
			Vx (Öteleme) (kN)	Vx (Burulma) (kN)	
13	X	0.80	17.54	-0.51	0.0213
14	X	1.52	43.55	-1.00	0.0280
15	X	0.80	17.54	-0.51	0.0213
16	X	0.68	13.25	-0.11	0.0193
17	X	0.48	6.67	-0.05	0.0138
18	X	0.60	10.50	-0.09	0.0173
19	X	0.68	13.25	0.11	0.0197
20	X	0.48	6.67	0.05	0.0140
21	X	0.60	10.50	0.09	0.0177
22	X	0.80	17.54	0.51	0.0226
23	X	1.52	43.55	1.06	0.0293
24	X	0.80	17.54	0.51	0.0226

En büyük kayma gerilmeleri, kapasite kayma gerilmeleri ile Çizelge 5.30'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.30: İki Katlı Bina Kayma Gerilmesi Kontrolü

Özellik	Değer
f_{vk0} (N/mm ²)	0.20
σ_d (N/mm ²)	0.22
f_{vk} (N/mm ²)	0.288
$f_{vd,1}$ (N/mm ²)	0.144
$f_{vdx,2}$ (N/mm ²)	0.298
$f_{vdy,2}$ (N/mm ²)	0.298
$\tau_{x,maks.}$ (N/mm ²)	0.0293
$\tau_{y,maks.}$ (N/mm ²)	0.0268
$f_{vd,1} > \tau_{x,maks.}$	Sağlandı.
$f_{vd,1} > \tau_{y,maks.}$	Sağlandı.

İki katlı kerpiç binanın kesme güvenliği sağlanmıştır.

5.5.1. Üç Katlı Kerpiç Binada Hesap

Üç katlı kerpiç binadaki düşey yük şekli Şekil 5.6'da verilmiştir. Üzerindeki çatı, duvar ve döşeme yükleri Çizelge 5.31'de verilmiştir. Etkin duvar alanı hesabında, Çizelge 5.15'deki duvar uzunlukları kullanılmıştır.

Çizelge 5.31: Üç Katlı Bina Kayma Gerilmesi Kontrolü

Özellik	Değer
W_{duvar} (kN)	959.4
$W_{çatı}$ (kN)	571.2
$W_{qdöş.}$ (kN)	204.0
$W_{gdöş.}$ (kN)	244.8
$W_{gkap.}$ (kN)	122.4
$N_{Ed,1.4g+1.6q}$ (kN)	6183.7
N_{Rd} (kN)	11760
$N_{Ed} < N_{Rd}$	Sağlandı.

Üç katlı binanın yapılması önceki deprem yöntemlikleri olan 1998 [23] ve 2007 [24]'ye göre izin verilmez. Bu hesapta deneme amacıyla yapılmış ve normsl kuvvet kapasitesinin sağladığı görülmüştür. Buna rağmen üç katlı kerpiç binanın yapımı önerilmemektedir. Hesapta dikkate alınan tasarım basınç dayanımı f_d için daha

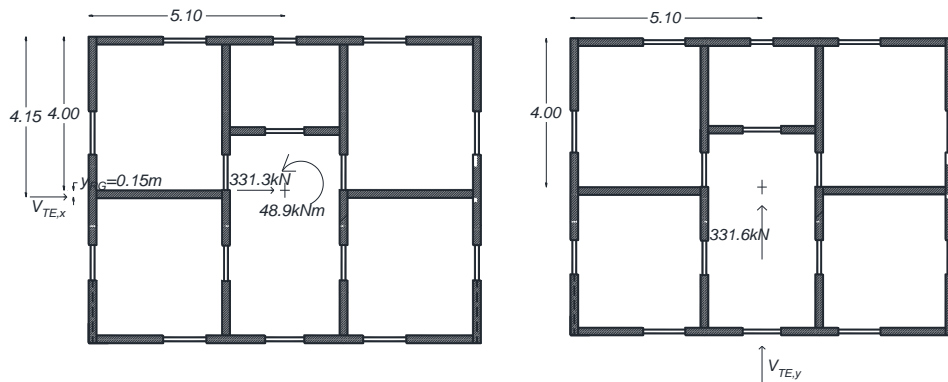
düşük değerler alınmalıdır. Burada seçilen dayanım değeri sınırlı çalışma sonucu alındığı bu kadar yüksek alınmıştır.

Kesme kuvveti kontrolü için, bir önceki hesap yöntemine benzer olarak rijitlikler hesaplanmış, rijitlikler ile periyod bulunmuş, bulunan periyod değeri ile de deprem etkisinden gelen kesme kuvveti hesaplanmıştır (Çizelge 5.32). Rijitlik hesabında, Çizelge 5.15’de bulunan toplam duvar net uzunlukları kullanılmıştır ve Denklem 4.14 dikkate alınmıştır.

Çizelge 5.32: Üç Katlı Binada Kesme Kuvveti (Duvar Rijitliği İle Hesap).

Özellik	Değer
K_x (MN/m)	15372
K_y (MN/m)	15498
T_x (s)	0.0402
T_y (s)	0.0400
$S_{ae,x}$ (T) (g)	1.04
$S_{ae,y}$ (T) (g)	1.04
$R_{a,x}$	1.98
$R_{a,y}$	1.97
$S_{aR,x}$ (T) (g)	0.52
$S_{aR,y}$ (T) (g)	0.52
$V_{tE,x}$ (kN)	331.3
$V_{tE,y}$ (kN)	331.6

Y doğrultusunda oluşan 0.15m’lik koordinat farkı (Çizelge 5.18), E_x yönündeki depremden dolayı oluşan taban kesme kuvveti ($V_{tE,x}$) ile çarpılarak binaya etkiyen burulma momenti 48.9 kNm hesaplanır.



a) X Doğrultusunda Yükler

b) Y Doğrultusunda Yükler

Şekil 5.9: Üç Katlı Binada Burulma Momenti ve Kesme Kuvveti

Kesme kuvvetinin kendisinden ve burulma momenti etkisinden bulunan tasarım kesme etkisi, her bir duvara rijitliği oranında dağıtılmıştır. Bulunan kesme kuvvetleri duvar alanına bölünerek, duvarlar üzerindeki kayma gerilmeleri hesaplanmıştır. Denklem 4.17a ve 4.17b’de verilen kapasite kesme kuvvetleri yerine, kapasite gerilmeler bulunmuştur. Bunun için Denklem 4.17b’de bulunan kapasite kesme kuvveti, ilgili doğrultuda duvar uzunluğu (L_x) ve duvar kalınlığına (t_{duv}) bölünerek, kapasite kayma gerilmesinin ilki bulunmuştur.

