

168450

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YIĞMA YAPILARIN ANALİZİ

168450

İnşaat Mühendisi Ali Osman KURUŞCU

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hasan Orhun Köksal

Yrd. Doç. Dr. H. Orhun KÖKSAL

Prof. İbrahim Ekiz

Prof. Dr. Aziz Karakoç

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. YIĞMA YAPILARIN YAPISINDA KULLANILAN MALZEMELER	3
2.1 Tuğla	4
2.2 Harman Tuğlası	5
2.3 Fabrika Tuğlası	7
2.4 Doğal Yapı Taşları	10
2.5 Kerpiç	15
2.6 Beton Briket	20
2.7 Harç	21
3. YIĞMA YAPI ELEMANLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ	25
3.1 Basınç Dayanımı	25
3.2 Kayma Dayanımı	27
3.3 Çekme Dayanımı	28
3.4 Elastisite Modülü	28
4. YIĞMA YAPI ELEMANLARI	31
4.1 Duvar	32
4.2 Döşeme	35
4.3 Kemer	36
4.4 Tonoz	39
4.5 Kubbe	40
4.6 Ayak ve Sütunlar	42
4.7 Yığma Dolgu Duvarlar	43
5. ABYYHY (YIĞMA YAPILARDA DEPREME DAYANIKLI TASARIM KURALLARI)	45
5.1 Yatay Hatıllar	50

5.2	Düsey Hatıllar	50
5.3	Temeller	51
5.4	Yığma Duvarın Kayma Dayanımı.....	51
6.	YIĞMA YAPILARIN YÜK TAŞIMA ANALİZİ.....	54
6.1	Basınç Kırılması	55
6.2	Kesme Kırılması.....	57
6.3	Çekme ve Eğilme Göçmesi.....	58
7.	YIĞMA DUVARIN MODELLENMESİ.....	60
7.1	Yığma Yapılarda Matematiksel Modelleme Yöntemleri	60
7.1.1	Makro Modelleme	63
7.1.2	Mikro Modelleme.....	64
7.1.2.1	Detaylı Mikro Modelleme.....	64
7.1.2.2	Basitleştirilmiş Mikro Modelleme.....	64
7.2	Örnek Model Üzerinde Hasar Parametrelerinin Araştırılması.....	65
7.3	Hasar Parametrelerine Uygun Bağlıntıların Bulunması	70
7.4	W4(Eksantrik Yüklü) Duvarı İçin Elde Edilen Bağlıntıların Kullanılması.....	79
7.5	Yığma Duvar Dolgulu Betonarme Çerçeve İçin Elde Edilen Bağlıntıların Kullanılması	81
8.	SONUÇLAR	84
KAYNAKLAR.....		85
ÖZGEÇMİŞ		88

SİMGE LİSTESİ

f_b	Birim elemanın basınç dayanımı
P_k	Kırılma anındaki yük
A_0	Tuğlanın basınç uygulanan yüzünün alanı
k^*	Tuğlanın biçim katsayısı
E_d	Elastik modül
g	Yerçekimi ivmesi
V	Malzeme içinde sesin hızı
δ	Malzemenin Özgül ağırlığı
R	Basınç mukavemeti
h'	Yükseklik
d'	Duvarın anma kalınlığı
λ	Narinlik
P_{max}	Kırılma yükü
A	Numunenin basınç uygulanan alanı
σ_k	Kerpicin basınç dayanımı
f_k	Yığma yapı elemanın karakteristik basınç dayanımı
f_m	Harcın ortalama basınç dayanımı
f_b	Normalize edilmiş basınç dayanımı
δ_m	Birim elemanın nem oranını gösteren faktör
δ_s	Birim elemanın biçim ve boyuta bağlı olan şekil faktörü
τ	Kayma dayanımı
τ_o	Kohezyon değeri
μ	İç sürtünme açısı
f_n	Basınç dayanımı
σ	Gerilme
ε	Birim deformasyon
E_m	Elastisite modülü
f_{bl}	Bloğun basınç dayanımı
f_{br}	Kil tuğlanın basınç dayanımı
f_m	Yığmanın basınç dayanımı
f_{mr}	Harcın basınç dayanımı
γ	Birim ağırlık
V_t	Binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü
W	Binanın ağırlığı
A_o	Etkin yer ivmesi katsayısı
I	Bina önem katsayısı
T	Duvara etki yapan yatay kuvvet
S	Statik çalışmaya katılan kısmın alanı
σ_b	Duvar etki yapan düşey yüklerin oluşturduğu gerçek ortalama basınç gerilmesi
D_o	Hasar görmemiş kısımda bulunan gerilme
d	Hasar değişkeni
$M_{(\tau)}$	Skaler bir fonksiyon
τ^*	Başlangıç threshold değeri
τ^f	Anlık hasar eşiği
f_t	Hasarın başladığı tek eksenli gerilme değeri
E_o	Hasarı görmemiş elastisite modülü
A	Sonlu eleman ağırlığının en büyük boyutunu dolaylı olarak sınırlayan bir etken
G_f	Kırılma enerjisi
h	Sonlu eleman ağı boyutu için belirlenen değişken

h_x	Sonlu eleman ağının genişliği
h_y	Sonlu eleman ağının derinliği
h_z	Sonlu eleman ağının yüksekliği
$S(T_i)$	Spektrum katsayısı
$R_d(T_i)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
$A(T_i)$	Spektral ivme katsayısı



KISALTMA LİSTESİ

M.Ö.	Milattan Önce
M.S.	Milattan Sonra
TS	Türk Standartları
DOHT	Dolu Harman Tuğlası
DEHT	Delikli Harman Tuğlası
B.A.	Betonarme
EC	Eurocode
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ETHZ	Zurich Institute of Structural Engineering



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Eski Mısır'daki bir anıt mezar üzerinde bulunan tuğla yapımının işlendiği duvar yazısı (Lourenço, 1996).....	1
Şekil 1.2 Ayasofya Camii	1
Şekil 2.1 Tipik tuğla elemanlar	4
Şekil 2.2 Kerpiç birimleri (Ölçüler mm).....	16
Şekil 2.3 Beton briket örnekleri	21
Şekil 3.1 Yığma yapı elemanın elastisite modülünü gösteren gerilme-birim deformasyon eğrisi.....	29
Şekil 4.1 Yığma taşıyıcı sisteminin yapım aşamaları a,b,c,d,e (Arun, 2003).....	31
Şekil 4.2 Tuğla duvar örgü kuralları (Yorulmaz, 1984)	32
Şekil 4.3 Tuğla duvar bindirme şekilleri a)Amerikan örgüsü b)İngiliz örgüsü c)Flaman örgüsü d)Yığın örgüsü e)Sedye örgü (Lourenço vd., 1998).....	33
Şekil 4.4 Taş duvar örgü desenleri a)Moloz taş duvar b)Kesme taş duvar c)Düzgün derzli kesme taş duvar (Lourenço vd., 1998).....	33
Şekil 4.5 Kemer ve hatıl(lento)	34
Şekil 4.6 Taş duvar kenetlenmesi (Arun, 2003).....	34
Şekil 4.7 Yığma yapılarda çeşitli döşemeler (Huerta, 2001)	35
Şekil 4.8 Volta döşeme kesiti.....	35
Şekil 4.9 Duvarda açıklık oluşturmaya bir örnek.....	36
Şekil 4.10 Çok parçadan oluşan taşıyıcı basit sistemler	37
Şekil 4.11 İlkel kemerler. Mısır.....	37
Şekil 4.12 Kemer Öğeleri.....	38
Şekil 4.13 Kemerlerde Yük Akışının Gösterilmesi.....	38
Şekil 4.14 Çeşitli kemer formlarına örnekler (Arun, 2003).....	38
Şekil 4.15 Ayakta kalmış kemer formu (Arun, 2003)	39
Şekil 4.16 a)İlkel tonoz, b)Beşik tonoz, c)Çapraz veya haçvari tonoz, d)Manastır tonozu....	40
Şekil 4.17 Panteon Tapınağı.....	41
Şekil 4.18 Kubbelerde yük taşıma mekanizması.....	41
Şekil 4.19 Kubbelerin tipik çatlak deseni (Huerta, 2001).....	42
Şekil 4.20 Ayak ve sütun	42
Şekil 4.21 Olası göçme mekanizmaları (Shing, 2002)	44
Şekil 5.1 Duvarın mesnetlenmesi	48
Şekil 5.2 Duvarda oluşturulacak düşey hatıllar.....	49
Şekil 5.3 Duvarda açılacak boşluklarla ilgili sınırlar.....	50
Şekil 5.4 Duvarda teşkil edilecek düşey ve yatay hatıllar	51
Şekil 5.5 Tipik bir konutta taş duvar örgüsü gösterilmiştir.....	53
Şekil 6.1 Yığma prizmanın gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Köksal vd. 2003).....	55
Şekil 6.2 Harç ve tuğlada gerilmeler	56
Şekil 6.3 Harç ve blokta ezilmenin oluşumu (Lourenço, 1994).....	56
Şekil 6.4 Yığma duvarda basınç yükleri altında düşey yarılmaların oluşumu (Bayülke, 1980)56	
Şekil 6.5 Kayma kırılmasının mekanizması.....	57
Şekil 6.6 Kayma kırılmasının mekanizması (Bayülke, 1980).....	58
Şekil 6.7 Yığma elemanlarda çekme kırılmasının oluşumu(Lourenço, 1994).....	58
Şekil 6.8 Çekme deneyi, yük deplasman eğrisi.....	59
Şekil 6.9 Yatay yükten dolayı elemanda oluşan çekme gerilmeleri.....	59
Şekil 7.1 Modelleme yöntemleri a)Detaylı mikro modelleme b)Basitleştirilmiş mikro modelleme c)Makro modelleme (Lourenço, 2004)	62
Şekil 7.2 Roma'daki St. Peter's Bazilikası (Lourenço, 2002)	63
Şekil 7.3 Ayasofya Camii sonlu elaman modeli (www.lusas.com)	64

Şekil 7.4 ETH Zurich deneyi, şekil ve yükleri (Berto, 2001), (Lourenço, 1997)	65
Şekil 7.5 ETHZ deneyi W2 duvarı için göçmeden önce (a) ve sonra (b) hasar oluşumu.....	66
Şekil 7.6 ETHZ deneyi W2 duvarı yük-deplasman grafiği	67
Şekil 7.7 Köksal vd. (2004) tarafından yapılan araştırmada boyut parametresine ilişkin grafik70	
Şekil 7.8 ETHZ deneyi W2 duvarı için göçmeden önce ve sonra hasar oluşumu	70
Şekil 7.9 60x50mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için yatay yük-deplasman grafiği.....	71
Şekil 7.10 60x50mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı	71
Şekil 7.11 90x80mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için yatay yük-deplasman grafiği.....	72
Şekil 7.12 90x80mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı	72
Şekil 7.13 180x154mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için yatay yük-deplasman grafiği ..	73
Şekil 7.14 180x154mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı	73
Şekil 7.15 240x200mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için yatay yük-deplasman grafiği ..	74
Şekil 7.16 240x200mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı	74
Şekil 7.17 400x332mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için yatay yük-deplasman grafiği ..	75
Şekil 7.18 400x332mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı	75
Şekil 7.19 3600x2000mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için yatay yük-deplasman grafiği76	
Şekil 7.20 3600x2000mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı	76
Şekil 7.21 Threshold değeri (τ^b) ile Boyut Parametresi (A) arasındaki ilişki, Bağıntı (7.11)....	78
Şekil 7.22 Boyut parametresi (A) ile Hasar değişkeni (d) arasındaki ilişki, Bağıntı (7.10)....	78
Şekil 7.23 ETHZ deneyi W4 duvarı için göçmeden önce ve sonra hasar oluşumu	79
Şekil 7.24 ETHZ deneyi W4 duvarı için yük-şekil değiştirme grafiği.....	79
Şekil 7.25 Kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı	80
Şekil 7.26 Eksantrik yükleme için Y yönündeki şekil değiştirme	80
Şekil 7.27 Modellenen örnek çerçeve (Mehrabi ve Shing, 1997)	81
Şekil 7.28 Çerçevadaki betonarme kolon ve kirişin kesiti.....	82
Şekil 7.29 Dolgulu çerçeve için sonlu eleman ağının şekil değiştirmesi.....	82
Şekil 7.30 Boş Çerçeve ve 9 numaralı deney örnekleri ile kullanılan sonlu eleman modellerinin yük-deplasman eğrilerinin kıyaslanması	83

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Tuğlaların ortalama fiziksel özellikleri (Ünay, 2002).....	5
Çizelge 2.2 Biçim ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlası sınıfları	6
Çizelge 2.3 Harman tuğlasının boyutları (TS 704, 1979).....	7
Çizelge 2.4 Fabrika tuğlasının birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı(TS 705, 1985)	8
Çizelge 2.5 Fabrika tuğlası anma yükseklikleri ve biçim katsayıları	9
Çizelge 2.6 Doğal yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri (Ünay, 2002).....	11
Çizelge 2.7 Doğal yapı taşlarının minimum basınç ve eğilmede çekme dayanımları.....	11
Çizelge 2.8 Doğal taş duvarlarda narinliğin $\lambda \leq 10$ değerleri için basınç emniyet gerilmeleri (kgf/cm ²)(Türkçü, 1997)	13
Çizelge 2.9 Kesme taş duvarlarda basınç emniyet gerilmesi anma değeri (Türkçü, 1997).....	13
Çizelge 2.10 Kesme taş duvarlarda basınç emniyet gerilmesi anma değeri ve narinlik katsayısına göre emniyet gerilmesi hesap değerleri kgf/cm ² (Türkçü, 1997) ..	14
Çizelge 2.11 Kerpiçlerin sınıflandırılması	16
Çizelge 2.12 Kerpiç yapı yapım kurallarının afet yönetmeliği ve TS2515'e göre karşılaştırması	17
Çizelge 2.13 Beton briketlerin boyutları.....	20
Çizelge 2.14 Beton blok ve briketlerin basınç mukavemetleri	21
Çizelge 2.15 Harç karışımları (Hacim olarak) (TS2510, 1977).....	24
Çizelge 2.16 Harçlarda minimum basınç dayanımları	24
Çizelge 3.1 İki farklı duvar kalınlığı için uygun bulunmuş katsayılar	26
Çizelge 5.1 Bina Önem Katsayısı.....	46
Çizelge 5.2 Etkin yer ivmesi katsayısı.....	47
Çizelge 5.3 Bodrum kat hariç izin verilen kat sayıları	47
Çizelge 5.4 ABYYHY'de minimum taşıyıcı duvar kalınlıkları.....	48
Çizelge 5.5 Duvarların malzeme cinsine göre kesme emniyet gerilmeleri.....	53
Çizelge 7.1 Farklı boyutlardaki sonlu elaman boyutu için bulunan hasar parametreleri	77

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamı hazırlarken büyük desteğini gördüğüm tez danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Orhun KÖKSAL ve Öğr.Gör.Dr. Bilge DORAN'a

Her türlü bilgi, kaynak ve tecrübesini benden esirgemeyen Hocam Sayın Rektör Yardımcısı Prof. Dr. Görün ARUN'a,

Çalışmalarım süresince verdiği destek ve yardımlarından dolayı Eşim Mimar-İnş.Müh. Sevcan KURUŞCU'ya,

Ayrıca hayatım boyunca bana sağladıkları maddi manevi tüm imkan ve destekleri için aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2005

İnş. Müh. Ali Osman KURUŞCU



ÖZET

Tarihi yapılar kültürel mirasımızın gelecek nesillere iletilmesi açısından çok önemlidir. Yığma olarak inşaa edilen ve günümüze kadar ulaşan bu anıtsal nitelikli yapıların korunması ise ancak yapısal davranışlarının anlaşılması ve modellenmesi ile mümkündür. Bu çalışmada yığma yapıların tarihçesinden başlayarak malzeme özellikleri ile yığma yapıların elemanları hakkında bilgiler verilecek yığma yapıların hasar mekanizmaları araştırılmıştır. Ayrıca ülkemizde yürürlükte bulunan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğin yığma yapılar hakkındaki kısmı incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Yığma yapıların nümerik analizinde günümüzde halen gerçekçi sonuçlar elde etmek için bir çok modelleme yaklaşımları geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada, yığma yapılar için geliştirilen nümerik yöntemler ve modelleme teknikleri irdelenerek nümerik analizde karşılaşılan sorunlara değinilmiş ve izotrop hasar modeli kullanılarak, gerçek ölçekli deneyi yapılmış ve yük-deplasman eğrileri bulunan duvar örnekleri ile önerilen nümerik analiz yöntemi kıyaslanmıştır. Dolgulu betonarme çerçeveler ve kil tuğla duvarlar, yığma yapı modellenmesinde deneysel ölçüm ve verilerin karşılaştırılması açısından temel alınmıştır. Deney sonuçlarının parametrik analizleri yapılarak hasar modeli malzeme parametreleri için genel bir bağıntı elde edilmeye çalışılmış ve elde edilen bağıntı başka duvar örnekleri de modellenerek bağıntıların doğruluk derecesi araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yığma yapılar, Hasar mekaniği, Nümerik analiz, Modelleme,

ABSTRACT

Ancient structures, Which constitute a very important part of our cultural heritage, should be carefully protected. Most important theme to protect historical structures is understanding their structural behavior and modelling the monument. In this study, first, it is expressed the history of masonry structures with material properties and members of the masonry structures.

And it is searched the damage mechanism and collapse shapes, also the part of the guide which is about the buildings will be built in seismic regions investigated and mentioned the rules have to be obeyed while building masonry structures

Now a days, many researchers are still trying to develop a lot of approaches to get more correct and suitable methods for numerical analysis of masonry structures. In this study numerical methods and modelling techniques, which are developed for masonry structures, are examined and explained the problems can be come across and specimen walls, which have load-deflection diagrams, are used for comparison with the proposed isotropic damage model of masonry. Infilled reinforced concrete frames and masonry walls are based of this parametric study and comparison. The aim of this study is developing general parameters for isotropic damage model of masonry structures. Finally, it is searched the accuracy of parameters with other wall specimens

Keywords: Masonry Structures, Damage Mechanics, Numerical Analysis, Modelling

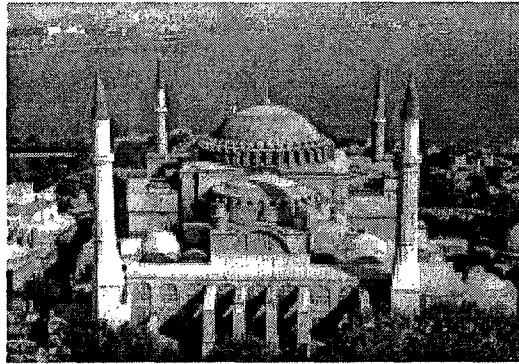


1. GİRİŞ

Yığma şimdiye kadar bilinen en eski yapı malzemesidir. Yapılan araştırmalarda M.Ö.9000-8000 yıllarında İsrail'de Hullen Gölü yakınlarında en eski taş yığma yapılarının bulunduğunu göstermektedir. Eski Mısır'da M.Ö.1500 yıllarında yapılan Rekhmara Anıtmezarı üzerinde görülen duvar yazılarında tuğla duvar yapımı görülmektedir (Şekil 1.1) (Lourenço, 1996). Yığma yapıların en önemli özelliği basitliğidir. Taş ve tuğlaları üst üste koyarak harçlı veya harçsız tekniğine uygun olarak yapılabilir. Diğer önemli özellikleri ise estetik, sağlam ve dayanıklı olması, az bakım gerektirmesi, çok yönlülüğü, ses yalıtımı ve yangın dayanımıdır. Örneğin Bizans Dönemi'nde yığma sistemle yapılan Ayasofya Kilisesi (Şekil 1.2) yaklaşık 800 yıl boyunca dünyadaki en büyük yapı olma özelliğini korumuştur (www.lusas.com). Donatılı veya donatısız, dolgu duvar olarak depreme ve rüzgar yüklerine karşı göstermiş olduğu dayanım ile günümüzde hala büyük ilgi görmektedir. Davranışını anlamadaki başlıca eksiklik taş, briket, tuğla gibi temel yığma yapı elemanlarının harç ve diğer bağlayıcı elemanlar ile kompozit malzeme olarak çalışmasındandır (Lourenço vd., 1998).



Şekil 1.1 Eski Mısır'daki bir anıt mezar üzerinde bulunan tuğla yapımının işlendiği duvar yazısı (Lourenço, 1996)



Şekil 1.2 Ayasofya Camii

Mühendislik açısından, tüm duvarlarının taşıyıcı olduğu yapıya yığma yapı denir. TS2510 Kagir Duvarlar Hesap ve Yapım Kurallarında kagir duvar ve ona bağlı olarak yığma kagir yapı için şu tanımlar yapılmaktadır (TS 2510, 1977):

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

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

Türkiye’de, gerek kırsal kesimlerde gerekse kentlerde inşaa edilen yapıların önemli bir kısmı yığma yapılardır. Bu durum, 2000 yılı bina sayımı sonuçları incelendiğinde daha iyi anlaşılabilir. 2000 yılı bina sayımı, belediyelerin yakınlarındaki alanlarına da uygulanmış ve bu bölgede toplam 224.971 bina tespit edilmiştir. Taşıyıcı sisteme göre, binaların %51,1’i yığma, %48,4’ü iskelet olarak inşaa edilmişlerdir. İnşaatların dolgu maddesi cinslerine göre ise en fazla payı %59,6 ile tuğla almaktadır. Bunu %18,0 ile briket, %9,8 ile taş ve %7,9 ile kerpiç izlemektedir (DİE, 2000).

Özellikle son yıllarda yığma yapılar üzerinde yapılan nümerik çalışmalar oldukça artmıştır. Yapılan çalışmalarda modelleme için bir çok yöntem kullanıldığı görülmektedir. Yığma yapıların nümerik analizinde dikkat edilmesi gereken birçok konu olduğu ve çalışmanın çok karmaşık olmaktan basitleştirmeye yönelik araştırma çalışması yapılması gerektiği görülmektedir.

2. YIĞMA YAPILARIN YAPISINDA KULLANILAN MALZEMELER

Yığma yapı elemanları, çamurdan yapılmış kerpiçten doğal taş kadar geniş bir yelpazede, metalik özellik taşımayan inorganik malzemelerin çoğunu içinde barındırır. Ancak, yığma yapılarda en çok kullanılan malzemeler doğal taş ve tuğladır. Yığma yapı elemanlarının dayanım ve deformasyon özelliklerinin analitik yöntemlerle belirlenmesi oldukça zordur. Ayrıca mevcut yığma yapıların birçoğunu oluşturan tarihi yapıların taşıyıcı elemanlarının taşıma gücünün laboratuvar deneyleriyle belirlenmesi çok zor bir işlem olup neredeyse olanaksızdır. Ancak, sanatsal ve kültürel değerlerini yaralamadan, bu yapılardan alınabilecek çok küçük örnekler veya aynı özellikleri taşıyan prototip modeller laboratuvarlarda test edilebilmektedir. Fakat, bu deneyler sonucunda elde edilen veriler hiç bir zaman tam doğru sonuç vermez. Küçük bir örnekten elde edilen sonuçlar çok daha büyük boyutlara sahip mevcut yapı elemanlarının gerçek davranış özelliğini yansıtmaz (Ünay, 2000).

Malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, yığma yapıların yük taşıma performansını çok yakından etkiler. Bu özellikler, dayanıklılık, su emme katsayısı, basınç dayanımı, kayma dayanımı, çekme dayanımı ve ısı genleşme özellikleridir. Hava kirliliği, rüzgarın ve aşırı ısının neden olduğu aşınma, çatlaklara dolan suyun donması sonucunda oluşan basıncın neden olduğu zararlara karşı malzemenin dayanıklılığı, basınç dayanımı ve su emme kapasitesi ile ölçülmektedir.

Yapı elemanının basınç dayanımı yığma yapıların yük taşıma kapasiteleri açısından çok büyük önem taşır. Yığma yapı elemanları, beton gibi çok küçük çekme dayanımı olan, kırılma malzeme özelliğine sahiptir. Eğilme momenti ve kayma gerilmelerine karşı da, yığma yapı malzemeleri ve beton çok çarpıcı benzerlikler gösterir. Yığma yapı elemanları, belirli bir büyüklükte temel birim malzemenin (tuğla veya taş) harç veya başka bağlayıcı malzeme ile kaynaşması sonucunda elde edilmiş, bir bütün olarak davranan elemanlardır. Betonun oluşturan, agrega ve çimento da hemen hemen aynı özellikleri taşımaktadır. Ancak, yığma yapı birim elemanı taş veya tuğlaya göre betondaki agreganın boyutları oldukça küçüktür. Bu özelliğinden dolayı beton homojen bir malzeme olarak kabul edilebilir. Buna karşılık, yığma yapı malzemesini oluşturan taş veya tuğla birim elemanın boyutunun, yığma yapı elemanın kesit boyutuna göre oranı daha büyüktür. Ayrıca yığma yapı elemanını oluşturan birim elemanlar ve bağlayıcı eleman olan harç çoğunlukla birbirinden oldukça farklı malzeme özelliklerine sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı yığma yapı elemanı, genellikle birim elemanının boyutları ve birbirine bağlanma şekline göre homojen malzeme olarak kabul edilebilir. Yığma yapı elemanlarında birim elemanların bağlanma şekli yapı elemanın taşıma

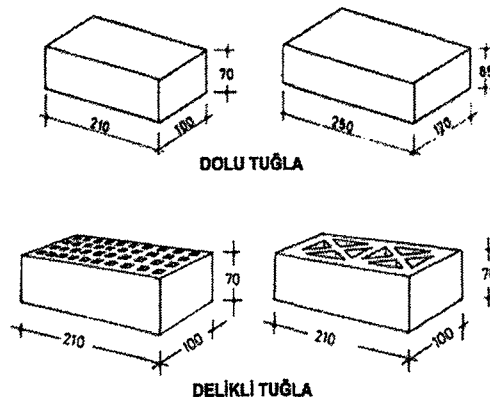
gücü bakımından da çok önemlidir (Ünay, 2002).

2.1 Tuğla

Tuğla kelimesinin kökeni latinceye uzanmaktadır. Latince de tuğla kelimesinin karşılığı “tegula” dır. Tuğla, killi toprak ve balçığın, kaolinin veya içinde kısmen bunları ihtiva eden toprakların harman edilip, gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla veya kiremit tozu, kül veya benzeri katkı maddeleri ile karıştırılarak fırınlanmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. Bu tanımıyla tuğla bir birimsel yapı bileşenidir. Tuğlanın ana malzemesi olan kil doğada üç şekilde bulunur(Türkçü, 1997).

- Yüzeyde bulunan kil
- Yüksek basınçta sertleşmiş kil ve killi topraklar
- Yer kabuğunun derinlerinde bulunan ve ısı nedeniyle sertleşmiş kil

Yapılan araştırmalar, Roma döneminden çok önce bile tuğlanın önemli bir yığma yapı elemanı olarak kullanıldığını göstermektedir. Tarihi yapılarda, pişirilmiş kilden üretilen tuğlayı oluşturan malzemeler genellikle dere yataklarında yüzeysel olarak biriken kum taşlarının kalıntılarından elde edilirdi. Pişmiş kilden üretilen tuğlalar, görünümleri ve işlevlerine göre birçok kritere göre sınıflandırılabilir. Tarihi yapılarda kullanılan tuğlalar saf kaolin ve kil karışımının fırınlarda yüksek ısı altında pişirilmesiyle elde edilir. Fırın teknolojisinin bulunmadığı yerlerde, bazı tarihi yapılarda kullanılan tuğlaların doğrudan güneş ısı altında üretildiğine de rastlanmaktadır. Tipik tuğla boyutları şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Tipik tuğla elemanlar

Her yerde kolay bulunup üretilmesi ve ucuz olması nedeniyle bir çok yerdeki yapının ana malzemesi olma niteliğini kazanmıştır. Tuğlanın taş gibi yalnız basınç dayanıklı bir malzeme olmasından dolayı yapı taşıyıcı sistemi basınç alacak şekilde biçimlenmiştir. Böylece, kütleli (masif) bir yapı biçimi doğmuştur. Geleneksel büyük örtü sistemlerinin esas elemanlarını oluşturan kemer, tonoz ve kubbe, kerpiç ve tuğlanın ana yapı malzemesi olduğu bölgelerde ortaya çıkmıştır.

Tuğla ile yapılmış yığma yapı elemanının dayanımı, tuğlayı oluşturan malzemenin kalitesi, kullanılan harç ve tuğlanın örülme desenine bağlıdır. Tuğlaların basınç dayanımı malzeme özelliklerine bağlı olarak 10MPa dan 30MPa a kadar değişir. İyi fırınlanmış tuğla, iyi fırınlanmamış tuğlaya göre iki kat daha fazla dayanıma sahip olabilir. Genel olarak tuğlanın çekme dayanımı basınç dayanımının %10'u, kayma dayanımı ise basınç dayanımının %30'u kadardır. Çok rastlanan bazı tuğla cinslerinin ortalama fiziksel özellikleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Tuğlaların ortalama fiziksel özellikleri (Ünay, 2002)

Basınç dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Kayma dayanımı (MPa)
10-30	2,7-5,0	10-20

Tuğla, homojen, porozitesi düşük ve ince taneli, iyi pişmiş, kenar ve yüzeyleri düzgün olacak şekilde düzgün kalıplanmış olmalı, çatlak, yarık ve boşluklar bulunmamalıdır. Tuğla yanık olmamalı, 1,50m yüksekten sert bir zemine bırakıldığında, ikiden fazla parçaya ayrılmamalıdır. Üzerine çekiçle vurulduğunda, tiz ve berrak bir ses vermelidir. Ayrıca, su içerisinde 12 saat bekletildiğinde, ağırlığının %20'sinden fazla su emmemiş olmalıdır.

Tuğla, ölçüsü ve oluşturduğu düzenlerle, duvarın görünüşüne de ayrı bir özellik kazandırır. Örneğin Geleneksel İslam Mimarisinde tuğla, zengin geometrik düzenler için kullanılmış ve etkileyici dekoratif değerler elde edilmiştir.

2.2 Harman Tuğlası

Harman tuğlası, kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya birlikte yoğrulup gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla, kiremit tozu ve benzerleri ile karıştırılıp şekillendirildikten sonra kurutulup genellikle harman yerinde ocaklarda pişirilmesi yolu ile elde edilen ve duvar yapımında kullanılan bir malzemedir (TS 704, 1979).

Harman tuğlaları basınç dayanımlarına ve biçimlerine göre iki şekilde sınıflandırılırlar.

Basınç dayanımlarına göre harman tuğlaları;

- Orta dayanımlı harman tuğlası
- Az dayanımlı harman tuğlası olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

Biçimlerine göre harman tuğlaları;

- Dolu Harman Tuğlası (DOHT)
- Delikli Harman Tuğlası (DEHT) olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

Çizelge 2.2 Biçim ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlası sınıfları

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

Harman tuğlası dikdörtgenler prizması şeklinde olmalı, yüzleri ve kenarları düzgün olmalıdır. Dolu tuğlaların üst yüzünün ortasında, derinliği 10mm'den fazla olmayan çukurluklar bulunabilir. Tuğla üst yüzünde bu şekilde çukurluklar bulunması halinde çukur kenarlarının, buldukları yüzün kenarlarına uzaklığı 20mm'den daha az olmamalıdır. Düşey delikli harman tuğlasında bulunan delikler, tuğlanın alt ve üst yüzlerinde olabildiğince eşit aralıklarla yayılmış bulunmalı ve bu yüzlere dik olarak tuğlanın bütün yüksekliği boyunca devam etmelidir. Dikdörtgen biçimli bir delik kesitin kenar uzunluğu 15mm'den küçük ve enkesiti 4,5cm²'den büyük olmamalı ve daire biçimli deliklerin çapları 25mm'yi aşmamalıdır. Deliklerin toplam enkesit alanı, buldukları tuğla yüzü alanının %25'inden büyük olmamalıdır.

Çizelge 2.3 Harman tuğlasının boyutları (TS 704, 1979)

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

2.3 Fabrika Tuğlası

Fabrika tuğlası, kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya harman edilip, gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu, kül ve benzerleri karıştırılarak makinelerle şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen ve duvar yapımında kullanılan bir malzemedir(TS 705, 1985).

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

Delik oranlarına göre fabrika tuğlaları; Dolu Tuğla, Seyrek Delikli Tuğla, Az Delikli Tuğla olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar.

Dona dayanıklılıklarına göre fabrika tuğlaları; Dona Dayanıklı Tuğla (Cephe Tuğlası), Dona Dayanaksız Tuğla olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar.

Fabrika Tuğlasının Basınç Dayanımı bir çok faktöre bağlıdır:

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

Delik oranlarına göre fabrika tuğlalarının birim hacim ağırlık ve basınç dayanımları çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4 Fabrika tuğlasının birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı(TS 705, 1985)

Tuğla Sınıfı	Tipi	Tuğla Sembolleri	Basınç Dayanımı		Hacim Ağırlığı (kg/m ³)		Delik Oranı (%)
			Aritmetik Ortalama (kgf/cm ²)	En Küçük Değer (kgf/cm ²)	Max.	Min.	
Dolu Tuğla	2000 kg/m ³	2,0/240	240	190	2000	1801	15
		2,0/180	180	145			
		2,0/120	120	95			
	1800 kg/m ³	1,8/220	220	175	1800	1601	
		1,8/150	150	120			
		1,8/100	100	80			
Seyrek Delikli Tuğla	1600 kg/m ³	1,6/220	220	175	1600	1401	20
		1,6/150	150	120			
		1,6/100	100	80			
	1400 kg/m ³	1,4/200	200	160	1400	1201	25
		1,4/120	120	95			
		1,4/80	80	65			
Az Delikli Tuğla	1200 kg/m ³	1,2/150	150	120	1200	1001	35
		1,2/100	100	80			
		1,2/60	60	45			

Fabrika tuğlasının basınç dayanımı, TS705'e göre uygun olarak hazırlanan numunenin kırılmasına neden olan P_k yükü, A_o yükleme alanına bölünerek (2.1)'deki bağıntıyla hesaplanır:

$$f_b = \frac{P_k}{A_o} * k^* \quad (2.1)$$

Burada;

f_b Tuğlanın basınç dayanımı (kg/cm²)

P_k Kırılma anındaki yük (kg)

A_o Tuğlanın basınç uygulanan yüzünün alanı (cm²)

k^* Tuğlanın biçim katsayısı

Alanın hesaplanmasında, delik alanları A_o yükleme alanından düşülmez.

Çizelge 2.5 Fabrika tuğlası anma yükseklikleri ve biçim katsayıları

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

Delikli tuğlaların basınç dayanımını deliklerin oranı kadar biçimleri de etkiler. Delik oranı aynı fakat daha çok sayıda küçük deliklerden oluşan bir tuğlanın basınç dayanımı daha yüksek olmaktadır. Bunun nedeni boşlukları çevreleyen dolu kesitlerin burkulma boylarının küçük delikli tuğlalarda daha küçük olmasıdır. Ayrıca boşluk oranı aynı fakat delik biçimleri farklı olan tuğlaların da basınç dayanımı farklı olmaktadır. Aynı boşluk oranına sahip farklı boşluk şekillerinden oluşan tuğlalar üzerinde yapılan bir araştırmada (Schellback-1970) delikler nedeniyle oluşan gerilme birikimlerinin oranları karşılaştırılmıştır. Buna göre dolu tuğlada gerilme birikimi 1,0 olarak alınırsa dairesel delikli tuğlada bu oran 4,97, eliptik delikli tuğlada 9,91, dikdörtgen delikli tuğlada 7,1 olmaktadır (Ünay, 2002). Eğer dikdörtgen deliklerin köşeleri yuvarlatılırsa gerilme birikimi daha da azalmaktadır. Söz konusu araştırmada dairesel delikli tuğla, delik oranlarının aynı olduğu dikdörtgen ve kare delikli tuğlalara göre daha yüksek dayanımlı olduğu ortaya çıkmıştır.

2.4 Doğal Yapı Taşları

Taş, en eski yapı malzemelerinden biridir ve kalıcı olması düşünülen yapıların inşaatında özellikle tercih edilmiştir. Doğal yapı taşı, doğada mevcut taş ocaklarından çıkarılan, homojen, atmosfer etkilerine dayanıklı, kaya bilimi ve teknolojik özellikleri bakımından yapı işlerinde kullanılmaya elverişli taştır. Yığma binaların yapımında kullanılacak doğal taşlar ocak taşı olmalı ve bünyelerinde çatlak kısımlar ve hava etkisi ile ayrıışmış veya ayrıışmaya başlamış kısımlar bulunmamalıdır. Taşların, elde edildikleri ocağın açık yüzeyine yakın yerlerinden çıkarılmış olanlarının, hava tesirleri ile ayrıışmış, bozulmuş veya rengi değıışmiş kısımları, taş ocağında iken temizlenmeli ve yapı yerine getirilmiş olan taşların hiç bir yerinde bu şekilde bozulmuş, ayrıışmış veya renk değııştirmiş kısımların bulunmaması sağlanmalıdır(TS 2513, 1977).

Doğal taş şimdiye kadar bilinen en dayanıklı yapı malzemelerinden birisidir. Geçmişte, özellikle basınca çalışan taşıyıcı sistemlerin kaçınılmaz malzemesi olan doğal taş, büyük açıklıkları kemer, tonoz ve kubbe gibi konstrüksiyonlarla geçmede yaygın biçimde kullanılmıştır. Taşın çoklukla bulunduğu yörelerde hem sivil mimarlık örneklerinde hem de büyük saraylar ve köşkler, dinsel ve resmi yapılar gibi büyük ölçekli prestij binalarında doğal taş kullanımı her zaman çok olmuştur. Taşın tarihi yapılarda yaygın olarak kullanılmasının nedeni, hemen hemen her yerde ve arazi koşullarında kolaylıkla bulunabilmesinin getirdiğı avantajdır. Taşın strüktürel dayanıklılığı, jeolojik ve kimyasal özellikleri ile incelenebilir. Taş basınç kuvvetlerine karşı çok dayanıklı, çekme kuvvetlerine karşı ise oldukça zayıftır.

Bazı taşların, basınç yükleri altında deformasyon yapma kabiliyeti, betonunkine yakın veya daha azdır. Elastik modülün bilinmesi ile taşıyıcı elemanın yüklenmesi sonucu yaptığı sehim hesaplanabilir. Elastik modül, malzeme laboratuvarlarında, statik basınç yükleri altında, numuneler üzerinde yapılan kırma deneyleriyle elde edilir. Eski yapılarda, genellikle numune alınamayacağından, elastik modül belirlenmesi özel olarak geliştirilmiş ultrasonik araçlarla yerinde yapılır

Ana malzeme biriminin taş olduğu yığma yapı elemanlarının da dayanım, dayanıklılık ve diğer malzeme özellikleri, taş, harç, taşın işleniş biçimi ve birleşim dokusuna bağlıdır. Genellikle tarihi yapılarda kullanılan yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri çizelge 2.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 Doğal yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri (Ünay, 2002).