Çizelge 5.33’de Y doğrultusunda duvarlar üzerindeki kayma gerilmeleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.33: Y Doğrultusunda Duvar Kayma Gerilmeleri (Üç Katlı Bina).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	Ey Yönü		Gerilme
			V _y (Öteleme) (kN)	V _y (Burulma) (kN)	τ_y (N/mm ²)
1	Y	0.80	26.43	0	0.0330
2	Y	0.92	33.02	0	0.0359
3	Y	0.68	19.98	0	0.0294
4	Y	1.24	50.56	0	0.0408
5	Y	0.60	15.83	0	0.0264
6	Y	0.68	19.98	0	0.0294
7	Y	1.24	50.56	0	0.0408
8	Y	0.60	15.83	0	0.0264
9	Y	0.68	19.98	0	0.0294
10	Y	0.80	26.43	0	0.0330
11	Y	0.92	33.02	0	0.0359
12	Y	0.68	19.98	0	0.0294

Çizelge 5.34’de X doğrultusunda duvarlar üzerindeki kayma gerilmeleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.34: X Doğrultusunda Duvar Kayma Gerilmeleri (Üç Katlı Bina).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	Ex Yönü	Gerilme
-------	----------	---------------------	---------	---------

			Vx (Öteleme) (kN)	Vx (Burulma) (kN)	τ_x (N/mm ²)
13	X	0.80	26.64	-0.78	0.0323
14	X	1.52	66.14	-1.51	0.0425
15	X	0.80	26.64	-0.78	0.0323
16	X	0.68	20.13	-0.17	0.0294
17	X	0.48	10.13	-0.08	0.0209
18	X	0.60	15.95	-0.14	0.0263
19	X	0.68	20.13	0.17	0.0298
20	X	0.48	10.13	0.08	0.0213
21	X	0.60	15.95	0.14	0.0268
22	X	0.80	26.64	0.78	0.0343
23	X	1.52	66.14	1.61	0.0446
24	X	0.80	26.64	0.78	0.0343

En büyük kayma gerilmeleri, kapasite kayma gerilmeleri ile Çizelge 5.35’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.35: Üç Katlı Bina Kayma Gerilmesi Kontrolü

Özellik	Değer
f_{vk0} (N/mm ²)	0.20
σ_d (N/mm ²)	0.32
f_{vk} (N/mm ²)	0.326
$f_{vd,1}$ (N/mm ²)	0.163
$f_{vdx,2}$ (N/mm ²)	0.343
$f_{vdy,2}$ (N/mm ²)	0.342
$\tau_{x,maks.}$ (N/mm ²)	0.0446
$\tau_{y,maks.}$ (N/mm ²)	0.0408
$f_{vd,1} > \tau_{x,maks.}$	Sağlandı.
$f_{vd,1} > \tau_{y,maks.}$	Sağlandı.

Üç katlı kerpiç binada kesme kuvveti kontrolü sağlanmıştır. Buna rağmen, üç katlı kerpiç bina yapımı bu tez kapsamında önerilmemiştir. Seçilen malzeme dayanımlarının çok daha düşük olması gerektiği düşünülmüştür.

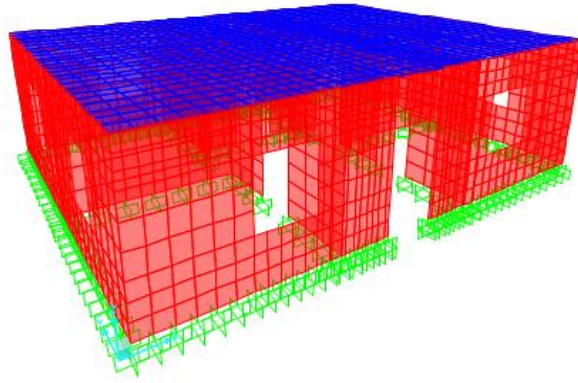
5.6. SONLU ELEMAN PROGRAMI İLE HESAP

SAP2000 [32] programında “kabuk” elemanlar kullanılarak kat adedi, bir, iki ve üç olan kerpiç bina modelleri kurulmuştur. Bina üzerindeki döşeme, çatı ve duvar yükleri modele girilmiştir. Kerpiç malzemesinin basınç dayanımı, kayma dayanımı,

elastisite modülü ve kayma gibi parametreleri de modele tanımlanmıştır. Ayrıca çatı üzerinde bulunan kil ve betonarme malzemeleri de modele tanımlanmıştır.

5.6.1. Tek Katlı Kerpiç Binada Hesap

Çizelge 5.1'deki kerpiç malzeme özellikleri, Şekil 5.2'deki deprem spektrumu ve Çizelge 5.3'deki yük ve malzeme özellikleri kullanılarak sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Şekil 5.10).



Şekil 5.10: Tek Katlı Bina Sonlu Eleman Modeli

Sadece duvar ve çatı yükleri bulunduğundan hareketli yükler, bina ağırlığı hesaplanırken dikkate alınmamıştır. Çatı üzerinde bulunan kil tabakanın elastisite modülü (E_{kil}) 20 GPa, beton malzemesi elastisite modülü (E_c) 30 GPa olarak malzeme tanımında dikkate alınmıştır.

Duvarlar üzerindeki yatay gerilmeler ilgili doğrultuda ayrı ayrı, her bir duvar üzerindeki yatay kuvvetin, duvar alanına bölünmesi ile edildi. Bulunan duvar kayma gerilmeleri, kapasite kayma gerilmeleri ile karşılaştırılır. Denklem 4.17b'de bulunan kapasite kesme kuvveti, ilgili doğrultuda duvar uzunluğu (L_x) ve duvar kalınlığına ($t_{duv.}$) bölünerek, kapasite kayma gerilmesinin ilki bulunmuştur. Denklem 4.18'de bulunan diğer kapasite kayma gerilmesi ile karşılaştırıldığında küçük olanı kapasite kayma gerilmesidir.

Y doğrultusundaki duvarlar üzerindeki normal kuvvet ve normal gerilmeler Çizelge 5.36'de verilmiştir.

Çizelge 5.36: Tek Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Normal Kuvvet ve Gerilmeler (Y Doğrultusunda Duvarlar).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	N _{1.4G+1.6Q} (kN)	σ _{1.4G+1.6Q} (N/mm ²)
1	Y	0.80	13.5	0.0169
2	Y	0.92	15.5	0.0168
3	Y	0.68	11.8	0.0174
4	Y	1.24	22.5	0.0181
5	Y	0.60	27.8	0.0463
6	Y	0.68	24.8	0.0365
7	Y	1.24	18.7	0.0151
8	Y	0.60	39	0.0650
9	Y	0.68	16.5	0.0243
10	Y	0.80	13.3	0.0166
11	Y	0.92	12.7	0.0138
12	Y	0.68	1.7	0.0025

X doğrultusundaki duvarlar üzerindeki normal kuvvet ve normal gerilmeler Çizelge 5.37’de verilmiştir.

Yatay ve düşey deprem etkileri TBDY 2018 [29]’e göre birleştirilmiştir. Yatay deprem etkileri hem X hem de Y doğrultusunda dikkate alınarak kombinasyonlar oluşturulmuştur. Düşey deprem etkisi ise düşey normal kuvvet gibi dikkate alınmıştır [29].

Çizelge 5.37: Tek Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Normal Kuvvet ve Gerilmeler (X Doğrultusunda Duvarlar).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	N _{1.4G+1.6Q} (kN)	σ _{1.4G+1.6Q} (N/mm ²)
13	X	0.8	12.6	0.0158
14	X	1.52	11.3	0.0074
15	X	0.8	13.5	0.0169
16	X	0.68	12.2	0.0179
17	X	0.48	10	0.0208
18	X	0.6	14.5	0.0242
19	X	0.68	12.2	0.0179
20	X	0.48	10	0.0208
21	X	0.60	14.00	0.0233
22	X	0.8	12.5	0.0156

23	X	1.52	12.2	0.0080
24	X	0.8	13.3	0.0166

Her bir duvar üzerindeki düşey aksel kuvvetler 1.4G+1.6Q yüklemesinden, yatay deprem kuvvetleri G+Q+E_d yüklemesinden elde edilmiştir. Buradaki E_d yüklemesi, yatay ve düşey deprem etkilerinin birleştirilmesi elde edilir.

Duvarlar üzerindeki normal gerilmeler, aksel kuvvetlerin yatay duvar alanına bölünmesi ile edilir. Bulunan normal gerilmeler Çizelge 5.1'de bulunan tasarım basınç dayanımı olan f_d ile karşılaştırılmıştır.

Her bir doğrultuda bulunan duvarlardan seçilen en büyük normal gerilmeler, kapasite kontrolü için tasarım basınç dayanımı ile karşılaştırılarak yapılmış ve Çizelge 5.38'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.38: Tek Katlı Kerpiç Binada Normal Gerilme Kontrolü (Sonlu Eleman Çözümü).

Özellik	Değer
$\sigma_{\text{mak},1.4G+1.6Q} (X) (N/mm^2)$	0.024
$\sigma_{\text{mak},1.4G+1.6Q} (Y) (N/mm^2)$	0.065
$f_d (N/mm^2)$	0.75
$f_d > \sigma_{\text{mak},1.4G+1.6Q} (X)$	Sağlandı.
$f_d > \sigma_{\text{mak},1.4G+1.6Q} (Y)$	Sağlandı.

Y doğrultusundaki duvarlar üzerindeki kesme kuvveti ve kayama gerilmeleri Çizelge 5.39'de verilmiştir.

Çizelge 5.39: Tek Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Kesme Kuvveti ve Gerilmeler (Y Doğrultusunda Duvarlar).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	V _y (kN)	$\tau_y (N/mm^2)$
1	Y	0.80	2.32	0.003
2	Y	0.92	2.85	0.003
3	Y	0.68	6.75	0.010
4	Y	1.24	1.8	0.001
5	Y	0.60	2.3	0.004

6	Y	0.68	5.7	0.008
7	Y	1.24	1.5	0.001
8	Y	0.60	1.6	0.003
9	Y	0.68	3.3	0.005
10	Y	0.80	11.7	0.015
11	Y	0.92	4.7	0.005
12	Y	0.68	9.2	0.014

X doğrultusundaki duvarlar üzerindeki kesme kuvveti ve kayama gerilmeleri Çizelge 5.40'de verilmiştir.

Çizelge 5.40: Tek Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Kesme Kuvveti ve Gerilmeler (X Doğrultusunda Duvarlar).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	V _x (kN)	τ _x (N/mm ²)
13	X	0.8	4.1	0.00513
14	X	1.52	0.5	0.00033
15	X	0.8	1.25	0.00156
16	X	0.68	8	0.01176
17	X	0.48	0.7	0.00146
18	X	0.6	2.4	0.00400
19	X	0.68	6.7	0.00985
20	X	0.48	0.8	0.00167
21	X	0.60	4	0.00667
22	X	0.8	4.8	0.00600
23	X	1.52	2.8	0.00184
24	X	0.8	2.9	0.00363

İlgili doğrultulardaki en büyük kayma gerilmeleri ile kapasite kayma gerilmeleri ile Çizelge 5.41'da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.41: Tek Katlı Kerpiç Binada Kayma Gerilmesi Kontrolü

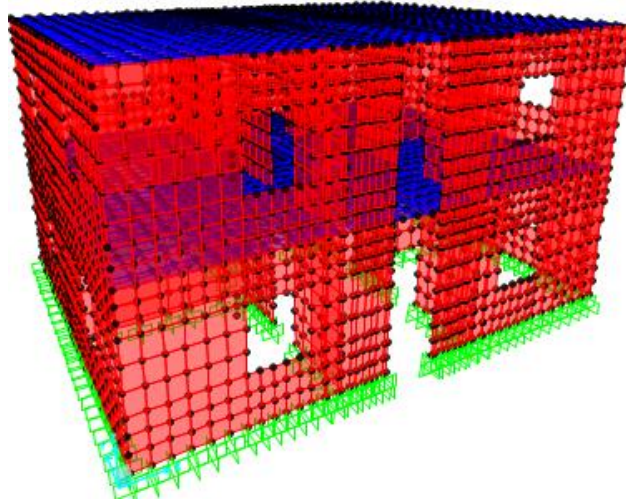
Özellik	Değer
f _{vk0} (N/mm ²)	0.20
σ _d (N/mm ²)	0.11
f _{vk} (N/mm ²)	0.244
f _{vd,1} (N/mm ²)	0.122
f _{vd,x,2} (N/mm ²)	0.235

$f_{vdy,2}$ (N/mm ²)	0.235
$\tau_{x,maks.}$ (N/mm ²)	0.012
$\tau_{y,maks.}$ (N/mm ²)	0.015
$f_{vd,1} > \tau_{x,maks.}$	Sağlandı.
$f_{vd,1} > \tau_{y,maks.}$	Sağlandı.

Kesme ve normal kuvvet etkilerine karşı kerpiç bina kontrolü tek katlı binada sağlanmıştır.

5.6.2. İki Katlı Kerpiç Binada Hesap

Çizelge 5.1'deki kerpiç malzeme özellikleri, Şekil 5.2'deki deprem spektrumu ve Çizelge 5.3'deki yük ve malzeme özellikleri kullanılarak sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Şekil 5.11).



Şekil 5.11: İki Katlı Bina Sonlu Eleman Modeli.

Sadece duvar ve çatı yükleri bulunduğundan hareketli yükler, bina ağırlığı hesaplanırken dikkate alınmamıştır. Çatı üzerinde bulunan kil tabakanın elastisite modülü (E_{kil}) 20 GPa, beton malzemesi elastisite modülü (E_c) 30 GPa olarak malzeme tanımında dikkate alınmıştır.

Duvarlar üzerindeki yatay gerilmeler ilgili doğrultuda ayrı ayrı, her bir duvar üzerindeki yatay kuvvetin, duvar alanına bölünmesi ile edildi. Bulunan duvar kayma gerilmeleri, kapasite kayma gerilmeleri ile karşılaştırılır. Denklem 4.17b'de bulunan kapasite kesme kuvveti, ilgili doğrultuda duvar uzunluğu (L_x) ve duvar kalınlığına ($t_{duv.}$) bölünerek, kapasite kayma gerilmesinin ilki bulunmuştur. Denklem 4.18'de

bulunan diğer kapasite kayma gerilmesi ile karşılaştırıldığında küçük olanı kapasite kayma gerilmesidir.

Y doğrultusundaki duvarlar üzerindeki normal kuvvet ve gerilmeler Çizelge 5.42'de verilmiştir.

Çizelge 5.42: İki Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Normal Kuvvet ve Gerilmeler (Y Doğrultusunda Duvarlar).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	N _{1.4G+1.6Q} (kN)	σ _{1.4G+1.6Q} (N/mm ²)
1	Y	0.80	30.00	0.0375
2	Y	0.92	32.00	0.0348
3	Y	0.68	28.00	0.0412
4	Y	1.24	36.00	0.0290
5	Y	0.60	36.00	0.0600
6	Y	0.68	35.00	0.0515
7	Y	1.24	35.00	0.0282
8	Y	0.60	38.00	0.0633
9	Y	0.68	45.00	0.0662
10	Y	0.80	30.00	0.0375
11	Y	0.92	32.00	0.0348
12	Y	0.68	30.00	0.0441

X doğrultusundaki duvarlar üzerindeki normal kuvvet ve gerilmeler Çizelge 5.42'de verilmiştir.

Her bir duvar üzerindeki düşey aksel kuvvetler 1.4G+1.6Q yüklemesinden, yatay deprem kuvvetleri G+Q+E_d yüklemesinden elde edilmiştir. Buradaki E_d yüklemesi, yatay ve düşey deprem etkilerinin birleştirilmesi elde edilir.

Duvarlar üzerindeki normal gerilmeler, aksel kuvvetlerin yatay duvar alanına bölünmesi ile edilir. Bulunan normal gerilmeler Çizelge 5.1'de bulunan tasarım basınç dayanımı olan f_d ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.43: İki Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Normal Kuvvet ve Gerilmeler (X Doğrultusunda Duvarlar).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	N _{1.4G+1.6Q} (kN)	σ _{1.4G+1.6Q} (N/mm ²)
-------	----------	---------------------	-----------------------------	---

13	X	0.8	32.00	0.0400
14	X	1.52	34.00	0.0224
15	X	0.8	28.00	0.0350
16	X	0.68	40.00	0.0588
17	X	0.48	30.00	0.0625
18	X	0.6	32.00	0.0533
19	X	0.68	45.00	0.0662
20	X	0.48	24.00	0.0500
21	X	0.60	35.00	0.0583
22	X	0.8	32.00	0.0400
23	X	1.52	32.00	0.0211
24	X	0.8	30.00	0.0375

Her bir doğrultuda bulunan duvarlardan seçilen en büyük normal gerilmeler, kapasite kontrolü için tasarım basınç dayanımı ile karşılaştırılarak yapılmış ve Çizelge 5.44’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.44: İki Katlı Kerpiç Binada Normal Gerilme Kontrolü (Sonlu Eleman Çözümü).