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

Doğal yapı taşlarının cinslerine göre TS 2513'de verilen minimum basınç ve eğilmede çekme dayanımları çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7 Doğal yapı taşlarının minimum basınç ve eğilmede çekme dayanımları

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

Doğal yapı taşlarının basınç dayanımları 350kg/cm^2 ile 1400kg/cm^2 'ye arasında olmasına rağmen örümlü duvarların emniyet gerilmeleri TS2510'da belirtildiği gibi oldukça küçüktür. Doğal taş duvarların emniyet gerilmeleri şu etkenlere bağlıdır.

1) Duvarın örüldüğü taşın basınç dayanımı

Yapı taşı olabilecek bir doğal taşın basınç dayanımı için 4 grup belirlenmiştir.

* En küçük basınç dayanımı 350kg/cm^2	I.Grup
* En küçük basınç dayanımı 500kg/cm^2	II.Grup
* En küçük basınç dayanımı 800kg/cm^2	III.Grup
* En küçük basınç dayanımı 1200kg/cm^2	VI.Grup

2) Duvarın yapım yöntemi

Yönetmelikte sözü edilen örgü yöntemleri moloz taş duvarlar, çekiçle kabaca düzeltilmiş taş duvarlar, yonu taş duvarlar ve kesme taş duvarlardır.

3) Kullanılan harcın cinsi

Yapay ve doğal taşlardan örümlü tüm kagir duvarlar için geçerli harç tipleri 5 ana grupta standartlaştırılmıştır. Gruplandırma çimento, kum ve kireç etkindir.

4) Duvarın narinliği

Duvarın emniyet gerilmesinin bulunmasında, duvarın narinliği de göz önünde tutulur. Narinliğin hesaplanmasında, duvarın kat döşemeleri arasında kalan ve oturduğu döşeme kotu ile bu duvara oturan ardışık döşeme plağı hatılının altı arasındaki mesafeye eşit h' yüksekliği ve duvarın d' anma kalınlığından yararlanılarak narinlik (2.2) formülü ile bulunur.

$$\lambda = \frac{h'}{d'} \quad (2.2)$$

Ancak kesme taş duvarın narinliği 14'e kadar çıkabilmektedir, o yüzden moloz, kaba ve yonu taş duvarlar ayrı bir tabloda gösterilmektedir.

Çizelge 2.8 Doğal taş duvarlarda narinliğin $\lambda \leq 10$ değerleri için basınç emniyet gerilmeleri (kgf/cm^2)(Türkçü, 1997)

Yapım Yöntemine Göre Duvar Grupları	Harç Grubu	Doğal Taş Grubu			
		I	II	III	IV
Moloz taş duvar	E	3	4	5	6
	D, C	3	4	6	8
	B	4	6	8	10
	A	4	6	10	12
Çekiçle kabaca düzeltilmiş taş duvar	E	4	6	8	10
	D, C	6	8	10	12
	B	8	10	12	15
	A	10	12	15	20
Yonu taşı duvar	D, C	8	10	12	15
	B	10	12	15	20
	A	12	15	20	25

Çizelge 2.9 Kesme taş duvarlarda basınç emniyet gerilmesi anma değeri (Türkçü, 1997)

Harç Grubu	Doğal Taş Grubu			
	I	II	III	IV
D, C	10	15	20	25
B	15	20	25	30
A	20	25	30	40

Çizelge 2.10 Kesme taş duvarlarda basınç emniyet gerilmesi anma değeri ve narinlik katsayısına göre emniyet gerilmesi hesap değerleri kgf/cm^2 (Türkçü, 1997)

Narinlik Değeri (λ)	Basınç Emniyet Gerilmesi Anma Değeri					
	10	15	20	25	30	40
≤ 10	10	15	20	25	30	40
12	7	11	14	18	22	30
14	5	7	9	11	14	22

Taşın ana birim olarak kullanıldığı yığma yapı elemanlarının dayanımı, eğer taş harçtan daha az dayanıma sahip ise, öncelikle harcın dayanımına bağlıdır. Öte yandan, taşın kendi öz kırılma dayanımı, taş kullanılan yığma yapı elemanın gerçek dayanımı üzerinde çok etkili olamaz. Taş yığma yapı elemanlarının dayanımı genel olarak taş ve harç birleşiminin ortak davranışına göre belirlenir. Tarihi yapılarda kullanılan taş yığma yapı elemanları çok geniş bir dayanım değeri gösterir. Taş yığma yapı elemanlarının kayma dayanımı genel olarak basınç dayanımının %25'i kadardır (Türkçü, 1997).

Günümüzde taş işçiliği ustalık gerektirdiği için özellikle gelişmiş ülkelerde pahalı bir malzeme olarak görülmektedir. Ayrıca doğal taş fiyatları artık eskiden olduğu gibi, yapay taşlara oranla ucuz da değildir. Taş duvarların kalınlığından kaynaklanan temellerin ve temel sömellerinin daha büyük yapılması zorunluluğu yapı maliyetini artıran bir başka etken olmaktadır. Taş duvarlar tuğla duvarların en az iki katı (moloz duvarlarda iki buçuk katı) kalınlığında yapılırlar.

Yüzeylerinin yeterince düzgün olmaması daha kalın bir harç ve sıva işçiliği gerektirmektedir. Bunlardan dolayı doğal taş artık bir kaplama malzemesi olarak da duvar yapımında yer almaktadır. Böylece dış fiziksel etkilere karşı dayanıklı olan bu malzeme ince plaklar (levhalar) halinde kaplama görevini görür ve duvarlara güzel bir görüntüm kazandırır.

Taş duvarların bir başka olumsuz yanı da ülkemizdeki kat adedinin sınırlı olmasıdır. Örneğin, Afet yönetmeliğine göre moloz taş duvarlar en çok tek kat olarak yapılabilirler.

2.5 Kerpiç

Güneşte pişirilerek üretilen kerpiç bir zamanlar, mimarlık tarihinin eski dönemlerinde, önemli yapı malzemelerinden birisiydi. Ağaç varlığının az olduğu, taşın kolay bulunmadığı yöre ve ülkelerde kerpiç yaygın biçimde uygulanmıştır. Bundan 6000 yıl önce Mezopotamya'da Asurlular kerpiç kullanarak yığma yapılar inşa etmişlerdi. Mezopotamya'nın o zamanlar kerpiç yapılarla kaplı olduğu rahatlıkla söylenebilir. Eski Mısır'da da kerpiç bilinmekte ve kullanılmaktaydı. 3000 yıl önce inşa edilmiş olan II.Ramses'in Luksor'daki Ölüler Tapınağının girişindeki tonozlar kerpiçlerden üretilmişti ve bugün hala ayakta durmaktadır. Birçok dinsel yapıların ve hatta prestij yapılarının, örneğin ünlü Babil Asma Bahçeleri ve ziguratların yapımında çoğunlukla kerpiç kullanılmıştır (Türkçü, 1997).

Bugün kerpiç yeniden güncel bir yapı malzemesi olarak görülmeye başlanmıştır. Bunun nedeni; kerpiciin doğal, sağlıklı bir malzeme olması, yöresel malzeme olarak kolay elde edilip, ucuza üretilmesi ve üretiminde tuğla veya betona oranla yok denecek kadar az enerji gerektirmesidir. Yöresellik, ucuzluk ve çevre uyumluluğu gibi özellikleri, gelişmekte olan ülkelerde dar gelirlilere konut yapımında bir çıkış yolu olarak belirlemektedir. Çünkü bu gibi ülkelerde endüstriyel üretilen yapı malzemelerinin çoğu, örneğin fabrika tuğlası, çimento, diğer gazbeton bloklar v.b. fakir kesimin alım gücünü aşmaktadır. Oysa basit yöntem ve aletlerle dar gelirliler kerpici kendileri üretebilmektedir.

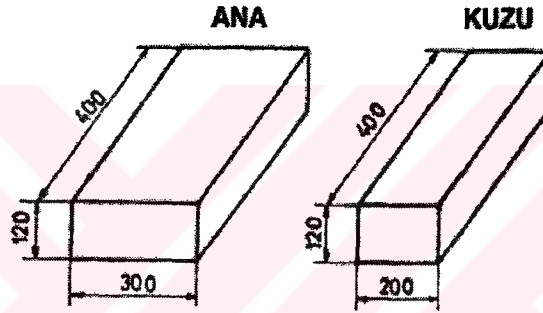
Kerpiç bloklar, killi ve uygun nitelikte toprağın içine saman veya diğer bitkisel lifler vb. veya saz türünden bitkiler, kaba ot, kenevir lifleri, saman, kuru funda, çam iğneleri, ağaç dalları, testere ve rende talaşları ve benzeri katkı maddeleri karıştırılıp su ile yoğrulup kalıplara dökülerek şekillendirmek ve açık havada kurutmak suretiyle elde edilen mamullerdir. Kerpiç blokları boyutlarına göre, ana ve kuzu diye adlandırılırlar (Şekil 2.2).

Kerpiç yapılar TS2515'e göre : "Duvarları kerpiçle örülen, tavan ve kat döşemeleri ahşap olan yapılar" olmaktadır. Afet yönetmeliğindeki tanımlama ise şöyledir: "Temel ve bodrum duvarları doğal taş, taşıyıcı duvarları kesme yada yerinde dökme kerpiç, tavan ve kat döşemeleri ahşap olan yapılara kerpiç yapılar denir".

Kerpiç tuğlaya çok benzeyen bir malzemedir. Kilin özelliklerinden yararlanılarak ıslatıp yoğrulan ve kerpiç kalıplarında şekillendirilen kerpiç hamuru (ham maddesi) güneşte kurutulur. Kuruduktan sonra basınç dayanımı tuğla kadar yüksek olmayan, suya karşı oldukça hassas bir yapı bileşeni ortaya çıkmaktadır.

Kerpicin ana maddesi kum ve kildir. Kil kumu bağlama, birleştirme görevini görür. Kum, kil ve su karışımı kerpiç hamuru adını alır. Kerpiç hamuru içindeki kil miktarı, kerpiçin niteliğini belirler. Uygun kum/kil oranı olarak 1/5, kısaca 1 birim kum için 5 birim kil önerilmektedir.

Kerpicin içine saman karıştırarak malzeme dayanımını artırmak eskiden beri bilinen ve uygulanan bir yöntemdir. Saman yerine diğer bitkilerin kurumuş liflerini karıştırmak da olasıdır. Bu bitkisel katkılar malzeme içindeki rutubetin dışarıya atılmasını sağlayarak kerpiçlerin çatlamalarını belli ölçüde önlemekte, karışımın birleşme ve yapışma (kohezyon) özelliğini artırmakta ve buna bağlı olarak statik dayanımını güçlendirmektedir. Bugün bitkisel katkıların çürütüp bozulmalara neden olduğu anlaşılmıştır. O nedenle statik dayanımı artırmak için kerpiç hamuruna alçı veya çimento (%2-4) katmak yoluna gidilmektedir. Fiziksel özellikler ve yağmura dayanıklılık yönünden olumlu sonuçlara varabilmek için de bitüm emülsiyonları v.b. gibi katkı maddelerinin ilavesi yolu seçilmektedir.



Şekil 2.2 Kerpiç birimleri (Ölçüler mm)

Çizelge 2.11 Kerpiçlerin sınıflandırılması

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

Kerpiçler dikdörtgen prizma şeklinde olmalıdır. Bloklarda çatlak ve kırık bulunmamalıdır. Kerpiç bloklarda basınç dayanım deneyi şu şekilde yapılır:

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

$$\sigma_k = \frac{P_{max}}{A'} \quad (2.3)$$

Burada;

P_{max} Kırılma yükü (kg)

A' Numunenin basınç uygulanan alanı (cm²)

σ_k Kerpiçin basınç dayanımı (kg/cm²)

Deney uygulandığında kerpiçlerin en küçük basınç dayanımı 8kg/cm²'den az ve ölçülen numunelerin ortalaması 10kg/cm²'den az olmamalıdır.

Çizelge 2.12 Kerpiç yapı yapım kurallarının afet yönetmeliği ve TS2515'e göre karşılaştırması

	Afet Yönetmeliği Kuralları	TS2515 Kuralları
Kat Adedi	Kerpiç yapılar deprem bölgelerinde en fazla bodrum üzerine tek katlı olabilir.	Bodrum üzeri iki kat yapılabilir.
Temeller ve boyutları	Temeller don derinliği altında (en az 80cm) olacaktır. Temel duvarları dış zemin yüzeyinden en az 50cm yukarıya çıkacaktır. Temel duvarı kalınlığı bodrumsuz binalarda en az 50cm, bodrumlularda ise 60cm moloz taş duvar olmalıdır.	Temel derinliği 70cm'den az olmamalıdır. Temel duvarı genişliği tek katlı yapılarda en az 50cm, iki katlı olanlarda 60cm olmalıdır.

<p>Taşıyıcı duvarlar ve kat yükseklikleri</p>	<p>Kerpiç üretimi TS2514'e göre yapılacaktır. Normal kerpiç boyutları 30/25/12 ve 30/18/12, yada 40/30/12 veya 40/19/12cm olmak üzere taşıyıcı dış kerpiç duvarlar en az 1,5 kerpiç boyu, iç duvarlar ise 1 kerpiç boyu kalınlıkta yapılmalıdır. Bodrum katında 2,4m, zemin katta 2,7m yükseklik aşılmamalıdır.</p>	<p>Belli bir kerpiç boyutu verilmemiştir. TS537'de farklı çimentolu kerpiç boyutları vardır. Tek katlı taşıyıcı duvarlar 40cm'den, iki katlı yapılarda alt kat duvarı 50cm, üst kat duvarı 40cm'den az olmamalıdır. Duvar yükseklikleri kalınlığı 40cm olan duvarlarda 2,5m, 50cm olanlarda 3,5m'yi aşmamalıdır.</p>
<p>Duvarların kararlılığı</p>	<p>Yatay yüklere karşı kararlılığı sağlamak için duvar ekseninden her 4,5m'de duvara dik doğrultuda bir destek duvarı saplanmalı ve bunun kalınlığı en az bir kerpiç boyunda olmalıdır.</p>	<p>Taşıyıcı duvarlar içten içe serbest açıklığı 4m'yi aşmayan kendilerine dik düzlemde yer alan duvarlarla desteklenmelidir.</p>
<p>Duvar boşlukları</p>	<p>Dış duvarlardaki kenar, kapı ve pencere boşlukları arasında en az 1m'lik dolu duvar parçaları bırakılacaktır. Taşıyıcı duvar ile destek duvarı arası en az 50cm dolu olacaktır. Kapı boşlukları 2,1/1,0m'den, pencere boşlukları yatayda 0,9m, düşeyde 1,20m'den büyük olmayacak, bunların arasında en az 60cm boyunda dolu duvar parçası bırakılmalıdır. Bu yapılamıyorsa boşlukların iki yanına 10/10cm'lik dikmeler konarak pencere hatıllarına bağlanacaktır.</p>	<p>Afet yönetmeliğindeki koşullar aynen geçerlidir. Pencere açıklığı afet yönetmeliğinde olduğu gibi yatayda 0,90m, düşeyde 1,20m olarak verilmiştir.</p>

<p>Hatıllar ve lentolar</p>	<p>Temel yada bodrum duvarı üzerine betonarme veya ahşap hatıl yapılacaktır. B.A. hatıl, duvar genişliğinde ve en az 15cm yükseklikte olacak, beton kalitesi en az C14 (min. dozaj 250kg/m³) içine 6Ø10'luk donatı demiri yerleştirilerek 20cm aralıklı Ø8'lik etriyelerle bağlanacaktır.</p> <p>Hatıl ahşap olacaksa, iki adet 10/10cm'lik katranlanmış kirişler kullanılacaktır. Ayrıca pencere altına ve üstüne, çatı makas ve kirişlerinin oturacağı duvarların üzerine de aynı özelliklere sahip ahşap hatıllar gelecektir. Hatıllar her 50cm'de bir 5/10cm'lik kadranlarla çivili olarak birleştirilecek, araları taş parçalarıyla doldurulacaktır.</p>	<p>Betonarme hatılın boyutu afet yönetmeliğinde verilen gibi olacak donatı miktarı 4Ø8 ve Ø6/40'luk etriyeler şeklinde düzenlenecektir. Ahşap hatıllar 5/10cm kesitinde olacak ve her metrede bir 5/10cm'lik parçalarla bağlanacaktır.</p> <p>Hatıl olarak Ø8cm'lik tomruklar da kullanılabilir. Kapı ve pencere üstlerinde iki hatıl arası 1,5m'lik lento kirişleriyle doldurulmalıdır.</p>
<p>Çatılar</p>	<p>Çatılar dış duvarları 50cm geçecek şekilde saçaklı olarak yapılacak ve hafif olmasına dikkat edilecektir. 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde toprak dam yapılmayacaktır. Diğer deprem bölgelerinde toprak kalınlığı 15cm'yi geçmeyecektir. Kerpiç yapıların çatıları ahşap makas veya TS500'e göre betonarme plak teras çatı şeklinde de yapılabilir.</p>	<p>Dam altı kirişleri en az Ø15cm'lik tomruk veya 10/15cm'lik aşık olacak bunlar 40cm aralıklı ve 50cm'lik bir saçak oluşturacak şekilde yerleştirilecektir. Kiriş serbest açıklığı 4m'yi aşmayacak, aksi halde statik hesabı yapılacaktır. Kirişlerin üstü 2cm kalınlıkta tahta latalarla kaplanarak üzerine 15cm'lik killi toprak ve 5cm'lik çorak serilerek gerekli eğim verilecektir.</p>

2.6 Beton Briket

Beton briketler, çimento, hafif ve normal ağırlıkta agregalar, su ve gerektiğinde başka katkı maddeleri ile üretilirler. Üretimlerinde agrega olarak kum ve çakıl kullanıldığı gibi cüruf ve bims gibi doğal hafif agrega da kullanılmaktadır. Beton briketler çoğunlukla boşluklu olarak üretilirler. Genellikle piyasa için üretilenler betonarme yapıların dolgu duvarlarında ve döşemelerinde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Çok sayıda yapıyı içeren inşaat uygulamalarında şantiyede bile üretilmektedirler (Bayülke, 1980).

Beton briketler çoğunlukla tuğlanın üretilmediği ve tuğla taşıma bedelinin yüksek olduğu bölgelerde ve de özellikle çevrede hafif agreganın bol bulunduğu yerlerde yoğun olarak üretilmektedirler. Örneğin İç Anadolu Bölgesinde, Kayseri, Niğde ve Nevşehir çevresinde volkanik bir taş olan tuf ve ponza taşı da denen malzemenin yoğun olarak bulunması bu bölgede hafif beton briket üretimini çok yaygınlaştırmıştır. Bu arada 1980'li yılların başında kabul edilmiş yapılarda ısı yalıtımı zorunluluğu da bu tür ısı yalıtımı yüksek olan hafif beton briket üretimini teşvik etmiştir.

TS406 Beton blok ve briketler için standartlarda beton briket, boşluklu olup olmasına göre, Dolu briket, Boşluklu briket olmak üzere iki sınıfa; hacim ağırlıklarına göre on iki sınıfa ayrılmaktadır.

Beton blok ve briketler basınç mukavemetlerine göre BB2, BB4, BB6, BB12 olmak üzere dört türe ayrılırlar. (Bayülke, 1980).

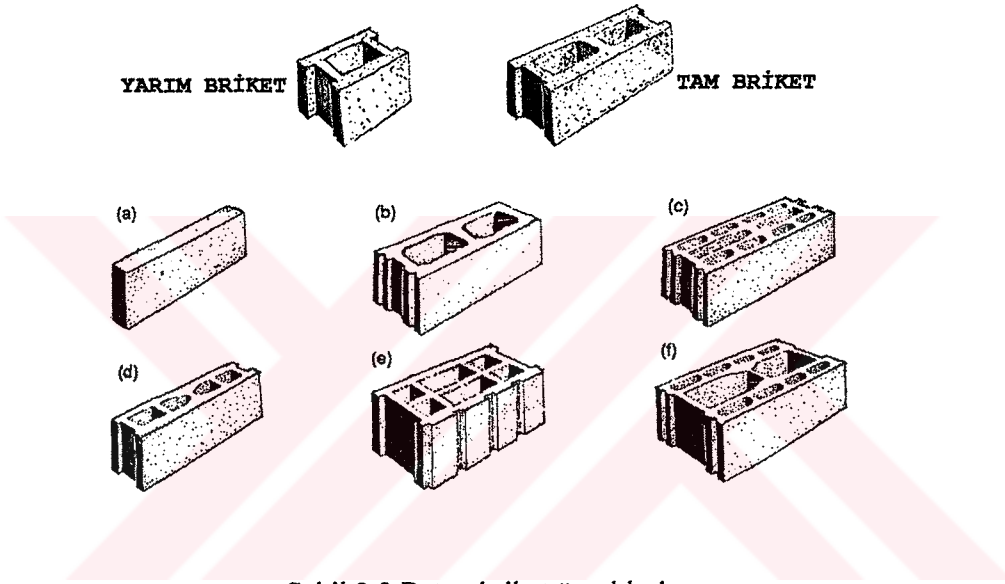
Beton briketlerin boyutları çizelge 2.13'te, basınç mukavemetleri çizelge 2.14'te verilmiştir.

Çizelge 2.13 Beton briketlerin boyutları

		Beton Briketlerin Boyutları					
Genişlikler (cm)		g	10	15	20	25	30
		y	19	19	19	24	24
Uzunluklar (cm)	Tam	u	39	39	39	49	49
	Yarım	u/2	19	19	19	24	24

Çizelge 2.14 Beton blok ve briketlerin basınç mukavemetleri

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



Şekil 2.3 Beton briket örnekleri

2.7 Harç

Topraktan elde edilen kerpiç ve tuğlanın yapı malzemesi olarak kullanılması “harcın” doğmasına neden olmuştur. İlk kullanılan harç “çamur” dur. Çamurun güçlü bir duvar yapısı için elverişli olmadığı açıktır. İlk olarak kireç harcının Mısırlılar tarafından kullanıldığı tahmin edilmektedir. Bugün daha güçlü bir bağlayıcı madde olan kireç harcının Romalılar döneminde kullanıldığı kesinlikle bilinmektedir. Kireç, kum ve su karışımından oluşan bu bağlayıcı, taş ve tuğla duvar yapımında kullanılmaya bu dönemde başlamıştır. Sonraları Romalılar özellikle kubbe ve tonozların yapımında beton gibi dökülerek yerine konan, “opus concreticus” dedikleri, harç türünü kullanmışlardır (Çamlıbel, 1984).

Kum ve kireç karışımı içine pişmiş kilin veya puzolan (pouzzolane) denilen volkanik tüfün karışması ile su karşısında sertleşen bir bağlayıcı elde edilir. Bu devirde, bu bağlayıcıyla içine karıştırılan çakıllar ile birlikte, beton gibi, bir kalıp içine dökülerek, tonoz, kubbe ve kemerler yapılmıştır. Romalılar puzolanı Napoli yakınındaki Puzzuoli yöresindeki volkanik taşlardan elde etmişlerdir.

Romalılar devrinde üretilen harcın üstünlüğü, içine giren kireç ve diğer maddelerin kalitesine, miktarına ve inceliğine bağlıdır. Bu özellikler göz önüne alınarak Romalılar devrinde harç tekniği epey geliştirilmiştir. Ayrıca albümin ve kasein gibi maddeler ilave ederek, harcın kullanılacağı yere göre, özelliklerinin değiştirilmesi ile ilgili çeşitli uygulamaların yapıldığı bilinmektedir. Bugün yapılan araştırmalarda, Roma devrinde üretilen harcın homojen olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte içindeki kirecin iyi piştiği ve puzolan maddesinin iyi kaliteli bir hidrolik bağlayıcı olduğu görülmüştür. Ortaçağda Roman ve Gotik devirlerde kullanılan harcın kalitesinin Roma harcından daha düşük kaldığı, o devir yapılar üzerinde yapılan incelemeler sonucu anlaşılmıştır. Selçuk ve Osmanlı mimarisinde de kireç ve kum karışımı içine, pişmiş toprak (tuğla)'nın öğütülerek katılması ile, "Horasan" denilen harcın kullanıldığı görülmektedir. Horasanın mukavemeti kirecin kalitesine ve tuğla tozunun inceliğine bağlıdır. Bu nedenle eski yapılarda kullanılmış olan horasanın kalitesi ve mukavemeti yöresel koşullara bağlı olarak değişir (Çamlıbel, 1984).

Günümüzdeki yığma yapılarda ise harç, bağlayıcı özelliği olan malzeme, kum ve suyun karışımından oluşur, zamanla sertleşir. Bağlayıcı özelliği olan malzeme olarak genellikle kireç kaymağı, sönmüş kireç veya Portland çimentosu kullanılmaktadır. Harcın ana görevi, taş ve tuğla gibi yığma yapı malzemesinin birim elemanlarını bir arada tutarak birleşik bir yapı elemanı oluşturmaktır. Yığma yapı elemanının bağlanma şekli ve özellikleri strüktürel güvenilirlik bakımından çok önemlidir. Elemanın basınç dayanımı, kayma dayanımı ve çekme dayanımı açısından harcın çok önemli bir rolü vardır. Yığma yapı elemanlarında esas olarak, çekme birleşim dayanımı ve kayma birleşim dayanımı olmak üzere iki çeşit birleşim dayanımı vardır. Çekme dayanımı, tuğla veya taş ile harcın birleşim noktasına dik yönde oluşan çekme kuvvetlerine, kayma dayanımı ise bu noktalara paralel oluşan kuvvetlere karşı koyarlar.

Harç ile taş veya tuğla birim elemanı arasındaki birleşim dayanımını etkileyen faktörler şunlardır:

- Bağlayıcı malzemenin miktarı birleşim dayanımını artırır.
- Karışımdaki su oranı harcın kolay işlenmesini sağlar ve birleşim dayanımını artırır.
- Taş ve tuğla gibi birim elemanın yüzeyinin dokusu harcın boşluklara girmesini sağlayarak birim elemanlar arasında kusursuz bir birleşim dayanımı oluşturur.

Harçların basınç dayanımı çoğunlukla bağlayıcı malzemenin tipine, kalitesine ve harç karışımını oluşturan malzemelerin özelliklerine bağlıdır. Harcın basınç dayanımı bağlayıcı malzemenin ve su miktarının oranına göre değişir. Harcın basınç dayanımı deney için hazırlanmış bir örneğin test edilmesiyle ölçülebilir. Ancak, örnek malzemedeki ölçülen basınç dayanımı çoğunlukla, yığma yapı elemanının birleşim noktasındaki basınç dayanımını tam olarak yansıtmaz (Ünay, 2002).

Yığma yapılarda, taşıyıcı duvarları oluşturan elemanları (taş, tuğla vb.) birbirine bağlayan malzemeye harç denir. TS2848 Kagir Duvar Harçları ile ilgili standartlarda harç için şu tanım yapılmıştır (TS2510, 1977).

Duvar harcı, TS2717'ye uygun harç kumu ile bağlayıcı olarak çimento, kireç hamuru, söndürülmüş toz kireç, harç çimentosunun ayrı ayrı veya bir kaçını bir arada kullanılarak ve yeteri kadar su ve gerektiğinde katkı maddeleri ile karıştırılarak elde edilen ve duvarların örülmesinde kullanılan yapı malzemesidir. Harçlar basınç dayanımlarına göre,

- A sınıfı harç
- B sınıfı harç
- C sınıfı harç
- D sınıfı harç
- E sınıfı harç olmak üzere beş sınıfa ayrılırlar.

Duvar harcı karışımlarında, harç grubuna göre gerekli agrega ve bağlayıcı miktarları hacim olarak çizelge 2.15'te verilen değerlere uygun olmalıdır. Harcın kullanılacağı yere ve koşullara uygun kıvamda olabilmesini sağlayacak miktarda su katılmalı, özel hal ve gerekler dışında yerleştirildiği derzden akıp giderek derzi kısmen boş bırakacak kadar akıcı olmayan ve kolay işlenebilen plastik bir kıvam gerçekleştirilmelidir.

Çizelge 2.15 Harç karışımları (Hacim olarak) (TS2510, 1977).

Harç Sınıfı	Tip No	Kum	Çimento	Harç Çimentosu	Kireç Hamuru	Toz Kireç
		1,3 t/m ³	1,2 t/m ³	1,0 t/m ³	1,3 t/m ³	0,6 t/m ³
A	-	3	1	-	-	-
B	1	4	1	-	-	-
	2	4	1	1/2	-	-
	3	4	1	-	-	1/2
	4	4	1	-	-	1
C	1	7-9	1	2	-	-
	2	5	1	-	-	-
	3	5	1	-	1	-
D	1	6-8	1	-	2	-
	2	6-8	1	-	-	3
	3	2-3	-	1	-	-
E	-	3	-	-	1	-

Çizelge 2.15'te malzemelerin altında t/m³ cinsinden verilen değerler, malzemelerin birim hacim ağırlıklarıdır.

Harçların basınç dayanımı sarsma tablası deneyinde %110±5 oranında bir yayılma oluşturacak kıvamdaki harç üzerinde TS2848'de tarif edilen basınç dayanımı deneyi uygulandığında bulunacak sonuç harç sınıfları için aşağıda verilen değerlere uygun olmalıdır.

Çizelge 2.16 Harçlarda minimum basınç dayanımları

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

3. YIĞMA YAPI ELEMANLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Yapı elemanlarının ve yapı malzemelerinin temel gereksinimi yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olmalarıdır. Malzemelerin bu özellikleri, karşı koyabileceği en yüksek gerilme değeri ve uygulanan bir deformasyon sonucu oluşan gerilme değeri ile ölçülür. Birçok malzeme için dayanım ve rijitlik yüklemenin şekline göre değişir. Gerilmeler basınç ve çekme gerilmeleri olarak eleman içinde bir çok yönde oluşur. Deformasyonlar genellikle sabit oranda artmaz. Bu nedenle, yığma yapı elemanında gerilme ve rijitlik, deformasyonun oranına göre değişir. Malzemenin özelliklerindeki bu değişim gerilme-birim deformasyon eğrileri ile gösterilir. Malzemenin genel karakteristik özellikleri ve davranışı bu eğriler incelenerek araştırılır (Ünay, 2002).

3.1 Basınç Dayanımı

Yığma yapı elemanları bileşik bir malzeme olarak göz önüne alınır ve her bileşeni doğrusal elastik kırılğan bir malzeme olarak kabul edilir. Geometrik özellikleri, tipi, biçimi, dayanımı, birim elemanın su emme kapasitesi, harcın karışım oranı, nem miktarı, harç kalınlığı ve deformasyon özelliği yığma yapı elemanının basınç dayanımını etkileyen faktörlerdir.

Yığma yapı elemanları strüktürel formlarından dolayı genellikle basınç gerilmeleri etkisinde kalırlar. Yığma yapı elemanlarının basınç dayanımı, olası boşluklar göz önüne alınmaksızın, elemana etki eden en büyük basınç kuvvetinin net kesit alanına bölünmesi ile tanımlanır. Basınç dayanımı genellikle yığma yapı elemanın harç ve birim elemanı ile birlikte hazırlanmış örneğin yada birim elemanın laboratuarda test edilmesi sonucunda belirlenir. Tuğla gibi düzenli birim elemanları ile örülmüş elemanların basınç dayanımı, birim elemanın basınç dayanıma çok yakın bir değerdedir. Genellikle taşın birim eleman olarak kullanıldığı daha katı ve masif olan düzensiz elemanlarda ise yığma yapı elemanının basınç dayanımı, birim elemanları bağlayan harcın cinsinden ve kalınlığından daha fazla etkilenir ve birim elemanın basınç dayanımının elemanın genel dayanımındaki etkisini azaltır.

Yığma yapı elemanlar üzerinde, dünyanın birçok yerinde, çeşitli tiplerde ve özelliklerdeki test örnekleri üzerinde yapılmış deneysel çalışmalar sonucunda sayısız veri elde edilmiştir. Herhangi bir yığma yapı elemanın dayanım özelliklerini belirleyebilmek için, eğer özgün malzeme üzerinde test yapılmadıysa, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre, malzemenin benzer özellikleri dikkate alınmak kaydıyla deneylere dayalı denklemler kullanılabilir. Bu denklemler birim eleman ile harcın basınç dayanımlarının ortalamasına göre hesaplanabilir.

Köksal vd. (2004) tarafından yapılan araştırmalarda ve deneysel çalışmalar yığma duvarın basınç dayanımı için önerilen bağıntı (3.1) oldukça uygun sonuçlar vermektedir.

$$f'_m = 1,57 * \ln(f_{mr}) + 0,75 f_{bl} \quad (3.1)$$

f'_m Yığma yapı elemanın karakteristik basınç dayanımını (MPa)

f_{mr} Harcın ortalama basınç dayanımını (MPa)

f_{bl} Birim elemanın basınç dayanımını (MPa)

Ayrıca, 925 adet deney numunesi üzerinde Mann tarafından yapılan çalışmalar sonucunda geliştirilmiş olan aşağıdaki bağıntı da literatürdeki önemli yaklaşımlar arasında yer almaktadır.

$$f_{wc} = 0,83 * f_{bc}^{0,67} * f_{mc}^{0,33} \text{ Dymiotis C. ve Gutleederer B. M., (2002)} \quad (3.2)$$

f_{wc} Yığma yapı elemanın karakteristik basınç dayanımını (MPa)

f_{bc} Birim elemanın basınç dayanımını (MPa)

f_{mc} Harcın ortalama basınç dayanımını (MPa)

Diğer bir bağıntı ise 2 farklı kalınlıkta duvar için yapılan deneyler sonucunda çıkarılmıştır. Uygun bulunan bağıntı ve her bir duvar kalınlığı için bulunan katsayılar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

$$f_{wc} = K_2 * f_{bc}^j * f_{mc}^k \text{ Dymiotis C. ve Gutleederer B. M., (2002)} \quad (3.3)$$

Çizelge 3.1 İki farklı duvar kalınlığı için uygun bulunmuş katsayılar

t_w (mm) Duvar kalınlığı	K_2	j	k
102,5	0,865	0,542	0,191
215,0	0,356	0,662	0,212
102,5	0,783	0,532	0,208
215,0	0,214	0,780	0,235

Her ne kadar tarihi yapılarda kullanılan yığma yapı elemanları kendilerine özgü malzeme özellikleri gösteriyorsa da, yapı mühendisliğinin modern şartnamelerinde basınç dayanımı için gösterilen deneysel yaklaşımlar tarihi yapılar için de kullanılabilir. “Eurocode EC6” da yığma yapı elemanlarının karakteristik basınç dayanımı aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır (Ünay, 2002).

$$f_k = K(f'_b)^\alpha (f_m)^\beta \quad (3.4)$$

Bağıntı 3.4’de;

- f_k Yığma yapı elemanın karakteristik basınç dayanımını (MPa)
 f_m Harcın ortalama basınç dayanımını (MPa)
 f'_b Normalize edilmiş basınç dayanımını (MPa)
 K, α, β Sabit değerleri göstermektedir.

Tuğla veya taşın normalize edilmiş basınç dayanımı (f'_b) aşağıdaki denklemle hesaplanabilir;

$$f'_b = f_b \delta_m \delta_s \quad (3.5)$$

Bağıntı 3.5’de:

- f_b Birim elemanın basınç dayanımını (MPa)
 δ_m Birim elemanın nem oranını gösteren faktörü
 δ_s Birim elemanın biçim ve boyuta bağlı olan şekil faktörünü göstermektedir.

Yukarıdaki denklemlerde, K , α ve β sabit değerleri için sırasıyla çeşitli deneyler sonucunda elde edilen değerler kullanılabilir. Yukarıdaki denklemlerden de anlaşılacağı gibi, yığma yapı elemanlarının karakteristik basınç dayanımını etkileyen en önemli faktörler elemanın nem içerme oranı, birim elemanın şekil ve boyutudur.

3.2 Kayma Dayanımı

Yığma yapı elemanlarının kayma gerilmesi, harç ve birim elemanın arasındaki birleşim şekline bağlıdır. Birim eleman ve harç arasındaki mekanizma tam anlamıyla anlaşılmamış olsa da, tuğla veya taş ile harcın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden etkilenmektedir. Yığma yapı elemanları basınç ve çekme kırılmalarına ek olarak, çoğunlukla kayma kırılmalarının da tehlikesi altındadır. Bu yüzden, taş ve tuğladan oluşan yığma yapı elemanlarının kayma dayanımı birçok deney ile araştırılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda aşağıdaki denklem elde edilmiştir (Ünay, 2002).

$$\tau = \tau_o + \mu f_n \text{ (Paulay T. and Priestley M.J.N.(1992))} \quad (3.6)$$

Bağıntı 3.6'da:

τ	Kayma dayanımını (MPa)
τ_o	Kohezyon değerini
μ	İç sürtünme açısını
f_n	Basınç dayanımını (MPa) göstermektedir.

Yapılan çeşitli deney sonuçlarına göre τ_o ve μ değerleri sırasıyla 0,2-0,5 ve 0,2-1,0 olarak belirlenmiştir.

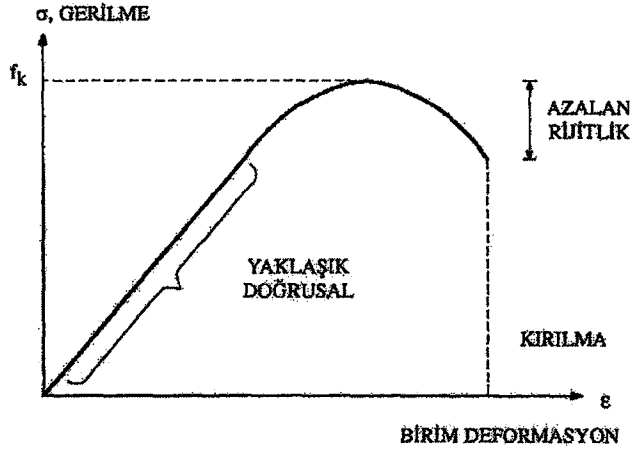
3.3 Çekme Dayanımı

Yığma yapı elemanı oldukça kırılğan (gevrek) bir malzemedir ve genellikle ani çekme kırılmalarına karşı büyük risk taşır. Özellikle tarihi yığma yapılarda, çekme gerilmeleri daha çok kubbe, kemer, tonoz ve pandantif gibi eğilmeye yatkın elemanlarda oluşur. Duvar ve sütun gibi elemanlarda da kayma gerilmelerinden dolayı diyagonal çekme gerilmeleri oluşur. Nemden ve ısı değişimlerinden dolayı uzama ve kılma gibi şekil değiştirmeler de önemli ölçüde çekme gerilmesi oluşmasına neden olur.