Özellik	Değer
$\sigma_{\text{mak},1.4G+1.6Q} (X) (N/mm^2)$	0.0662
$\sigma_{\text{mak},1.4G+1.6Q} (Y) (N/mm^2)$	0.0661
$f_d (N/mm^2)$	0.75
$f_d > \sigma_{\text{mak},1.4G+1.6Q} (X)$	Sağlandı.
$f_d > \sigma_{\text{mak},1.4G+1.6Q} (Y)$	Sağlandı.

Yatay ve düşey deprem etkileri TBDY 2018 [29]’e göre birleştirilmiştir. Yatay deprem etkileri hem X hem de Y doğrultusunda dikkate alınarak kombinasyonlar oluşturulmuştur. Düşey deprem etkisi ise düşey normal kuvvet gibi dikkate alınmıştır [29].

Y doğrultusundaki duvarlar üzerindeki kesme kuvveti ve kayma gerilmeleri Çizelge 5.45’de verilmiştir.

Çizelge 5.45: İki Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Kesme Kuvveti ve Gerilmeler (Y Doğrultusunda Duvarlar).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	V _y (kN)	$\tau_y (N/mm^2)$
-------	----------	---------------------	---------------------	-------------------

1	Y	0.80	9.00	0.011
2	Y	0.92	10.00	0.011
3	Y	0.68	25.00	0.037
4	Y	1.24	5.00	0.004
5	Y	0.60	21.00	0.035
6	Y	0.68	32.00	0.047
7	Y	1.24	7.00	0.006
8	Y	0.60	23.00	0.038
9	Y	0.68	10.00	0.015
10	Y	0.80	24.00	0.030
11	Y	0.92	10.00	0.011
12	Y	0.68	38.00	0.056

X doğrultusundaki duvarlar üzerindeki kesme kuvveti ve kayma gerilmeleri Çizelge 5.46'de verilmiştir.

Çizelge 5.46: İki Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Kesme Kuvveti ve Gerilmeler (X Doğrultusunda Duvarlar).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	V _x (kN)	τ _x (N/mm ²)
13	X	0.8	7.50	0.00938
14	X	1.52	5.00	0.00329
15	X	0.8	4.50	0.00563
16	X	0.68	8.00	0.01176
17	X	0.48	7.50	0.01563
18	X	0.6	7.50	0.01250
19	X	0.68	5.00	0.00735
20	X	0.48	2.50	0.00521
21	X	0.60	9.50	0.01583
22	X	0.8	10.50	0.01313
23	X	1.52	8.50	0.00559
24	X	0.8	9.50	0.01188

İlgili doğrultulardaki en büyük kayma gerilmeleri ile kapasite kayma gerilmeleri ile Çizelge 5.47'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.47: İki Katlı Kerpiç Binada Kayma Gerilmesi Kontrolü.

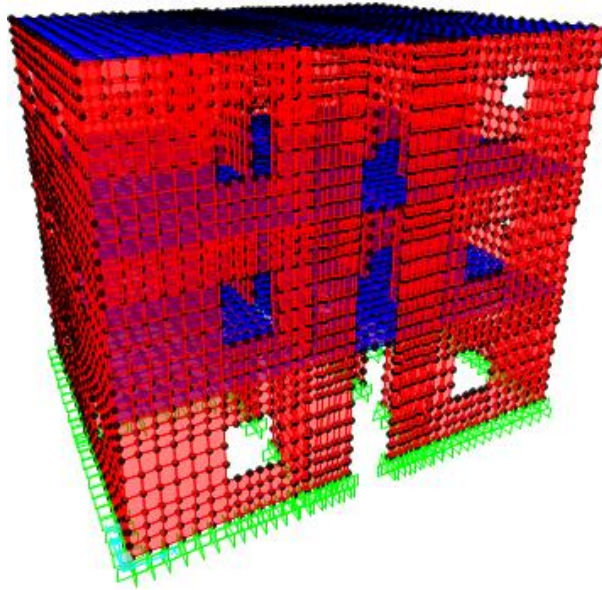
Özellik	Değer
f _{vk0} (N/mm ²)	0.20

σ_d (N/mm ²)	0.22
f_{vk} (N/mm ²)	0.288
$f_{vd,1}$ (N/mm ²)	0.144
$f_{vd,x,2}$ (N/mm ²)	0.298
$f_{vdy,2}$ (N/mm ²)	0.297
$\tau_{x,maks.}$ (N/mm ²)	0.016
$\tau_{y,maks.}$ (N/mm ²)	0.056
$f_{vd,1} > \tau_{x,maks.}$	Sağlandı.
$f_{vd,1} > \tau_{y,maks.}$	Sağlandı.

Kesme ve normal kuvvet etkilerine karşı kerpiç bina kontrolü tek katlı binada sağlanmıştır.

5.6.3. Üç Katlı Kerpiç Binada Hesap

Çizelge 5.1'deki kerpiç malzeme özellikleri, Şekil 5.2'deki deprem spektrumu ve Çizelge 5.3'deki yük ve malzeme özellikleri kullanılarak sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Şekil 5.12).



Şekil 5.12: Üç Katlı Bina Sonlu Eleman Modeli.

Sadece duvar ve çatı yükleri bulunduğundan hareketli yükler, bina ağırlığı hesaplanırken dikkate alınmamıştır. Çatı üzerinde bulunan kil tabakanın elastisite modülü (E_{kil}) 20 GPa, beton malzemesi elastisite modülü (E_c) 30 GPa olarak malzeme tanımında dikkate alınmıştır.

Y doğrultusundaki duvarlar üzerindeki normal kuvvet ve gerilmeler Çizelge 5.48'de verilmiştir.

Çizelge 5.48: Üç Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Normal Kuvvet ve Gerilmeler (Y Doğrultusunda Duvarlar).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	N _{1.4G+1.6Q} (kN)	σ _{1.4G+1.6Q} (N/mm ²)
1	Y	0.80	47.50	0.0594
2	Y	0.92	50.00	0.0543
3	Y	0.68	45.50	0.0669
4	Y	1.24	60.00	0.0484
5	Y	0.60	62.50	0.1042
6	Y	0.68	55.00	0.0809
7	Y	1.24	52.50	0.0423
8	Y	0.60	64.50	0.1075
9	Y	0.68	68.50	0.1007
10	Y	0.80	47.50	0.0594
11	Y	0.92	42.50	0.0462
12	Y	0.68	45.50	0.0669

X doğrultusundaki duvarlar üzerindeki normal kuvvet ve gerilmeler Çizelge 5.49'de verilmiştir.

Çizelge 5.49: Üç Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Normal Kuvvet ve Gerilmeler (X Doğrultusunda Duvarlar).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	N _{1.4G+1.6Q} (kN)	σ _{1.4G+1.6Q} (N/mm ²)
13	X	0.8	47.50	0.0594
14	X	1.52	52.50	0.0345
15	X	0.8	47.50	0.0594
16	X	0.68	50.00	0.0735
17	X	0.48	51.50	0.1073
18	X	0.6	56.50	0.0942
19	X	0.68	55.50	0.0816
20	X	0.48	42.50	0.0885
21	X	0.60	58.50	0.0975
22	X	0.8	47.50	0.0594
23	X	1.52	57.50	0.0378
24	X	0.8	50.20	0.0628

Duvarlar üzerindeki yatay gerilmeler ilgili doğrultuda ayrı ayrı, her bir duvar üzerindeki yatay kuvvetin, duvar alanına bölünmesi ile edildi. Bulunan duvar kayma gerilmeleri, kapasite kayma gerilmeleri ile karşılaştırılır. Denklem 4.17b’de bulunan kapasite kesme kuvveti, ilgili doğrultuda duvar uzunluğu (L_x) ve duvar kalınlığına ($t_{duv.}$) bölünerek, kapasite kayma gerilmesinin ilki bulunmuştur. Denklem 4.18’de bulunan diğer kapasite kayma gerilmesi ile karşılaştırıldığında küçük olanı kapasite kayma gerilmesidir.

Her bir duvar üzerindeki düşey aksel kuvvetler $1.4G+1.6Q$ yüklemesinden, yatay deprem kuvvetleri $G+Q+E_d$ yüklemesinden elde edilmiştir. Buradaki E_d yüklemesi, yatay ve düşey deprem etkilerinin birleştirilmesi elde edilir.

Duvarlar üzerindeki normal gerilmeler, aksel kuvvetlerin yatay duvar alanına bölünmesi ile edilir. Bulunan normal gerilmeler Çizelge 5.1’de bulunan tasarım basınç dayanımı olan f_d ile karşılaştırılmıştır. Her bir doğrultuda bulunan duvarlardan seçilen en büyük normal gerilmeler, kapasite kontrolü için tasarım basınç dayanımı ile karşılaştırılarak yapılmış ve Çizelge 5.50’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.50: Üç Katlı Kerpiç Binada Normal Gerilme Kontrolü (Sonlu Eleman Çözümü)

Özellik	Değer
$\sigma_{mak.,1.4G+1.6Q} (X) (N/mm^2)$	0.107
$\sigma_{mak.,1.4G+1.6Q} (Y) (N/mm^2)$	0.108
$f_d (N/mm^2)$	0.75
$f_d > \sigma_{mak.,1.4G+1.6Q} (X)$	Sağlandı.
$f_d > \sigma_{mak.,1.4G+1.6Q} (Y)$	Sağlandı.

Yatay ve düşey deprem etkileri TBDY 2018 [29]’e göre birleştirilmiştir. Yatay deprem etkileri hem X hem de Y doğrultusunda dikkate alınarak kombinasyonlar oluşturulmuştur. Düşey deprem etkisi ise düşey normal kuvvet gibi dikkate alınmıştır [29].

Y doğrultusundaki duvarlar üzerindeki kesme kuvveti ve kayma gerilmeleri Çizelge 5.51’de verilmiştir.

Çizelge 5.51: Üç Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Kesme Kuvveti ve Gerilmeler (Y Doğrultusunda Duvarlar).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	V _y (kN)	τ _y (N/mm ²)
1	Y	0.80	15.50	0.019
2	Y	0.92	12.50	0.014
3	Y	0.68	42.50	0.063
4	Y	1.24	6.50	0.005
5	Y	0.60	32.50	0.054
6	Y	0.68	32.50	0.048
7	Y	1.24	12.50	0.010
8	Y	0.60	25.50	0.043
9	Y	0.68	24.50	0.036
10	Y	0.80	32.50	0.041
11	Y	0.92	8.50	0.009
12	Y	0.68	50.00	0.074

X doğrultusundaki duvarlar üzerindeki kesme kuvveti ve kayma gerilmeleri Çizelge 5.52'de verilmiştir.

Çizelge 5.52: Üç Katlı Kerpiç Binada SAP2000 Kesme Kuvveti ve Gerilmeler (X Doğrultusunda Duvarlar).

Duvar	Doğrultu	A (m ²)	V _x (kN)	τ _x (N/mm ²)
13	X	0.8	9.50	0.01188
14	X	1.52	6.50	0.00428
15	X	0.8	6.00	0.00750
16	X	0.68	7.50	0.01103
17	X	0.48	11.30	0.02354
18	X	0.6	11.50	0.01917
19	X	0.68	9.70	0.01426
20	X	0.48	1.80	0.00375
21	X	0.60	10.50	0.01750
22	X	0.8	21.50	0.02688
23	X	1.52	9.70	0.00638
24	X	0.8	13.80	0.01725

İlgili doğrultulardaki en büyük kayma gerilmeleri ile kapasite kayma gerilmeleri ile Çizelge 5.53’de karşılaştırılmıştır. Üç katlı kerpiç bina için, kesme kuvvetleri ve normal kuvvetler, kapasitenin altında kalmıştır.

Çizelge 5.53: Üç Katlı Kerpiç Binada Kayma Gerilmesi Kontrolü

Özellik	Değer
f_{vk0} (N/mm ²)	0.20
σ_d (N/mm ²)	0.32
f_{vk} (N/mm ²)	0.326
$f_{vd,1}$ (N/mm ²)	0.163
$f_{vdx,2}$ (N/mm ²)	0.342
$f_{vdy,2}$ (N/mm ²)	0.341
$\tau_{x,maks.}$ (N/mm ²)	0.027
$\tau_{y,maks.}$ (N/mm ²)	0.074
$f_{vd,1} > \tau_{x,maks.}$	Sağlandı.
$f_{vd,1} > \tau_{y,maks.}$	Sağlandı.

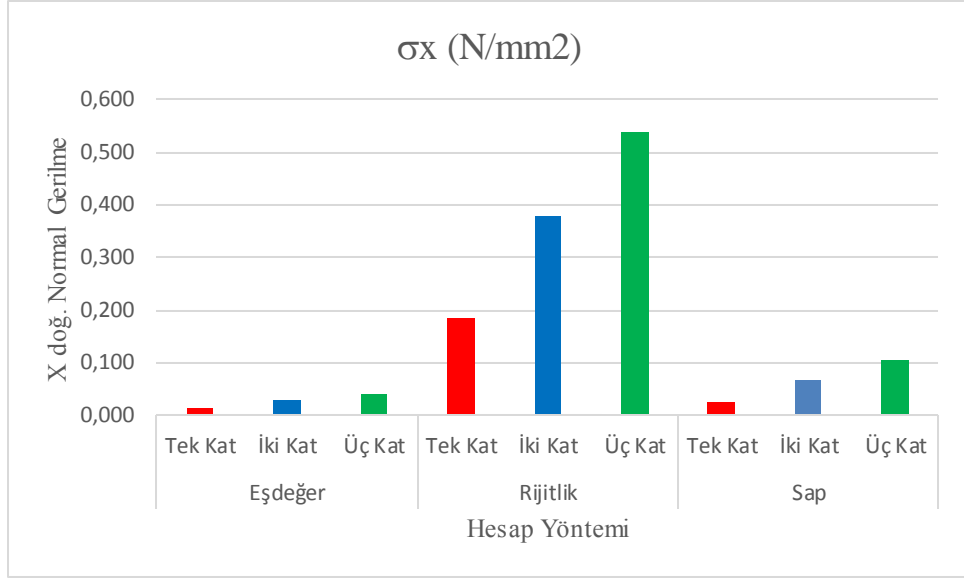
Fakat, bu çalışma kapsamında üç katlı kerpiç bina yapımı, diğer hesap yöntemlerinde olduğu gibi önerilmemiştir. Bunun sebebi, kerpicin dayanımı bir yığma malzeme kadar yüksek bir dayanımı olmasına rağmen, su, sıcaklık gibi dış faktörler altında dağılabilmesi ve göçmelere sebebiyet vermesidir.