Yığma yapı elemanlarında, pratikte daha çok kullanılması nedeniyle eğilmeden dolayı oluşan çekme gerilmeleri, aksel çekme gerilmelerine göre daha fazla önem taşır. Çünkü tarihi yapılarda doğrudan aksel çekme gerilmeleri etkisinde kalan elemanlara çok ender rastlanmaktadır. Araştırmalar yığma yapı elemanlarında eğilmeden dolayı oluşan çekme gerilmesi dayanımını, malzemenin birim elemanın nem oranı, harcın yoğunluğu ve birim elemanın yüzey dokusu ile doğrudan ilgili olduğunu ortaya çıkarmıştır. Harcın kalınlığı da daha fazla dayanım sağladığından, ince birleşim noktaları malzemenin çekme dayanımını artırmaktadır (Ünay, 2002).

3.4 Elastisite Modülü

Yığma yapı elemanlarının elastisite modülü gerilme-birim deformasyon arasında doğrusal olmayan bir ilişki ile tanımlanır. Gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) eğrisinin şekli betonda olduğu gibi paraboliktir. Ancak Şekil 3,1'de de gösterildiği gibi, çok küçük gerilme düzeylerinde S şeklindeki eğriyle teğet modülünde artma eğilimi görülmektedir.



Şekil 3.1 Yığma yapı elemanın elastisite modülünü gösteren gerilme-birim deformasyon eğrisi

Gerilme-birim deformasyon eğrisinden de görüldüğü gibi, ilk sertleşme bölgesinden sonra, eleman üzerindeki yük arttıkça harcın sıkışmasıyla dayanımının daha da artması ve bunun sonucunda elastisite modülünün de arttığı görülmektedir. Yığma yapı elemanının elastisite modülünü (E_m) etkileyen faktörler öncelikle yığma yapı elemanını oluşturan bileşenler, yani taş veya tuğla birim elemanlarıyla, bağlayıcı malzeme harcın elastisite modülüdür.

Yığma yapı elemanlarının elastisite modülünün doğrusal elastik olmayan özelliklerinden dolayı, tarihi yapıların analizini yapan mühendis ya da mimar, matematiksel modelleme ve strüktürel analiz sırasında E_m değerini kullanırken çok dikkat etmelidir. Yapılan çeşitli araştırmalar ve laboratuvar deneyleri sonucunda yığma yapı elemanının elastisite modülü E_m aşağıdaki denkleme göre de hesaplanabilir. (Köksal vd. 2004)

$$\text{Beton yığma halinde: } E_m = 1000 f_k \quad (\text{Paulay T. and Priestley M.J.N. (1992)}) \quad (3.7)$$

$$\text{Kil tuğla yığma halinde: } E_m = 750 f_{br} \quad (\text{Paulay T. and Priestley M.J.N. (1992)}) \quad (3.8)$$

Bağıntı 3.7 ve 3.8'de, f_k ve f_{br} değeri yığma yapı elemanının karakteristik basınç gerilmesini (MPa) göstermektedir. E_m değerinin, gerilme-birim deformasyon diyagramının doğrusal bölümünden elde edildiği kabul edilmektedir.

Kaynaklarda yığmanın f_m basınç mukavemeti ve E_m elastisite modülü arasındaki ilişki için değişik bağıntılar önerilmektedir. Bu, kısmen malzeme özelliklerinin istatistiksel dağılımının çok geniş olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda, basınç deneylerinde şekil değiştirmeleri ölçmek için benimsenen yöntemlerin değişik olmasıyla da ilgilidir. Birçok

araştırmacı beton bloklar kil tuğla elemanlar için aşağıdaki bağıntılarını önermektedir

Beton yığma halinde: (Köksal vd. 2004).

$$E_m = 500f_{bl}' \text{ ile } 1500f_{bl}' \quad (3.9)$$

Kil tuğla yığma halinde: (Köksal vd. 2004).

$$E_m = 500f_{br}' \text{ ile } 1000f_{br}' \quad (3.10)$$

Burada f_{bl}' ve f_{br}' , sırasıyla, blok ve kil tuğlanın basınç mukavemetlerini göstermektedir. Bağıntı (3.9) ve (3.10) ile verilen değerlerden ve kaynaklardan, sonlu eleman analizlerinde,

$$E_m = 590 f_{br}' \text{ alınacaktır.} \quad (3.11)$$

Ayrıca farklı tipteki harçlar için elastisite modülü değerlerinin $500f_{mr}'$ ve $1000f_{mr}'$ arasında değişmekte olduğu belirtilmektedir.

Elastik modül, genellikle malzeme laboratuvarlarında, statik basınç yükleri altında, numuneler üzerinde yapılan kırma deneyleriyle elde edilir. Ancak tarihi yapılarda, numune alınmasının esere zarar verme ihtimali olduğundan, elastik modülün belirlenmesi özel olarak geliştirilmiş ultrasonik araçlarla yerinde yapılır. Taşıyıcı elemanın ölçülebilen bir kalınlığı boyunca, elemanın içine verilen ses hızı ölçülür. Malzemenin özgül ağırlığı bulunabileceğine göre, elastik modül E_d formülü ile bulunur (Çamlıbel, 1984).

$$E_d = \frac{V^2 \delta}{g} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (3.12)$$

Burada,

g : 9.81 cm/sn² (yerçekimi ivmesi)

V : Malzeme içinde sesin hızı (cm/sn)

δ : Malzemenin özgül ağırlığı (kg/cm³)

Taşların özgül ağırlığı yaklaşık olarak 2,5 gr/cm³ tür.

Ayrıca malzemenin basınç mukavemeti (R) kg/cm² bilinmiyorsa, (E_d) yardımı ile formülünden hesaplanabilir.

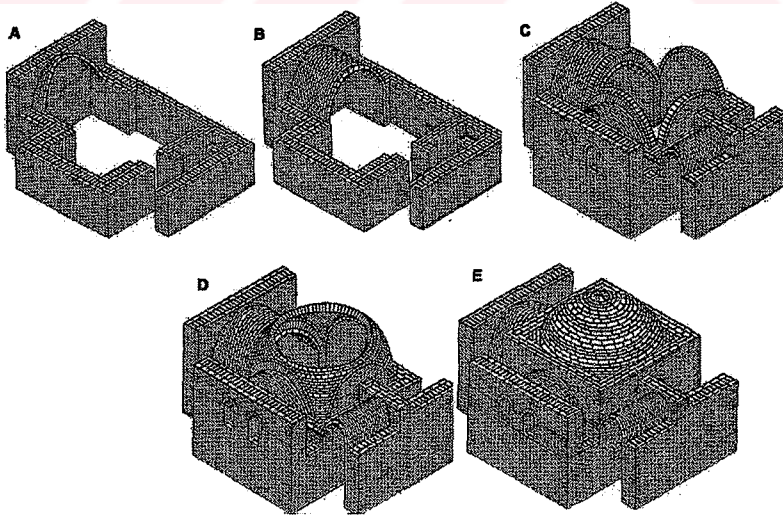
$$E_d = 2900\sqrt{R+154} - 36000 \quad (3.13)$$

4. YIĞMA YAPI ELEMANLARI

Doğal taş veya pişmiş toprağın (tuğla), bir bağlayıcı harçla birlikte kullanılması ile elde edilen malzemeye “kagir” adı verilir. Birim ağırlığı yaklaşık $\gamma=2,1-2,2t/m^3$ arasında değişmektedir. Dış yükler altında farklı özellikler gösterir. Kagir malzemenin taşıma gücü, yapımında gösterilen özene ve yapım tekniğine bağlıdır. Kagirin taşıma gücü yapım tekniğine bağlı olduğu kadar, yapıldıktan sonra, sertleşme süreci içindeki çevreden gelecek etkileme biçimlerine de bağlıdır. Kagir malzeme, basınca belli limitlerde dayanır. Kagirin çekmeye karşı ise dayanıklılığı yok gibidir.

Mimari mekanı evrensel mekandan ayıran sınırlayıcıları ayakta tutan elemanların tümüne taşıyıcı sistem (strüktür) adı verilir. Geleneksel yapılarda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlar aynı zamanda mekan sınırlayıcı elemanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Sınırlandırma, düşey taşıyıcı elemanlar, yatay veya eğrisel örtü elemanları ile sağlanmıştır. Eski yapılarda sınırlandırmanın özelliği, genellikle mekan örtüsünü oluşturmakta kullanılmış olan elemanlara bağlı olarak belirmiştir. Taşıyıcı sistem, öncelikle düşey kuvvetleri taşıyacak şekilde biçimlenen “düşey taşıyıcı elemanlar”dır (Çamlıbel, 1984).

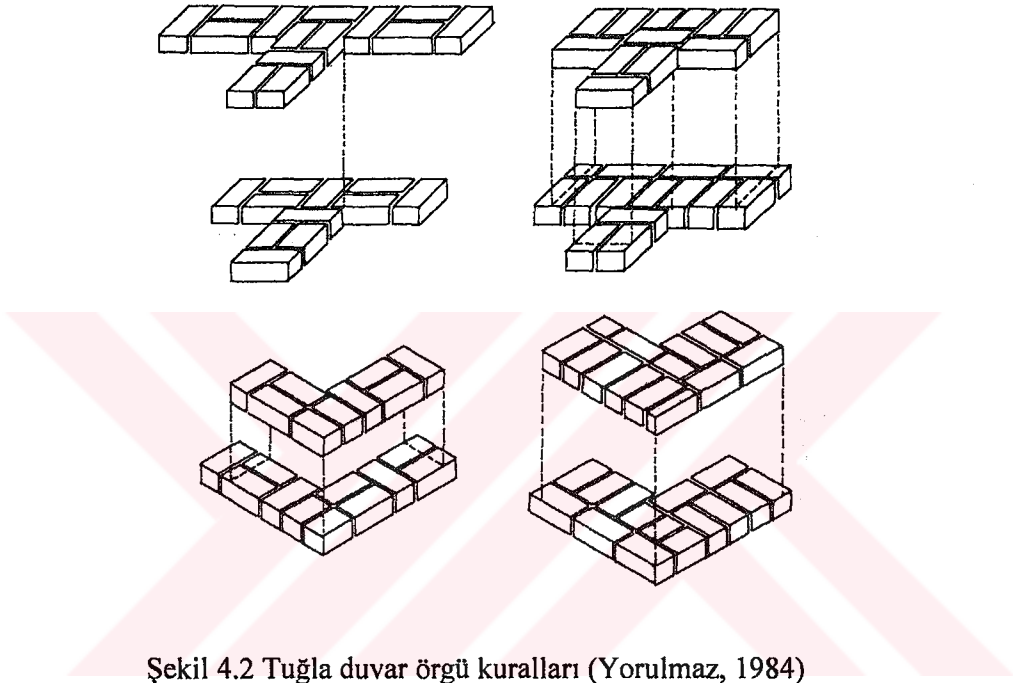
Geleneksel taşıyıcı sistem, mekan örtü elemanları ile düşey taşıyıcıların birleşmesinden oluşan stabil bir sistemdir. Yük taşıma bakımından geleneksel yapı malzemelerinin olanakları çok sınırlı olduğundan geleneksel taşıyıcı sistem biçiminde belli sınırlar içinde kalmıştır. Bu nedenle ortaçağdan önce tüm taşıyıcı sistem elemanları aşağı yukarı biçimlerini kazanmış bulunmaktadır. Şekil 4.1’de yığma taşıyıcı sisteminin yapım aşamaları görülmektedir.



Şekil 4.1 Yığma taşıyıcı sisteminin yapım aşamaları a,b,c,d,e (Arun, 2003)

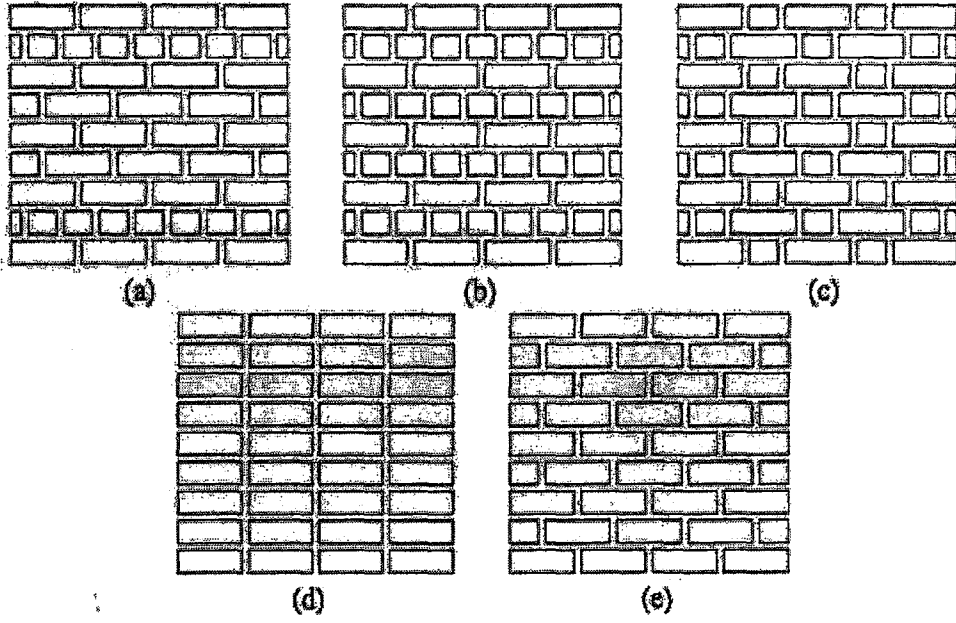
4.1 Duvar

Mimari mekanı sınırlayan, mekan örtüsünden gelen yükleri zemine ileten sürekli elemanlardır. Duvarlar, genellikle mekanı çevreleyen mimari unsurlar olarak kullanılmasına karşın, strüktürel sistemin vazgeçilmez elemanlarıdır. Bu nedenle yeterli bir dayanıklılığa sahip olmaları gerekir. Duvarın boyutlarını belirleyen etkiler, duvarlara mekan örtüsünden gelen düşey ve eğik yüklerle, yanal deprem yükleridir. Özellikle yığma taşıyıcı sisteme sahip tarihi yapılarda, mekanı oluşturan kemer, tonoz ve kubbe gibi yapı formlarını tamamlayan, bu elemanların stabilitesini sağlayan strüktürel elemanlar duvarlardır.

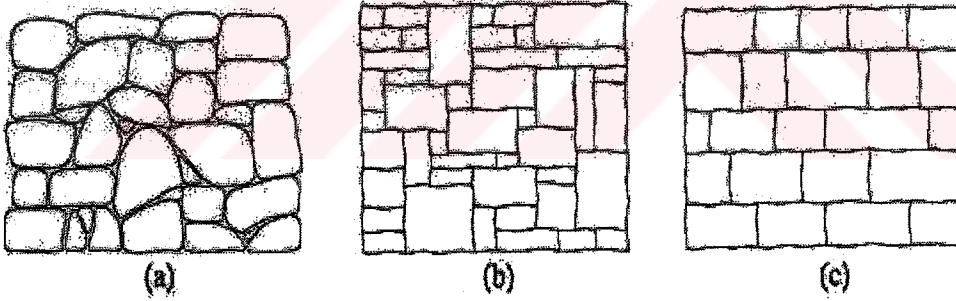


Şekil 4.2 Tuğla duvar örgü kuralları (Yorulmaz, 1984)

Duvarlar örülürken uyulması gereken bazı kurallar bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi ise düşey derz boşluklarının üst üste getirilmemesidir. Duvar kalınlığına göre çeşitli örgü desenleri mevcuttur. Tuğla örgü desenlerine birkaç örnek şekil 4.2, şekil 4.3'te ve taş duvarlar için örnek örgü desenleri şekil 4.4'de gösterilmektedir.

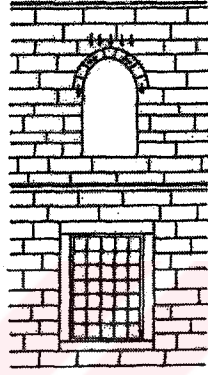


Şekil 4.3 Tuğla duvar bindirme şekilleri a)Amerikan örgüsü b)İngiliz örgüsü c)Flaman örgüsü d)Yığın örgüsü e)Sedye örgü (Lourenço vd., 1998)

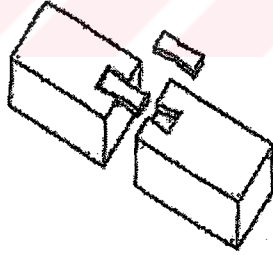


Şekil 4.4 Taş duvar örgü desenleri a)Moloz taş duvar b)Kesme taş duvar c)Düzgün derzli kesme taş duvar (Lourenço vd., 1998)

Mekan örtüstünden taşıyıcı duvara gelen yükler sürekli veya tekildir. İç mekanı aydınlatmak için duvara pencere açma olanağı, gelen yükün büyüklüğüne ve etki alanına bağlıdır. Her pencere boşluğu duvarın taşıma gücünü azaltır. Pencerelelerin açıldıkları düzlem boyunca, duvara gelen kuvvetlerin, pencerenin kenar sağırlıklarına, ikinci bir ara taşıyıcı elemanla aktarılması gerekir. Bu ara eleman, şekil 4.5’de görüldüğü gibi, hatıl, lento veya kemerdir. Duvarın dolu kısımlarının pencere veya kapılarla zayıflamalarına karşılık, pencere aralarına payandalar yapılarak duvarın sağlamlığı artırılmıştır. Ayrıca şekil 4.6’da görülen taş duvarlar örülürken taşların birbirine daha iyi bağlanması için yapılan kenetler taş duvarların bütünlük davranışlarında oldukça etkili olmaktadır.

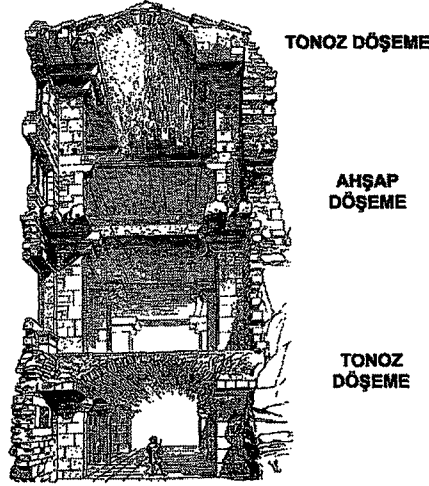


Şekil 4.5 Kemer ve hatıl(lento)



Şekil 4.6 Taş duvar kenetlenmesi (Arun, 2003)

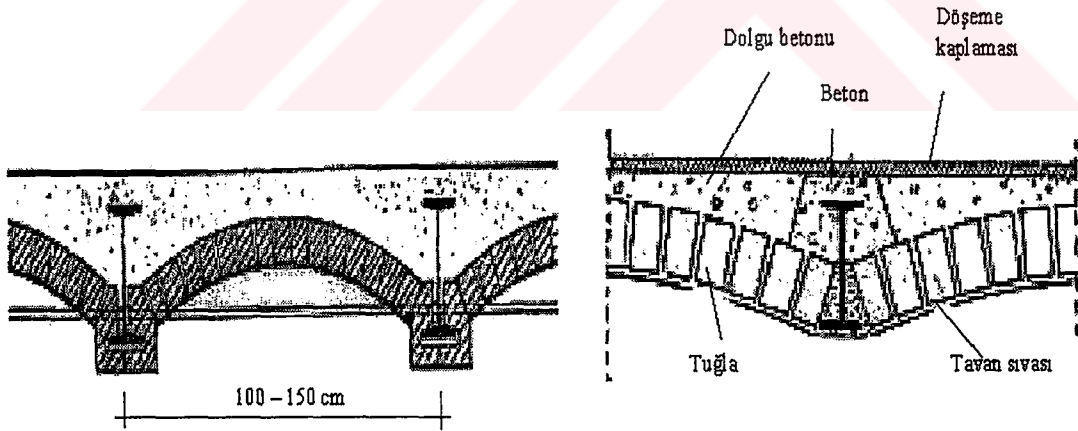
4.2 Döşeme



Şekil 4.7 Yığma yapılarda çeşitli döşemeler (Huerta, 2001)

Yığma kagir binalarda, volta döşemelere sık rastlanır. Çelik kirişler arasına tuğlaların kemer şeklinde örülmesiyle elde edilen bu tip döşemeler betonarmenin yaygınlaşmasından sonra kullanılmamıştır.

Volta döşemede tuğla örgü kalınlıkları, yarım yada bir tuğla olur. Kemer açıklığı ise kiriş açıklığının 1/3'ünden az olacak şekilde 1-1,5m arasında yapılır.

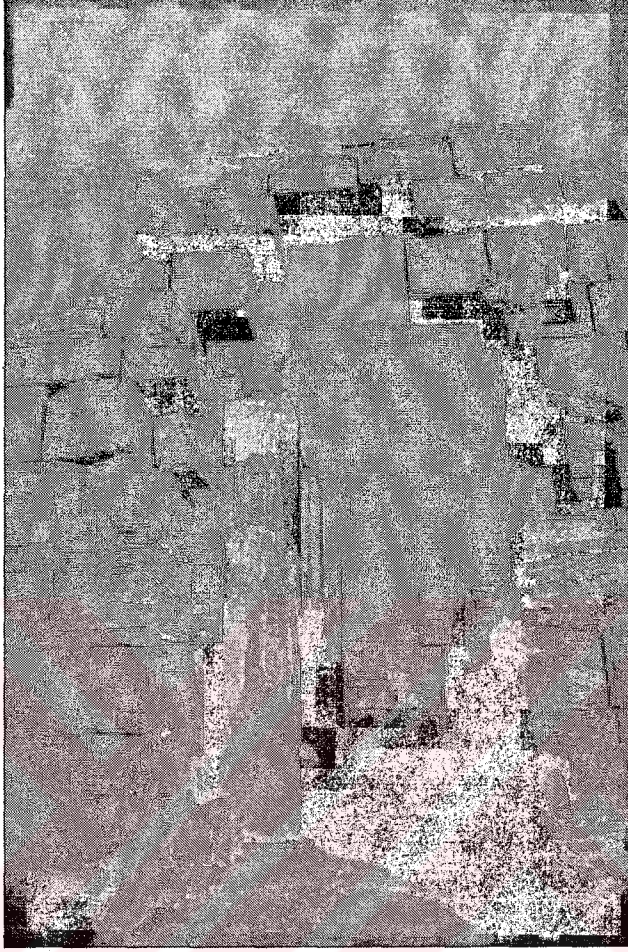


Şekil 4.8 Volta döşeme kesiti

Modern yığma yapılarda betonarme plak döşemeler kullanılmaktadır. Rijit plak döşeme duvarların birbirine bağlanmasını sağlayarak bütün şekilde yük taşımalarını sağlamaktadır.

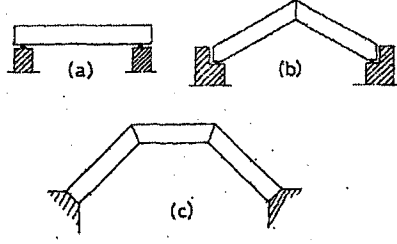
4.3 Kemer

Kemer formunun ilk örnekleri M.Ö.3000 yıllarında Mezopotamya'da Sümerlere ait yeraltı mezarlarında görülmüştür (Toker, 2004).



Şekil 4.9 Duvarda açıklık oluşturmaya bir örnek

Büyük mekan tasarımları kemerin bulunması ile başlamıştır. Bir açıklığın tek parça ile geçilmesinin olanaksız olduğu anlaşıldıktan sonra, bu parçaların yan yana konarak belli açıklıkların geçilmesi araştırılmıştır.



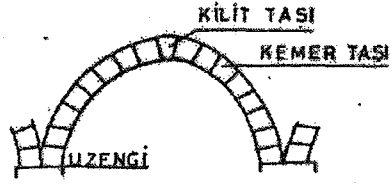
Şekil 4.10 Çok parçadan oluşan taşıyıcı basit sistemler

Bu şekilde bir açıklığı birbirine dayanarak örten iki taş parçasından oluşan ilkel kemerler bulunmuştur (Şekil 4.11).

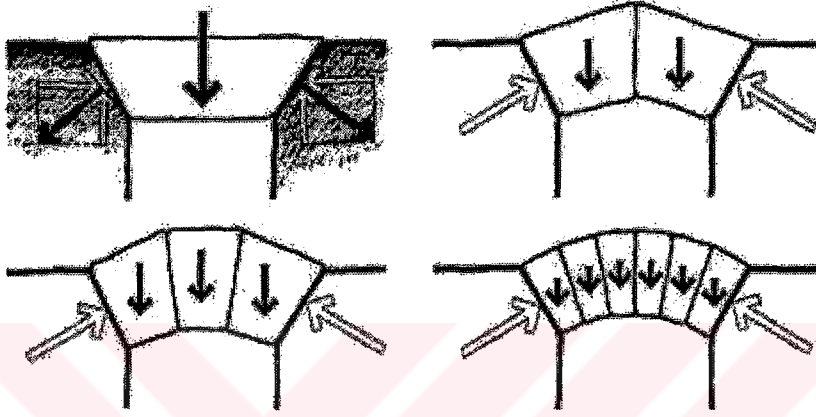


Şekil 4.11 İkel kemerler. Mısır

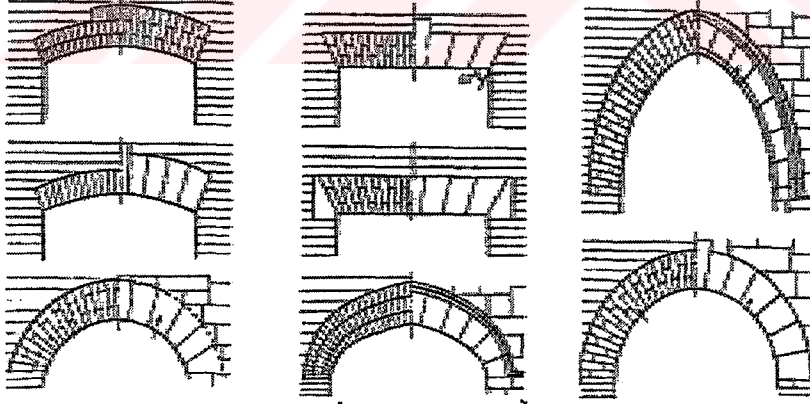
Bu basit kemerlerin biraz gelişmiş biçimi üç parçadan oluşur. Fakat kerpiç ve tuğladan yapılmış küçük elemanlarla meydana getirilmiş kemerlere, bu taş örneklilerden daha eski tarihlerde, Mısır ve Mezopotamya'da rastlanmıştır. Bir kapının veya bir odanın üstünü örtmek, açıklığın ortasındaki elemanların aşağı düşenlerini önleyecek bir biçimde yapılması ile mümkün olabilirdi. Bu biçim dairesel eliptik veya parabolik bir eğri parçası olan kemerdir. Kemerin biçimi tüm kuvvetlerin üzengilerde, kemerin mesnetlerine iletilmesini sağlar. Kemer üzerine gelen yükler, kemer elemanları tarafından birbirine iletilerek, mesnetlere verilir (Şekil 4.12). Mesnetlere gelen yüklerin doğrultusu düşey değildir. Bu şekilde bir mesnet, eğik bir yükle, kendi ağırlığının bileşkesini taşıyabilecek boyutta ve biçimde tasarlanmıştır (Şekil 4.13). Kemer formları birçok şekilde tasarlanmıştır. Bunlara şekil 4.14'te birkaç örnek verilmiştir.



Şekil 4.12 Kemer Öğeleri



Şekil 4.13 Kemerlerde Yük Akışının Gösterilmesi



Şekil 4.14 Çeşitli kemer formlarına örnekler (Arun, 2003)



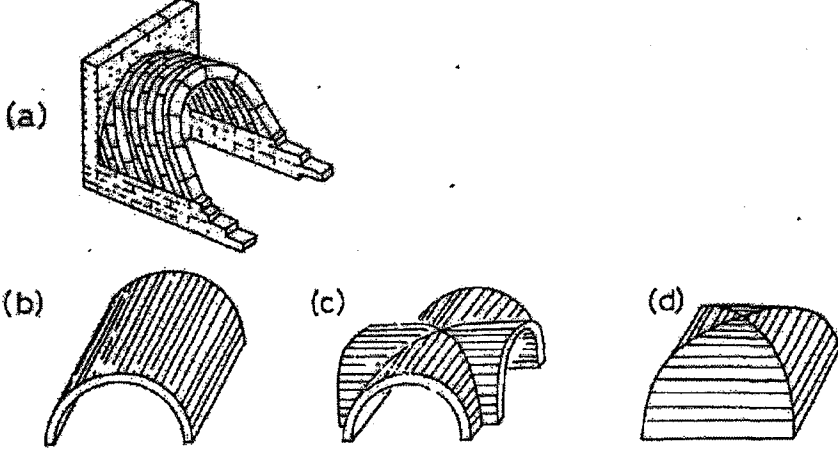
Şekil 4.15 Ayakta kalmış kemer formu (Arun, 2003)

Kemer hasarları, duvarların düşey düzlemden ayrılması sonucu ortaya çıkar. Kemer mesneti sağlam durduğu sürece formunu bozmandan uzun yıllar taşıyıcı özelliğini devam ettirmektedir (Şekil 4.15).

4.4 Tonoz

Tonoz; bir kemerin kendi düzleminde, dik doğrultuda ötelenmesi sonucu meydana gelen bir mekan örtü sistemidir. Tonoz dikdörtgen planlı mekanların örtülmesinde kullanılmıştır. İlk olarak Mezopotamya ve Mısır'da birbirinden bağımsız kemerlerin yan yana konması ile tonoz oluşmuştur (Şekil 4.16,a). Tonozun mesnet noktalarında sürekli bir taşıyıcı düzlem gerekir. Örneğin Mezopotamya yapılarında beşik tonoz, daima masif bir alt yapıyı gerektirmiştir (Şekil 4.16,b). Bu da geçilen boşluklara göre, taşıyıcı duvarların çok geniş yapılması sonucunu doğurmuştur. Daha sonraları, örneğin Sarsani mimarisinde, taşıyıcı alt yapının biraz hafifletilmesi ve daha gelişmiş bir iç mekan düzeni, güneybatı İran'da M.S.350'de yapılmış, Servistan Sarayında görülmektedir. Buna benzer ilerlemeler, Roma devrinde de kaydedilmiştir. Böylece tonoz ve kubbe ile örtülü mekamlarda, tek bir hacimden oluşan dikdörtgen planlı bir mekandan, yavaş yavaş birkaç üniteli bir mekana doğru bir gelişmenin olduğu gözlenebilir. Çok üniteli bir mekan örtü sistemi "Çapraz Tonoz" dur. (Şekil 4.16,c). Çapraz veya haçvari tonoz, iki beşik tonozun dik olarak kesişmesinden meydana gelir. Bu tür tonozun en önemli özelliği mekan örtü yüklerinin köşelerde toplanmasıdır. Bu tür bir tonoz, sütun ve ayaklar tarafından taşınabilmekte ve birçok üniteli bir mekanın mekan örtü birimi

olabilmektedir. Bu tür mekan örtü birimlerinin gelişmiş biçimleri, gotik mimaride çok kullanılmıştır. İki beşik tonozun kesişmesi çeşitli şekillerde düşünülebilir. Bu şekilde elde edilmiş başka bir tür tonozda, manastır tonozudur (Şekil 3.16,d). Bu tür tonoz kare planlı bir hacmi örtmekte çok kullanılmıştır.



Şekil 4.16 a)İlkel tonoz, b)Beşik tonoz, c)Çapraz veya haçvari tonoz, d)Manastır tonozu

4.5 Kubbe

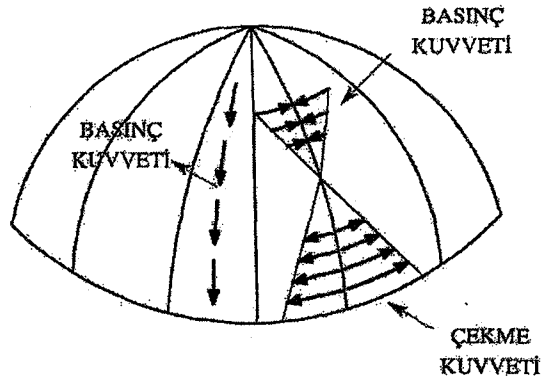
Kubbe, kuvvetleri pozitif çift eğrilikli yüzeylerde taşıyan kabuklardır. Statik olarak kubbe bir kemerin simetri eksenini etrafında dönmesi ile de elde edilir. Bu şekilde elde edilen dönel yüzey bir mekan örtü elemanı olarak kullanılır. Kubbe genel olarak kemerin statik özelliklerine sahiptir. Kubbe de, beşik tonoz gibi, mesnetlerinde sürekli bir taşıyıcı yüzey elemana gerek duyar. Bu nedenle kubbenin dairesel bir mesnede (tambura) oturması gereklidir. Kubbesel örtü biçimleri yapının örtülecek hacimlerinin daireye benzeyen sınırlarına uyma zorunluluğundan çıkmış olabilir. İlkel kubbenin belli ölçüde gelişmiş olanı, Miken devrinde yapılan mezar anıtları (Tolos)'larda görülür. Tolos'larda her sıradaki taşlar birbirinin üzerinden taşınarak, ilkel bir kubbe oluşturulmuştur. Roma devrinde büyük boyutlu uygulamalarda küre, dairesel planlı yapıların mekan örtü elemanı olmuştur. Panteon bu uygulamaların en ünlü bir örneğini oluşturur (Şekil 4.17). Kubbeli yapının en eski ve en büyük uygulaması olan Panteon tapınağının kubbesi M.S.125'te yapılmıştır. Başlangıç devirlerinde, anıtsal mimarlık yapılarında, dikdörtgen ve kare planlı hacimler tasarlanmıştır. Bu tür bir mimari tasarımda, kubbe ile mekan örtüsü elverişsiz görülmüş olabilir. Çünkü kubbe kare veya dikdörtgen biçimli bir alt yapıyla oldukça güç uyum sağlar. Daire planlı

kubbeden yüklerin düz duvarlara iletilmesi (daireden kareye geçiş) geçit elemanları ile mümkün olur. Bu işlem, üst üste gelen ve kenar sayıları gittikçe artan çokgenlerin aracılığı ile gerçekleşir. Daire ile kare arasındaki boşluk pratik olarak bir tek ara sekizgenle kapatılabilir. Yakınoğu uygarlıklarında, kubbeli yapılarda daire ile alt yapı arasındaki geçişi sağlayan sekizgen veya dairesel planlı mesneti elde etmek için üç geçit elemanı geliştirilmiştir. Bunlar tonoz mesnet, pandantif ve Türk üçgenidir.

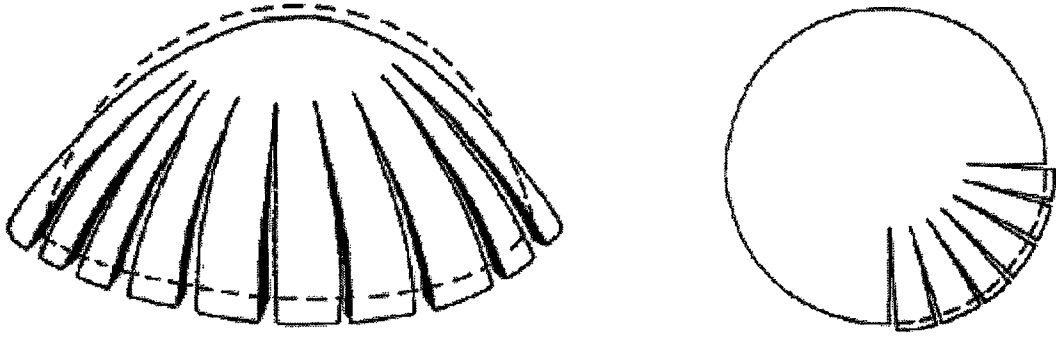


Şekil 4.17 Panteon Tapınağı

Kubbede yükler meridyenler doğrultusunda basınç gerilmesiyle mesnetlere iletir. Paralel doğrultuda ise çekme gerilmeleri oluşur. Büyük kubbeli yapılarda kasnaklar masif ve ağır olmalarıyla bu bölgede oluşacak çekme gerilmelerini azaltırlar. Kubbelerde oluşan tipik gerilme dağılımı Şekil 4.18'de gösterilmektedir. Düşeyle 52° 'lik açının kapadığı düzlem üzerindeki bölümde basınç gerilmeleri, alt kısmında ise çekme gerilmeleri oluşur.



Şekil 4.18 Kubbelerde yük taşıma mekanizması



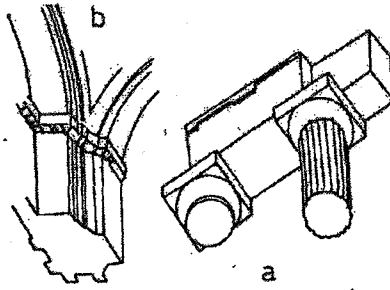
Şekil 4.19 Kubbeleşmelerin tipik çatlak deseni (Huerta, 2001)

Şekil 4.19'da ise düşey yükler altında kubbeleşmede oluşması beklenen tipik çatlak deseni görülmektedir.

4.6 Ayak ve Sütunlar

Mekan örtü yüklerinin tekil noktalardan iletilmesi hallerinde, düşey taşıyıcılar ayak ve sütunlardan oluşur. Bu elemanlar biçimlerine göre ayak veya sütun (kolon) adını alırlar.

Sütun (kolon)lar, genellikle tek parçalıdır (Şekil 4.20,a). Ayak ise en kesiti daha büyük olan duvar gibi örülerek yapılan bir düşey taşıyıcıdır (Şekil 4.20,b). Sütun (kolon)lar, genellikle kare, çokgen ve daire kesitlidir. Ayaklar ise, mekan örtüsünden iletilen yüklerin iletiliş biçimlerine göre, karmaşık bir şekilde biçimlenir. Gotik mimaride ayaklar, mekan örtüsünün tüm düzenini yansıtıcı karakterde yapılmıştır.