5.7. DEĞERLENDİRME

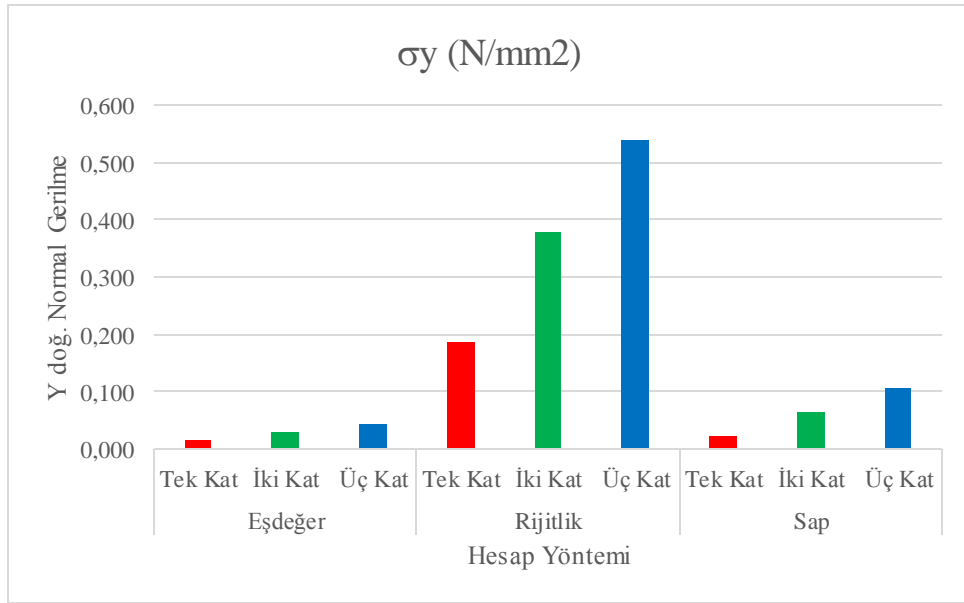
Belirlenen üç hesap yöntemi normal gerilme ve kayma gerilmeleri Çizelge 5.54’de verilmiştir.

Çizelge 5.54: Üç Hesap Yöntemi İçin Gerilme Değerleri.

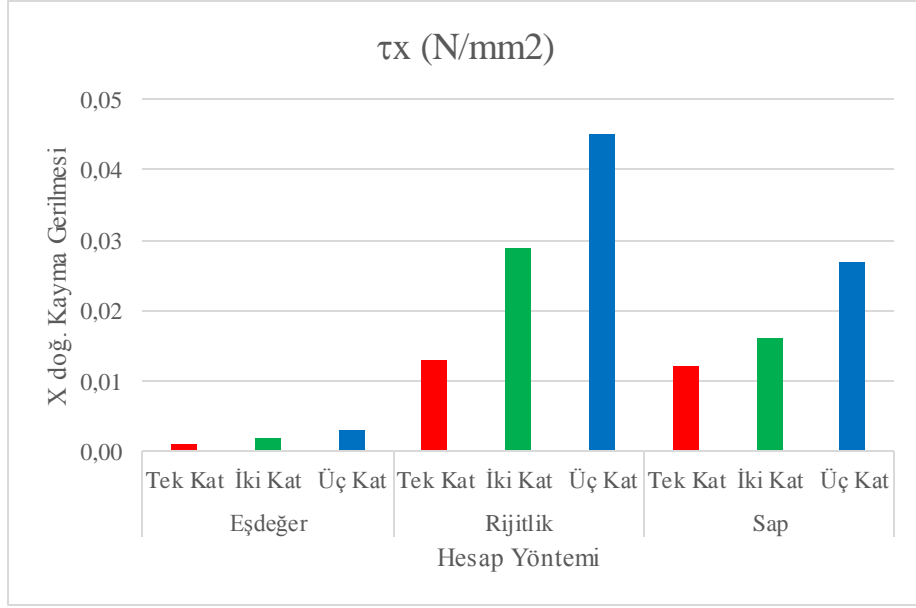
	Eşdeğer duvar hesabı				Duvar rijitlikleri hesabı				Sonlu elemanlar hesabı			
	σ (N/mm ²)		τ (N/mm ²)		σ (N/mm ²)		τ (N/mm ²)		σ (N/mm ²)		τ (N/mm ²)	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
Tek katlı bina	0.0146	0.146	0.001	0.001	0.186	0.186	0.013	0.012	0.024	0.065	0.012	0.015
İki katlı bina	0.029	0.029	0.002	0.002	0.38	0.38	0.029	0.027	0.066	0.066	0.016	0.056
Üç katlı bina	0.042	0.042	0.003	0.003	0.54	0.54	0.045	0.041	0.107	0.108	0.027	0.074



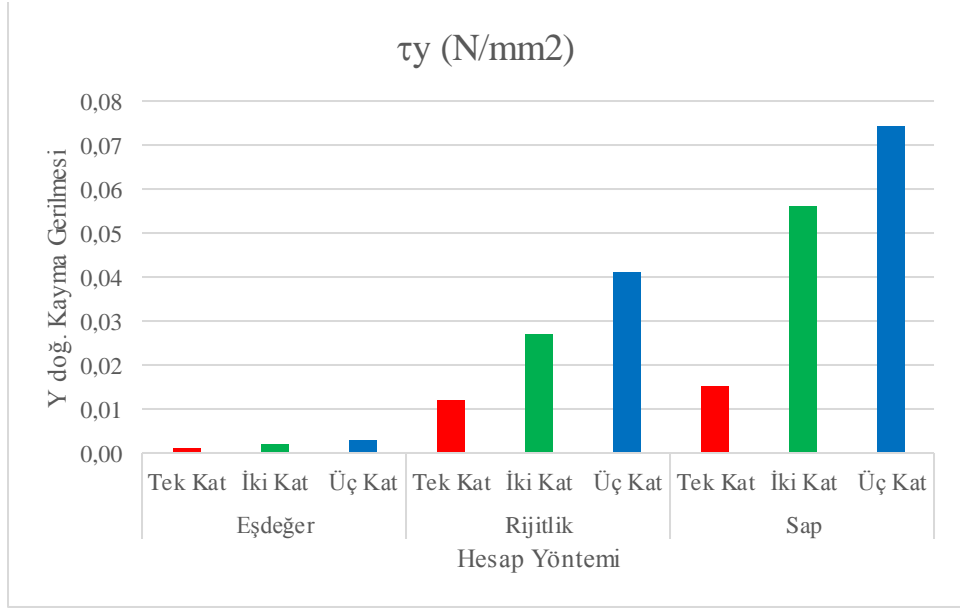
Şekil 5.13: X. Doğrultusundaki normal gerilme karşılaştırması.



Şekil 5.14: Y. Doğrultusundaki normal gerilme karşılaştırması.



Şekil 5.15: X. Doğrultusundaki kayma gerilmeleri karşılaştırması.



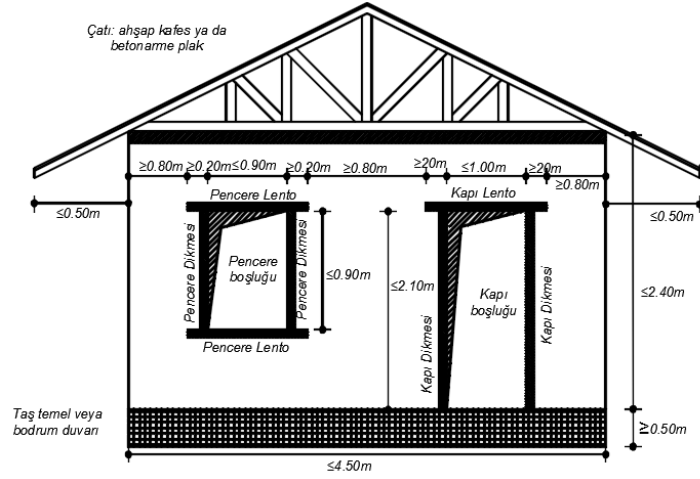
Şekil 5.16: Y. Doğrultusundaki kayma gerilmeleri karşılaştırması.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar üç farklı hesap yöntemi için de kerpiç binanın uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır. Eşdeğer duvar yönteminde yaklaşık hesap yapıldığı için duvar rijitlikleri ve sonlu elemanlar yöntemi ile daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmiştir.