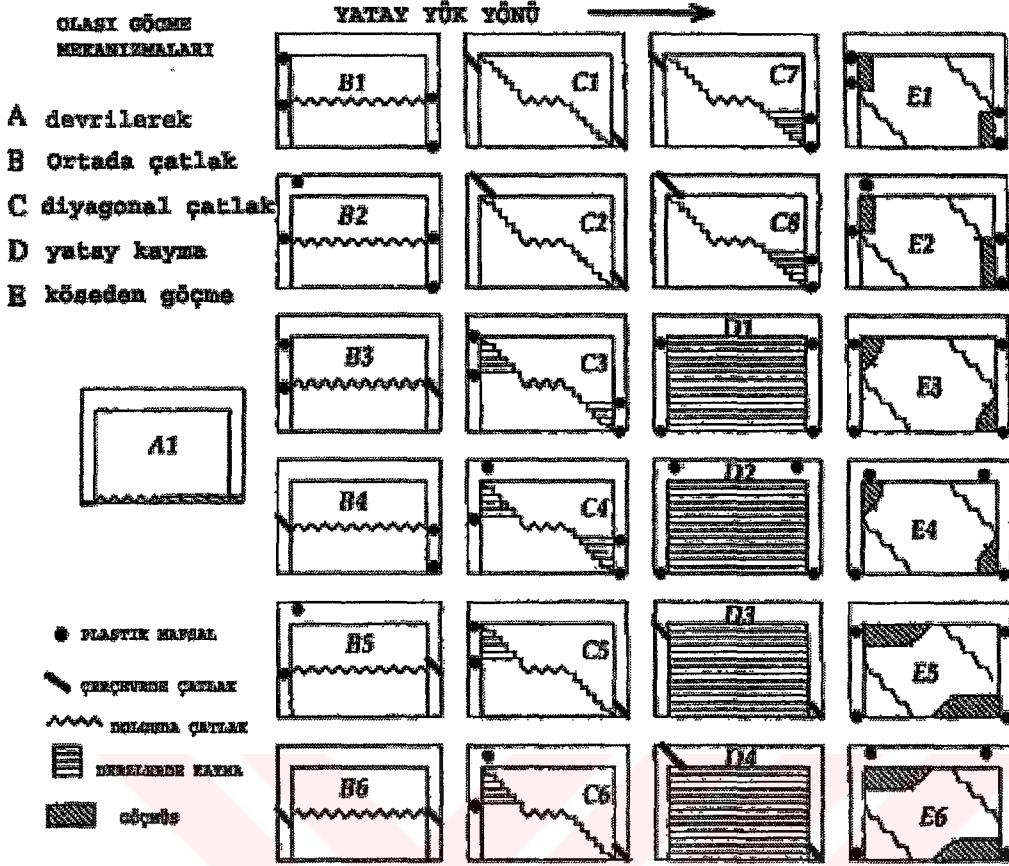
Şekil 4.20 Ayak ve sütun

4.7 Yığma Dolgu Duvarlar

Bir çok betonarme veya çelik çerçevelerden oluşan sistemde, bu çerçevelerin içine yığma dolgu duvarlar örülür. Yığma dolgu duvarlar, sistemin rijitliğini önemli ölçüde arttırmasına rağmen, taşıyıcı sistemin yatay yükler altında çözümü esnasında, sistemin kompozit davranışının tam olarak anlaşılammış olması, yığma duvar ve çerçevenin birleşiminin iyi teşkil edilmemiş olma ihtimali ve yapının kullanım süresince bu duvarların kaldırılabilceği gibi sebeplerden dolayı, çoğu kez bu etki ihmal edilir.

Aralarında boşluk olmadan birbirine tam olarak bağlı üretilmiş çerçeve ve yığma dolgu duvarlara yatay yük ilk etkidğinde, dolgu duvar ve çerçeve arasında tam temas vardır. Dolgu duvar ve çerçeve kompozit bir davranış gösterirler ve beraber şekil değiştirirler. Sistem, çıplak çerçeveye nazaran daha rijittir ve ilk çatlakların oluşması daha büyük yatay yükler altında olur. Bu aşamanın süresi, çerçeve ve yığma dolgu duvar arasındaki bağlantının kalitesine bağlıdır ve çerçeve ile yığma dolgu duvarı ara yüzeyinde çatlakların oluşmasıyla son bulur. Yatay yük arttıkça şekil değiştirmeler artar ve yığma duvara basınç kuvvetlerinin aktarıldığı iki köşenin civarı dışındaki çerçeve-duvar ara yüzeylerinde ayrılmalar başlar. Bu aşamada, yığma dolgu duvar, çerçevenin içerisinde bir basınç diyagonalı gibi davranır. Oluşan basınç diyagonalinin etkili dayanımı, çerçevenin ve dolgu duvarının rölatif rijitliklerine, dolgu duvarının yüksekliğinin enine oranına (h/l) ve yığma dolgu malzemesinin gerilme-şekil değiştirme özelliklerine bağlıdır. Yığma dolgu duvarında birbirini izleyen yatay ve düşey derzler boyunca diyagonal çatlaklar oluşmaya başlamasıyla rijitlik azalır. Yatay yük artmaya devam ettikçe, dolgu duvarda ilk çatlaklara paralel yeni diyagonal çatlaklar oluşur ve bu durum yığma dolgu duvarın kayma kuvvetleri altında ve kolonların eğilme etkisinde göçmesine kadar sürer. Yatay yük etkisindeki yığma dolgu duvar, bu göçme şeklinden farklı olarak iki göçme şekliyle daha taşıma güçlerini kaybedebilirler. Bunlardan biri, dolgu duvarının bir derz yüzeyi boyunca dönmeden yatay ötelenmesi ile ortaya çıkar. Bu yatay çatlak, dolgu duvarı iki parçaya böler ve efektif kolon yükseklikleri, yaklaşık olarak yarı değerine düşer. Kolonların kayma ve eğilme kapasiteleri, göçme şeklini belirleyici etken olacaktır. Üçüncü göçme şekli ise basınç diyagonalinin uçlarındaki lokal ezilmeler ile oluşur (Paulay ve Priestley, 1992).

Deprem yükleri altında yatay yükler iki farklı yönden de etkileyebileceğinden, yığma dolgu duvarının çerçeveye ankrajlanması, kompozit davranışın sağlanması açısından iyi bir çözüm olabilmektedir. Yığma dolgunun rijitliğinin, dayanımının ve şekil değiştirebilme özelliğinin iyileştirilmesi için duvarlar, yatay ve düşey donatılar yerleştirilerek, donatılı üretilebilirler.



Şekil 4.21 Olası göçme mekanizmaları (Shing, 2002)

5. ABYYHY (YIĞMA YAPILARDA DEPreme DAYANIKLI TASARIM KURALLARI)

Deprem bölgelerinde yapılacak olan, hem düşey, hem de yatay yükler için tüm taşıyıcı sistemi doğal veya yapay malzemeli taşıyıcı duvarlar ile oluşturulan yığma kagir binaların boyutlandırılması ve donatılması, bu konuda yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerle birlikte, öncelikle 1 Ocak 1998'de yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'teki (ABYYHY) Yığma Kagir Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları bölümünde belirtilen kurallara göre yapılmalıdır. Yönetmeliğin ilgili bölümünde, bu bölümde verilen tüm kurallara uyulması durumunda, ayrıca deprem hesabı yapmaya gerek olmadığı, ancak yapılması durumunda bu bölümde verilen kuralların tümüne uyulması koşulu ile, $S(T_1) = 2,5$ ve $R_d(T_1) = 2,5$ alınarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile hesap yapılacaktır (ABYYHY, 1997).

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yüğü (taban kesme kuvveti) aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (ABYYHY, 1997).

$$V_i = \frac{W \times A(T_1)}{R_d(T_1)} \geq 0,10 \times A_o \times I \times W \quad (5.1)$$

$$A(T_1) = A_o \times I \times S(T_1) \quad (5.2)$$

$$S(T_1) = 2,5$$

$R_d(T_1) = 2,5$ alınarak ifade yeniden düzenlenirse, binaya etkilmesi gereken toplam eşdeğer yatay yük;

$$V_i = A_o \times I \times W \text{ şeklini alır.} \quad (5.3)$$

W Binanın ağırlığı

A_o Etkin yer ivmesi katsayısı

I Bina önem katsayısı

Çizelge 5.1 Bina Önem Katsayısı

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<p>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</p> <p>a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)</p> <p>b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p>	1,5
<p>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</p> <p>a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri vb.</p>	1,4
<p>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</p> <p>Spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları vb.</p>	1,2
<p>4. Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar</p> <p>(Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapılan vb.)</p>	1,0

Çizelge 5.2 Etkin yer ivmesi katsayısı

Deprem Bölgesi	A_0
1	0,40
2	0,30
3	0,20
4	0,10

Deprem Yönetmeliği'nde yığma kagir binalar için deprem bölgelerine göre yapılabilecek en fazla kat sayısı aşağıdaki tabloda olduğu gibidir.

Çizelge 5.3 Bodrum kat hariç izin verilen kat sayıları

Deprem Bölgesi	En Fazla Kat Sayısı
1. derece	2
2. ve 3. derece	3
4. derece	4

Kerpiç binalar, bütün deprem bölgelerinde bodrum kat hariç olmak üzere ancak tek katlı yapılabilir.

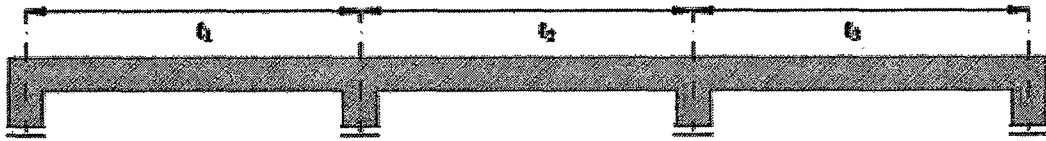
Yine Deprem Yönetmeliği'nde, yığma kagir binalarda döşeme sisteminin TS500'e uygun boyutlandırıp donatılmış plak veya dişli döşemeler olması istenmektedir. Aksi söz konusu olduğunda, tüm deprem bölgelerinde, varsa bodrum kat hariç en fazla iki katlı yığma yapı inşa edilebilir. Kat yüksekliği 3,0m ile sınırlandırılmıştır. Kerpiç binalarda kat yüksekliği 2,70m'den fazla olamaz. Bodrum kat yapılması durumunda, bu katın yüksekliği 2,40m'yi geçmemelidir.

Çizelge 5.4 ABYYHY’de minimum taşıyıcı duvar kalınlıkları

Deprem Bölgesi	İzin Verilen Katlar	Doğal Taş (cm)	Beton (cm)	Tuğla (kalınlık)	Diğerleri (cm)
1., 2., 3., 4. derece	Bodrum Kat	50	25	1	20
	Zemin Kat	50	-	1	20
1., 2., 3., 4. derece	Bodrum Kat	50	25	1,5	30
	Zemin Kat	50	-	1	20
	Birinci Kat	-	-	1	20
2., 3., 4. derece	Bodrum Kat	50	25	1,5	30
	Zemin Kat	50	-	1,5	30
	Birinci Kat	-	-	1	20
	İkinci Kat	-	-	1	20
4. derece	Bodrum Kat	50	25	1,5	30
	Zemin Kat	50	-	1,5	30
	Birinci Kat	-	-	1,5	30
	İkinci Kat	-	-	1	20
	Üçüncü Kat	-	-	1	20

ABYYHY’de birbirine dik doğrultuların her biri boyunca uzanan taşıyıcı duvarların, pencere ve kapı boşlukları hariç olmak üzere, toplam uzunluğunun brüt kat alanına (konsol döşemeler hariç) oranının $0,25\text{m}^2$ ’den daha az olmaması isteniyor.

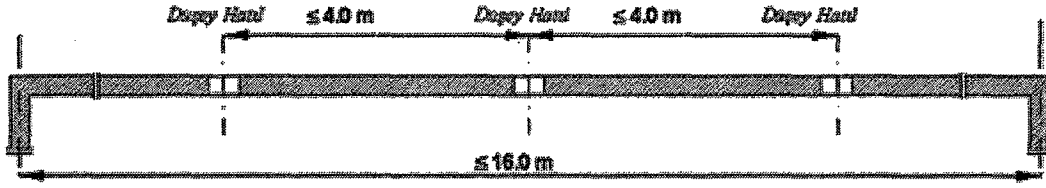
ABYYHY’de herhangi bir duvarın, planda kendisine dik olarak saptanan taşıyıcı duvar eksenleri arasında kalan mesnetlenmemiş uzunluğu, birinci derece deprem bölgesinde $5,5\text{m}$ ’yi, diğer deprem bölgelerinde ise $7,0\text{m}$ ’yi geçmemesi istenmektedir (Şekil 5.1).



Mesnetlenmemiş duvar boyu : t_1, t_2 ve t_3 $<$ ≤ 5.5 m (1. derece deprem bölgesi)
 ≤ 7.0 m (2.3 ve 4. derece deprem bölgesi)

Şekil 5.1 Duvarın mesnetlenmesi

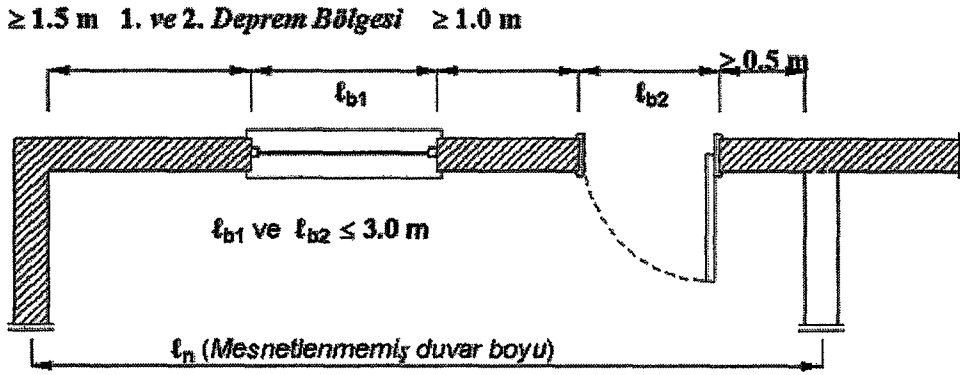
Bu durum sağlanmadığı durumda, bina köşelerinde ve planda eksenden eksene aralıkları 4,0m'yi geçmemek üzere kat yüksekliğince betonarme düşey hatıllar teşkil etmek zorunludur. Bu durumda mesnetlenmemiş duvar boyu 16m'yi geçmemelidir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Duvarda oluşturulacak düşey hatıllar

ABYYHY'de taşıyıcı duvarlarda bırakılacak boşluklarla ilgili şu sınırlamalar getirilmiştir:

- Bina köşesine en yakın pencere veya kapı boşluğu ile bina köşesi arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1,5m'den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ise 1,0m'den az olmamalıdır.
- Bina köşeleri dışında, pencere ve kapı boşluklarının arasında kalan dolu duvar parçalarının plandaki uzunluğu, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1,0m'den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ise 0,8m'den az olmayacaktır.
- Pencere veya kapı boşluklarının her iki kenarında düşey hatılların yapılması durumunda minimum dolu duvar parçası uzunluğu %20 azaltılabilir.
- Bina köşeleri dışında, birbirini dik kesen duvarların arakesitine en yakın kapı veya pencere boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu 0,50m'den az olmayacaktır. Aksi takdirde, boşlukların her iki kenarında kat yüksekliğince betonarme düşey hatıllar yapılması zorunludur.
- Kapı veya pencere boşluklarının her birinin plandaki uzunluğu 3,0m'den fazla olmayacaktır.
- Herhangi bir duvarın mesnetlenmemiş uzunluğu boyunca kapı ve pencere boşluklarının plandaki uzunluklarının toplamı, mesnetlenmemiş duvar uzunluğunun %40'ndan fazla olmayacaktır.



Şekil 5.3 Duvarda açılacak boşluklarla ilgili sınırlar

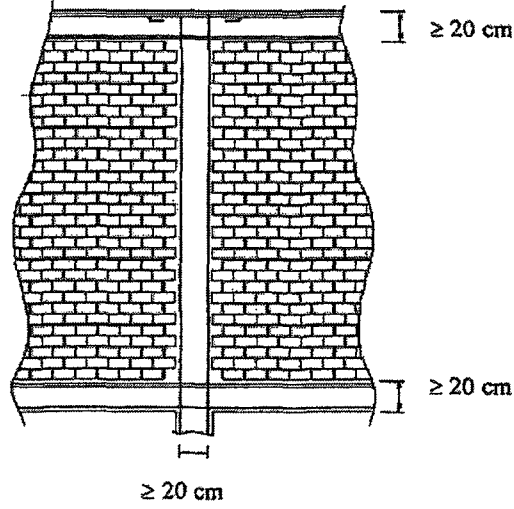
Görüldüğü üzere ABYYHY’de yığma yapılarla ilgili olarak sıkı geometrik sınırlamalar getirilmiştir.

5.1 Yatay Hatıllar

Merdiven sahanlıkları da dahil olmak üzere, her bir döşemenin taşıyıcı duvarlara oturduğu yerlerde, betonarme döşeme ile birlikte dökülmek üzere duvar genişliğinde ve 20cm’den az olmayan yükseklikte yatay hatıllar yapılması isteniyor. Yatay hatıllarda en az BS16 kalitesinde beton kullanılması, içlerine taş duvarlarda en az üçü altta, üçü üstte olmak üzere 6Ø10, diğer taşıyıcı duvarlarda ise 4Ø10 boyuna donatı ile birlikte en fazla 25cm ara ile Ø8’lik etriye konulması gerekmektedir. Yönetmelikte ayrıca, moloz taş duvarlarda, döşeme ve merdiven sahanlıkları dışında, düşeyde eksenden eksene aralıkları 1,5m’yi geçmemek üzere betonarme yatay hatıl yapılması öngörülmüştür.

5.2 Düşey Hatıllar

Yığma binaların depreme dayanıklılıklarının artırılması amacı ile bina köşelerinde, taşıyıcı duvarların düşey arakesitlerinde, kapı ve pencere boşluklarının her iki yanında kat yüksekliğince betonarme düşey hatıllar yapılması uygun görülmektedir. Düşey hatıllarda beton kalitesi en az BS16 olacak, içlerine taş duvarlarda her iki duvar yüzüne paralel en az üç adet olmak üzere 6Ø12, diğer taşıyıcı duvarlarda ise en az 4Ø12 boyuna donatı ile birlikte en fazla 20cm ara ile Ø8’lik etriye konulacaktır.



Şekil 5.4 Duvarda teşkil edilecek düşey ve yatay hatlılar

Şekil 5.4’de yatay ve düşey hatlıların teşkil edildiği bir yığma yapı görülmektedir.

5.3 Temeller

Deprem Yönetmeliği’nde yığma kagir binalarda taşıyıcı duvarların altında betonarme sürekli temel yapılması ön görülmüştür. Temel derinliği, zemin özellikleri, yer altı su düzeyi ve yerel don derinliği göz önüne alınarak saptanacaktır. Bodrumsuz binalarda temellerin üzerine yapılacak taş veya beton duvarların üst kotu, kaldırım kotundan en az 50cm yukarıda olacaktır. Duvar altı temellerinin beton kalitesi en az BS16 olmalıdır.

Kerpiç binalarda temeller, bodrumsuz binalarda en az 50cm, bodrumlu binalarda ise en az 60cm kalınlıkta moloz taş duvar olarak yapılacaktır. Temel derinliği ise, don derinliğinin altında kalmak üzere en az 80cm olmalı ve dış zemin yüzeyinden en az 50cm yukarıya çıkacak şekilde yapılmalıdır.

5.4 Yığma Duvarın Kayma Dayanımı

TS2510 Kagir Duvarlar Hesap ve Yapım Kurallarında taşıyıcı duvarlarda yatay yüklerin oluşturacağı kayma gerilmeleri

$$\tau = \frac{T}{S} \quad (5.4)$$

- T Etki yapan yatay kuvvet (kg)
 S Statik çalışmaya katılan kısmının alanı (cm^2)

formülü ile hesaplanması gerekiyor. Yatay yüklerin duvarda oluşturacağı kayma tesirleri için emniyet gerilmesi,

Doğal taş duvarlarda;

$$\tau = 0,10\sigma_b \leq 2kg/cm^2 \quad (5.5)$$

Yapay taş duvarlarda A ve B tipi harç kullanıldığında

$$\tau = 0,12\sigma_b \leq 3kg/cm^2 \quad (5.6)$$

Yapay taş duvarlarda C,D ve E tipi harç kullanıldığında

$$\tau = 0,10\sigma_b \leq 3kg/cm^2 \quad (5.7)$$

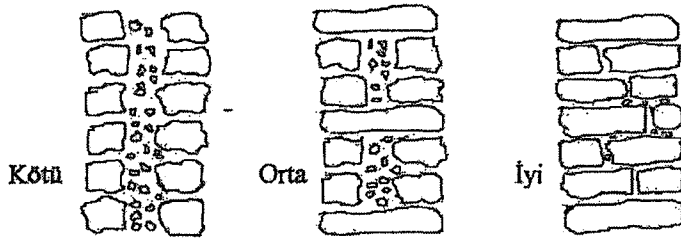
σ_b Duvar etki yapan düşey yüklerin oluşturduğu gerçek ortalama basınç gerilmesi formülleri ile hesaplanır.