ALTINCI BÖLÜM

6. KERPIÇ BİNA İÇİN DEPREM YÖNETMELİĞİNE UYGUN ÖNERİLER

Bu bölümde, 2018 Deprem Yönetmeliği ile uyumlu kerpiç binalar için özel olarak hazırlanmış, 1998 tarihli Türkiye Deprem Yönetmeliği'nden uyarlanan bir taslak belge tartışmaya açılmıştır.



Şekil 6. 1: Deprem Yönetmeliği'ne göre konstrüktif kurallar.

6.1. GENEL KURALLAR

Kerpiç binalar için Bina Kullanım Sınıfı BKS=1 ve Bina Önem Katsayısı I=1 den büyük olmamalıdır. Kerpiç binalar bodrum katı ve zemin kattan oluşmalıdır. Kısmi bodruma izin verilmez. Tek katın yüksekliği, döşeme üstünden döşeme üstüne 2.70 m'den fazla olmayacaktır. Bodrum kat yüksekliği ise 2.40 m'yi geçmeyecektir. Kerpiç binalar planda dikdörtgen şeklinde olacak ve taşıyıcı duvarlar ana eksene göre olabildiğince simetrik olarak düzenlenecektir. Konsol döşeme parçalarına izin verilmez.

6.2. TEMELLER VE TAŞIYICI DUVARLAR

6.2.1. Temel

Temeller bodrumsuz binalarda en az 0,50 m, bodrumlu binalarda en az 0,60 m kalınlığında moloz taş duvar olarak inşa edilecektir. Temelin derinliği donma derinliğinin en az 0.80 m altında olacaktır. Temel duvarları dış zemin yüzeyinden en az 0,50 m yukarıda yapılacaktır (Şekil 5.1). Temel ve bodrum kat duvarlarında çimento takviyeli harç kullanılacaktır. Çürük zeminlerde bu genişlik artırılmalıdır.

6.2.2. Taşıyıcı Duvarlar

Planda birbirine dik doğrultuların her biri boyunca uzanan taşıyıcı duvarların, pencere ve kapı boşlukları hariç olmak üzere, toplam uzunluğunun brüt kat alanına (konsol döşemeler hariç) oranı $0,30 \text{ m}^2$ 'den daha az olmayacaktır. Taşıyıcı dış kerpiç duvarlar en az 1,5 taşıyıcı iç kerpiç duvarlar ise en az 1 kerpiç boyu kalınlığında olacaktır. Normal kerpiç boyutları çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1: Kerpiç birim ölçüleri.

No	Ana (m)	Kuzu (m)
1	0,12×0,30×0,40	0,12×0,19×0,40
2	0,12×0,25×0,30	0,12×0,18×0,30

6.2.3. Taşıyıcı Duvarların En Büyük Mesnetlenmemiş Uzunluğu

Herhangi bir taşıyıcı duvarın, planda kendisine dik olarak saplanan taşıyıcı duvar eksenleri arasında kalan mesnetlenmemiş uzunluğu, 4,5 m'yi geçmeyecektir.

6.2.4. Taşıyıcı Duvar Boşlukları

Bina köşesine en yakın pencere veya kapı boşluğu ile bina köşesi arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu 0,80 m'den az olmayacaktır. Bina köşeleri dışında, pencere ve kapı boşlukları arasında kalan dolu duvar parçalarının plandaki uzunluğu 0,80 m'den az olmayacaktır. En az 0,10 m × 0,10 m kesitli ahşap düşey dikmeler pencere veya kapı açıklıklarının her iki tarafına yerleştirilecek ve üst ve alt pencere açıklıklarına yerleştirilen lentolara bağlanacaktır. Bina köşeleri dışında, birbirini dik olarak kesen duvarların arakesitine en yakın pencere veya kapı boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu 0,50 m'den az olmayacaktır. Kapı açıklıkları yatayda 1,00 m, dikeyde 2,10 m'den fazla olmayacaktır. Duvara dik olan taşıyıcı duvarların eksenleri arasında birden fazla kapı

boşluğu olmayacaktır. Pencere açıklıkları yatayda 0,90 m, dikeyde 1,20 m'den fazla olmayacaktır.

6.3. LENTOLAR VE HATILLAR

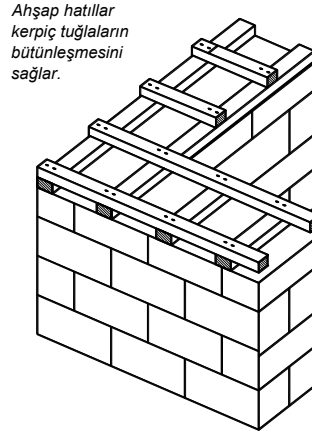
6.3.1. Lentolar

Kapı üstleri ile pencerelerin alt ve üstlerine ikişer adet 10 cm × 10 cm kesitinde ahşap kadronla lento yapılacaktır. Pencere ve kapı lentolarının duvarlara oturan kısımlarının her birinin uzunluğu 20 cm'den az olmayacaktır

6.3.2. Hatıllar

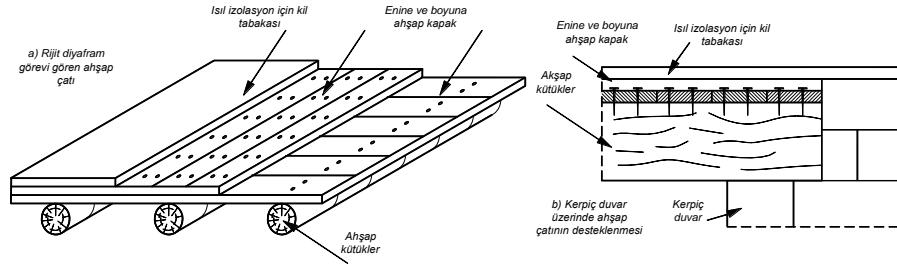
Bodrumlu binalarda temel duvarları veya bodrum duvarları üzerine aşağıda açıklanan betonarme veya ahşap bağ kirişleri yapılacaktır.

Betonarme kirişler duvar genişliğinde ve en az 0,20 m yüksekliğinde, minimum kalitede C16 beton, 8 mm / 250 mm etriye ve boyuna donatı 6φ10 boyuna donatı, ahşap kirişler ise 0,10 m × 0,10 m kesitli olup, dış ve iç yüzleri birbirine bağlanacak şekilde yerleştirilmelidir.



Şekil 6.2: Kerpiç ve kiriş arasındaki bağlantı şekli.

Minimum gereksinimleri sağlayan betonarme ve ahşap bağ kirişleri, çatıyı desteklemek için yerleştirilecektir. Çatı minimum 0,10 m yüksekliğinde betonarme levhadan yapıldığında, 0,20 m yüksekliğinde bir bağlantı kirişi gereklidir (Şekil 5.3).



Şekil 6.3: Ahşap çatı uygulama şekli.

6.4. ÇATILAR

Kerpiç binaların çatıları betonarme ahşap olacaktır. Çatının yapısı ve çatının kerpiç duvarla bağlantısının yeterli olması koşuluyla çatıda ısı yalıtımı sağlamak için maksimum 0.15m kalınlığında toprak tabakası serilebilir. Çatı, maksimum 0,50 m'lik dış duvarları aşan saçaklarla mümkün olduğunca hafif olmalıdır. Kerpiç binaların çatıları ahşap makas veya betonarme plak teras da olabilir (Şekil 5.1).

YEDİNCİ BÖLÜM

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Yapılan tez çalışması sonucunda, aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır.

- 1) Kerpiç malzemesi, yapılarda önlem alındığı zaman uygulanabilirliği mevcuttur.
- 2) Kerpiç malzeme ile bina tasarımının, Türk Deprem Yönetmeliklerine tekrar girmesi için öneriler oluşturulmuştur.
- 3) Kerpicin basınç ve çekme dayanımları çalışma kapsamında daha muhafazakar seçilmiştir. Seçilen dayanım değerleri, yapılacak deneysel çalışmalarla daha doğru bir şekilde belirlenmelidir.
- 4) Yapılan sayısal hesapta seçilen kerpiç malzeme değerleri, duvar kalınlığı gibi değerlerin, bir, iki ve üç katlı üç bina için de yeterli olduğu görülmüştür.
- 5) Üç katlı bina için yapılan üç ayrı hesapta kesme ve normal kuvvet kontrolleri sağlanmıştır. Çalışma kapsamında, kerpicin özellikleri dikkate alınarak ve önceki deprem yönetmelikleri de incelenerek üç katlı kerpiç yapının yapılması uygun görülmemiştir.

7.2. ÖNERİLER

Yapılan tez çalışması sonucunda, tezin geliştirilmesi amacıyla bazı öneriler sunulmuştur.

1. Kerpiç binalar olabildiğince simetrik tutulmalıdır. Fakat sonuçlarını görmek açısından farklı kat planları ile hesaplar kontrol edilebilir.
2. Yapılan hesapta minimum dış merkezlik dikkate alınmamıştır. Hesaplanan dış merkezlik minimumdan daha düşüktür. Kerpiç binalar için dışmerkezlik oranı 0.05 ile 0.10 arasında olması önerilebilir.
3. Kat adetleri arttıkça duvar kalınlıkları azaltılarak kat sınırı belirlenebilir.

4. Farklı malzeme değerleri dikkate alınarak daha geręeęe yakın sonuçlar elde edilebilir.

8. KAYNAKÇA

- [1] Yavas, Ş, M, Celep, Z, Teloğlu, N, A. (2020). Adobe Buildings: Earthquake Resistance and Their Application in Turkey, 8th International Conference Kerpic'20, İstanbul, November 26-27.
- [2] Houben, H., Guillaud, H. (1994). Earth Construction – A Comprehensive Guide, *ITDG Publishing*, London, UK.
- [3] İzbirak, R. (1973).2, Başbakanlık Kùltür Müsteşarlığı Kùltür Yayınları, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, Tùrkiye
- [4] Silva, R. A. ve diğ. (2009), Grouting as a repair/strengthening solution for earth construction, Leuven, WTA Publications, October 8-9.
- [5] TS 2514 (1977). Production and usage of adobe bricks, Turkish Standards Institution, Ankara.
- [6] Gùrbùz, G. (2005) Toprak Yapı Malzemesinin Stabilizasyonu ve Toprak Bina Yapım Teknikleri Üzerine Bir Araştırma, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [7] Arya, A, S, Boen, T, Ishiyama, Y. (2014). Guidelines for Earthquake Resistant Non-Engineered Construction The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization France.
- [8] Seeher, J. (2007). Hattuşa Kerpiç Kent Suru – Bir Rekonstruksiyon Çalışması, Ege Yayınları, İstanbul
- [9] TS 2515 (1985). Construction Requirements of Adobe Buildings, Turkish Standards Institution, Ankara, Tùrkiye
- [10] Gùl, T. (2011). Cam Elyaf ve Hava Sùrùkleyici Katkı Kullanılarak Geliřtirilmiř Kerpiç, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Mayıs.
- [11] Minke, G. (2001) Earth Construction Handbook, WIT Press, Southampton, UK.

- [12] **Blondet, M, Garcia, G, Brzev, S.** (2003). Earthquake – Resistant Construction of Adobe Buildings: A Tutorial, EERI/IAEE World Housing Encyclopedia, UK.
- [13] **Akkaş, F.** (2011). Lifkatkılı kerpiç panel duvar üretilme olanaklarının araştırılması, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [14] **Acun, S., Gürdal, E.** (2003). Yenilenebilir bir malzeme kerpiç ve alçılı kerpiç, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 427.
- [15] **Bilge, A, C., Güler, K.** (2016). Tedirgin Edici Miras: Acı, Utanç, ve Savaş Anıtlarının Temsili ve Korunması, *Mimarist Mimarlık Kültür Dergisi* Sayı 56, Haziran, İstanbul.
- [16] **Url-1** <<http://www.archdaily.com>>, erişim tarihi 08.08.2020
- [17] **Url-2**<<http://www.yapi.com.tr>>, erişim tarihi 10.08.2020
- [17] **Tuztaşı, U., Çobancaoğlu, T.** (2006). Anadolu’da kerpicin kullanım geleneği ve kerpiç konut yapım sistemlerinin karşılaştırılması, *Tasarım + Kuram MSGSÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi* (pp.95-104), Aralık.
- [18] **Altun, B. S.** (2008). Geleneksel türkevleri, kullanılan yapı malzemeleri, yapı elemanları ve yapım sistemleri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Ekim
- [19] **Url-3**<<http://www.sonsuzsukran.org/>>, erişim tarihi 18.11.2020
- [20] **Volkan, A., Yıldız, E.** (2018). Göbeklitepe Visitor Centre, Kerpiç’18 Back to earthen architecture: industrialized, injected, rammed, stabilized, *Proceedings for the sixth international conference*, (pp.35-42). Kalyoncu University, January 1-2.
- [21] **Hall, R. M, Lindsay, R., Krayenhoff, M.** (2012). Modern Earth Buildings Materials, Engineering, Construction and Applications, Woodhead Publishing Limited, UK.

- [22] Koç, G. Z., Akbulut, E, D. (2017). Ekolojik Tasarım Kapsamında Dünyada ve Türkiye’de Toprak Yapı Standart ve Yönetmeliklerinin Değerlendirilmesi, Megaron Mimarlık Dergisi, Sayı 4(pp.647-657), Yıldız Teknik Üniversitesi, Eylül.
- [23] Türk Deprem Yönetmeliği (1998), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [24] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [25] Illampas R., Ioannou I., Charmpis D. C. (2011). A study of the mechanical behaviour of adobe masonry, Structural Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XII 485, WIT Transactions on The Built Environment, Vol 118.
- [26] S. Sasui, W. Jinwuth, S. Hengrasmee (2012). Investigating the Effects of Straw & Rice Husk on the Compressive Strength & Tensile Strength of Adobe Brick, Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies, 3(3), 242-248.
- [27] Pekmezci B. Y., Kafesçioğlu R., Agahzadeh E. (2018). Improved Performance Of Earth Structures By Lime And Gypsum Addition, ODTU Journal of The Faculty Of Architecture 2012/2, (29:2) 205-221.
- [28] Berkgil M, Ayaz A. (2020). Polipropilen Lif Katkılı Kerpiç Tuğlaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2020, 13(1), 105-114, Erzincan Üniversitesi.
- [29] TBDY (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, AFAD, Ankara, Türkiye.
- [30] Url-4 <tdth.afad.gov.tr>, Türkiye Deprem Haritası.
- [32] SAP2000, Computers and Structures, Inc., California, Berkeley.
- [33] Url-5 <<https://tr.wikipedia.org/wiki/%C5%9Eibam>>, erişim tarihi 19.11.2020

- [34] **Tolles E, L. ve diğ.** (1996). Survey of Damage to Historic Adobe Buildings After the January 1994 Northridge Earthquake, Getty Conservation Institute, Los Angeles
- [35] **Kafescioğlu R.** (2017). Çağdaş Yapı Malzemesi Toprak ve Alker, İTÜ Vakfı Yayınları, İstanbul.