Duvarların malzeme cinsine göre, çeşitli kaynaklardan ve yapılmış deneylerden çıkarılan kesme emniyet gerilmeleri çizelge 5.5'te verilmiştir. (Bayülke, 1999)

Çizelge 5.5 Duvarların malzeme cinsine göre kesme emniyet gerilmeleri

Malzeme	Kireç Harcı
	Kesme Dayanımı (kg/cm ²)
Harman Tuğlası	1,0-2,0
Düşey Delikli Fabrika Tuğlası Delik Oranı %35'den az	1,0-2,0
Düşey Delikli Fabrika Tuğlası Delik Oranı %35'den çok	0,75-1,5
Dolu Fabrika Tuğlası	1,0-2,0
Yatay Delikli Tuğla	1,0-2,0
Boşluklu Beton Briket	1,0-2,0
Taş	1,0-2,0

Depreme dayanıklı tasarım kuralları kapsamında taşıyıcı duvarın örülme şeklide önem arz etmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Tipik bir konutta taş duvar örgüsü gösterilmiştir.

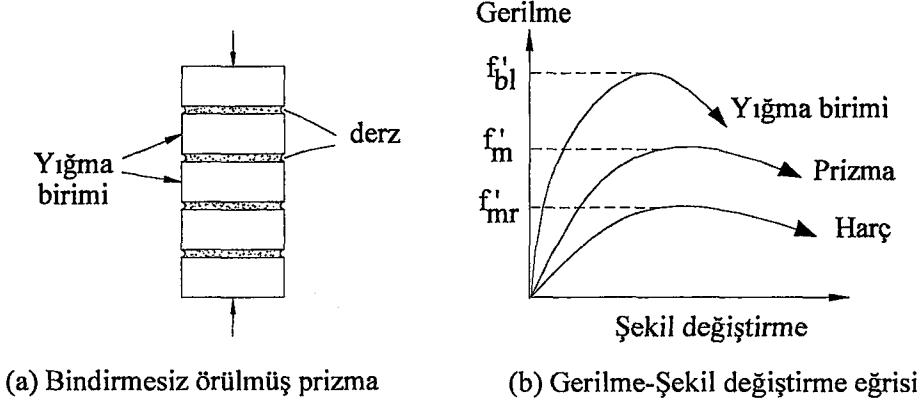
6. YIĞMA YAPILARIN YÜK TAŞIMA ANALİZİ

Yığma yapı tasarımında yığmanın basınç mukavemeti temel parametredir. Basınç mukavemeti ise; yığmada kullanılan blok mukavemeti ve geometrisi, harcın özellikleri ile harcın derze konulma biçimi ve yığmanın örülme şekli gibi birçok faktöre bağlıdır. Yığma yapılar, değişik karakterli yapı malzemelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulduğu için hesabına ilişkin kesin kurallar saptamak zordur. Ayrıca çeşitli nedenlerle oluşan çatlaklar yapı davranışını değiştirdiği için yapısal analiz karmaşıklaşır. Yığmanın basınç mukavemetini belirlemek için çeşitli yönetmelikler tarafından farklı yöntemler önerilmektedir. Bu kadar çok değişik önerinin olması, üzerinde anlaşılmış tek bir standart deney yönteminin bulunmamasındandır. Yapılan araştırmalar, uygulama kolaylığı sağlayacak deneylerle yığmanın basınç mukavemetini belirlemeye yöneliktir (Köksal vd., 2003).

Yığmanın basınç mukavemetini belirlemek için yönetmelikler tarafından önerilen farklı yöntemler şunlardır:

- Yığma birimlerinin ve harcın basınç mukavemetine bağlı olarak yığmanın basınç mukavemetini veren önceden hazırlanmış çizelgeler kullanılması.
- Yığma yapının boşluklu beton bloklarla (briketlerle) ve harcın sadece beton bloğun dış yüz kabuğu boyunca konulması halinde, bloğun net alanının harç alanına oranını içeren önceden hazırlanmış çizelgeler kullanılması.
- Kullanılan malzemenin gerçek yapıdaki ile aynı ve yüksekliğin kalınlığa oranı 2 ile 5 arasında olması halinde, bindirmesiz olarak örülmüş yığma prizmaların denenmesi.
- Yüksekliğin kalınlığa oranının 2 ile 5 arasında bulunduğu durumlarda, yapıdaki gibi bindirmeli olarak örülmüş ve aynı şartlar altında benzer malzemelerden inşa edilmiş prizma numunelerin denenmesi.
- Bir önceki yöntem ek olarak, farklı bloklar ve harçlar yada her ikisinin birden bulunması halinde, verileri karşılaştırmak için, yine yükseklik ile kalınlık arasındaki oranın 2 ile 5 arasında kalması koşulu ile, harcın bloğun uzunluğu boyunca olan dış yüz kabuğu üzerine konulması halinde bindirmeli olarak örülmüş prizmaların denenmesi.
- Uzunluğu 1,20–1,80m, yüksekliği 2,40-2,70m ve minimum kesit alanı $0,125m^2$ olan, birbirinin aynısı en az iki adet duvarın denenmesi.

Hesap yöntemlerinin ihtiyaç duyduğu başlıca parametreler; başlangıç elastisite modülü E_m ve basınç mukavemeti f_m' değerleri olduğundan, basınç deneylerinin çoğunluğu bu değerleri ölçmek için tasarlanmıştır. Şekil 6.1'de yığma birimi, harç ve prizmanın aksenal basınç altındaki davranışları gösterilmiştir.

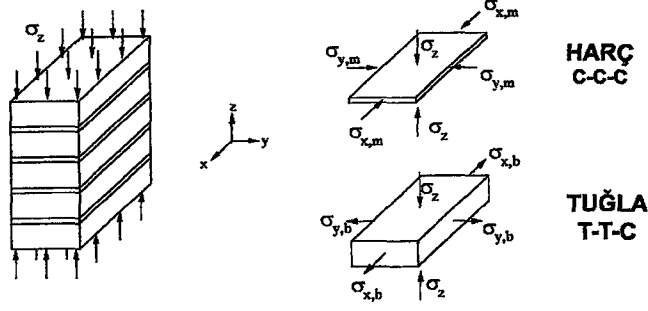


Şekil 6.1 Yığma prizmanın gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Köksal vd. 2003)

f'_{bl}	Blok mukavemeti
f'_m	Yığma prizma mukavemeti
f'_{mr}	Harç mukavemeti

6.1 Basınç Kırılması

Eksenal basınç yükleri altındaki yığma yapı elemanlarının kırılma mekanizması, şekil 6.2'de gösterildiği gibi, basınç kuvveti sebebiyle harçta yatay yönde oluşan çekme kuvvetlerinin taş veya tuğla birim elemanlarda düşey yönde neden olduğu yarılmalar sonucunda gerçekleşir. Harç ile tuğla veya taşın farklı birim deformasyon niteliklerine sahip olmasından dolayı gerçekleşen bu tip kırılmada, birim elemanlar arasındaki harç lastik bir yastık gibi davranır ve basınç gerilmesi altında ezildiğinde oldukça büyük yatay birim deformasyon oluşur. Yatay yönde oluşan deformasyon tuğla yada taşın düşey yönde çatlamasına neden olur. Düşey yükler altında, taş veya tuğlada çekme kırılması olduğundan, bu birim elemanların çekme dayanımları çok önem kazanır. Duvarda basınç yükleri altındaki düşey yarılmaların oluşumu şekil 6.4'te gösterilmiştir.

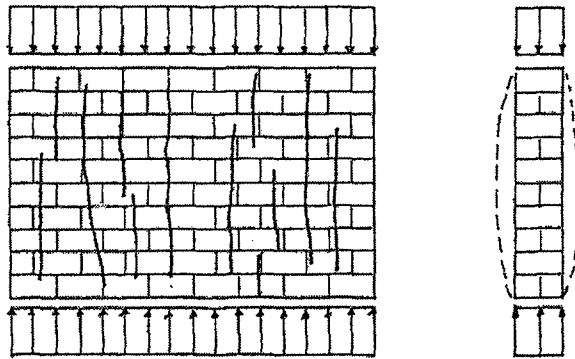


Şekil 6.2 Harç ve tuğlada gerilmeler



Şekil 6.3 Harç ve blokta ezilmenin oluşumu (Lourenço, 1994)

Öte yandan, aksenal yükler altında oluşan kırılma mekanizması birçok faktörden etkilenmektedir. Bunlar sırasıyla; Poisson oranı, elastisite modülü, taş veya tuğla ile harç arasındaki bağ, taş veya tuğla ile harç arasındaki sürtünme değeri, yığma yapı elemanının kayma direnci ve çekme dayanımıdır (Ünay, 2002).

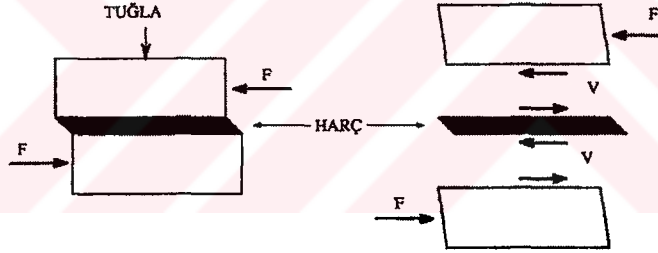


Şekil 6.4 Yığma duvarda basınç yükleri altında düşey yarılmaların oluşumu (Bayülke, 1980)

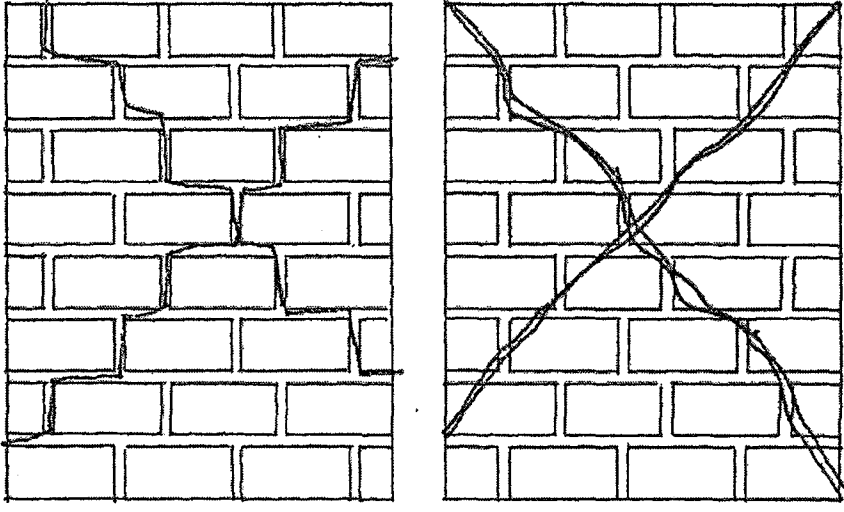
6.2 Kesme Kırılması

Yığma yapı elemanlarının örgü desenine bağlı olarak kayma gerilmeleri, birleşim noktalarında oluşan kayma ve diyagonal kayma olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Birleşim noktalarında oluşan kayma kırılması, komşu tuğla veya taş birim elemanlarının arasındaki harcın yatay yönde oluşan ötelenmeye karşı koyduğu direnç sonucunda gerçekleşir.

Diyagonal kayma kırılması, yığma yapı elemanında kesme kuvvetinin etki ettiği doğrultuya göre belli bir açıyla oluşan kayma gerilmesi sonucunda ortaya çıkar. Yığma duvarlarda ve diğer yapı elemanlarında, kesme kuvvetleri normal şartlarda birim elemanların birleşim düzlemlerine paralel yönde etki eder. Diyagonal çekme kırılmasının önlenmesi için de yığma yapı elemanını oluşturan birim elemanlar ile harç arasında iyi bir bağlantı olması gerekir. Homojen taşıyıcı elemanların kesme kuvveti etkili altındaki davranışlarının incelenmesi genel kabul görmüş mukavemet ilkeleri ile yapılabilir. Kesme kuvveti etkisi altındaki basit elemanda asal gerilmeler hesaplandığında eğik asal basınç gerilmeleri yanında ona ve çatlaklara dik doğrultuda çekme gerilmelerinin de oluştuğu görülür.



Şekil 6.5 Kayma kırılmasının mekanizması

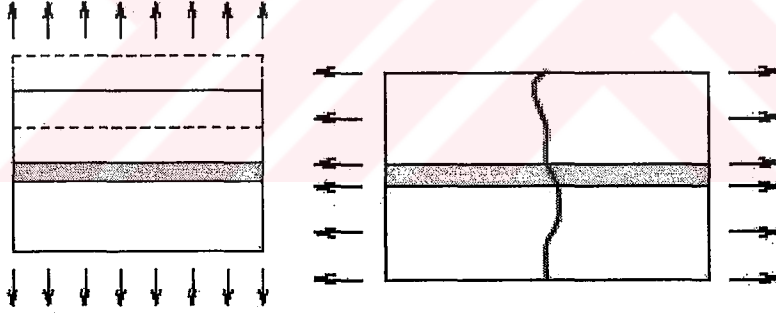


a) Harç dayanımı tuğla dayanımından küçük derzlerden geçen çatlaklar

b) Harç dayanımı tuğla dayanımından yüksek tuğlaları da kesen çatlaklar

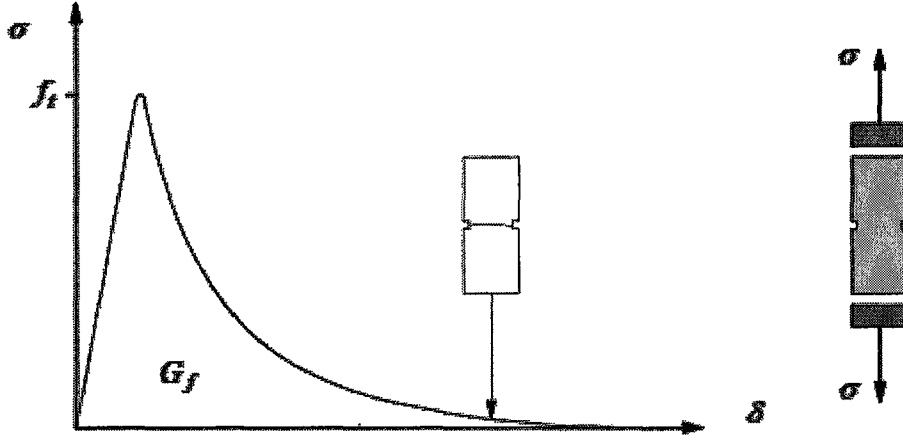
Şekil 6.6 Kayma kırılmasının mekanizması (Bayülke, 1980)

6.3 Çekme ve Eğilme Göçmesi



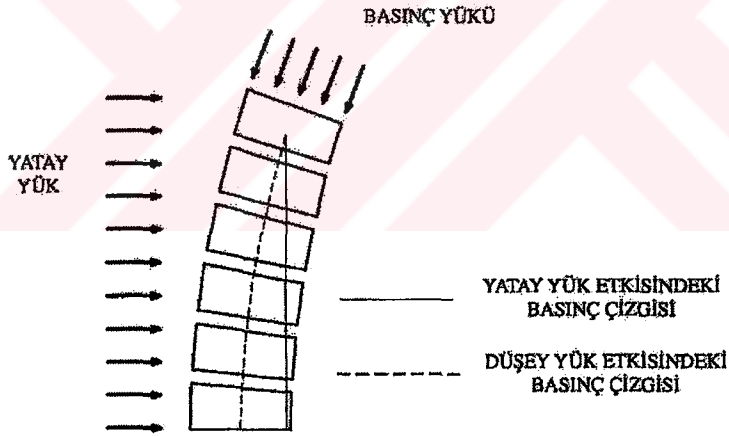
Şekil 6.7 Yığma elemanlarda çekme kırılmasının oluşumu (Lourenço, 1994)

Çekme kırılması derze paralel ve derze dik şekilde olabilmektedir. (Şekil 6.7) Derze dik kuvvet uygulandığında harç ile tuğla arasındaki aderans, derze paralel kuvvet olduğunda ise tuğlanın çekme dayanımı daha önemlidir. Tuğla duvar için çekme dayanımı basınç dayanımının $1/10$ 'u alınabilir. Şekil 6.8'de çekme deneyi ile elde edilen yük deplasman eğrisi görülmektedir. G_f bu eğri altında kalan alanı gösterir ve kırılma enerjisine eşittir.



Şekil 6.8 Çekme deneyi, yük deplasman eğrisi

Yığma yapı elemanları gevrek malzeme olmasından dolayı ani çekme kırılmalarına yatkındırlar. Bu nedenle çoğu zaman eğilmeden meydana gelen çekme gerilmeleri (Şekil 6.9) öncelikle birleşim yerlerinden başlamak üzere kırılır. Kırılmanın ardından dengesi bozulan elemanda çatlaklar artar ve yapının tamamının veya bir kısmının göçmesine sebep olur.



Şekil 6.9 Yatay yükten dolayı elemanda oluşan çekme gerilmeleri

7. YIĞMA DUVARIN MODELLENMESİ

7.1 Yığma Yapılarda Matematiksel Modelleme Yöntemleri

Son yıllarda bilgisayar teknolojisi sayesinde yapısal analiz tekniklerinin gelişmesiyle, klasik analiz yöntemleri tamamen terk edilerek doğrusal olmayan malzeme özelliklerinin de dikkate alındığı, taş blokları birbirine bağlayan harçta oluşan çatlakların neden olduğu mafsal davranışının göz önüne alındığı plastik analiz yaklaşımı daha yaygın olmaya başlamıştır. Taş veya tuğla taşıyıcı sisteme sahip yığma yapıların yapısal analizi oldukça karmaşık bir işlemdir. Öncelikle yapı elemanlarını oluşturan malzemelerin mekanik özellikleri çok iyi bir şekilde tanımlanmalıdır. Yığma taş veya tuğla tekniği ile yapılmış yapıların analizi için, yapının tarihine, kültürel ve sanatsal değerine herhangi bir zarar verilmeden tahribatsız örnek alınmalı ve laboratuvar ortamında özelliklerini incelemek amacıyla deneyler yapılmalıdır. Özellikle büyük önem taşıyan, tarihi yapıların yapısal analizinde karşılaşılan belli başlı sorunların bazıları şunlardır (Lourenço, 2002).

- Geometrik boyutlarla ilgili veri eksikliği,
- Büyük kesitli yapı elemanlarının dışarıdan görünmeyen iç bölümlerinin malzeme özelliklerinin belirsizliği,
- Yapı malzemelerinin özelliklerinin belirlenmesindeki güçlükler,
- Yapım tekniğinden ve doğal malzeme kullanımından kaynaklanan veri çeşitliliği,
- Yapının inşaat süresinin çok uzun olması nedeniyle aynı eleman kesiti içinde bile değişebilen malzeme özellikleri,
- Yapım sürecinin ve sırasının tam olarak bilinmemesi,
- Yapıdaki mevcut hasarın neden olduğu genel stabilitenin ve dayanım sürekliliğinin tam olarak saptanamaması,
- Çağdaş yapı malzemesi, yapısal analiz, tasarım ve yük şartnamelerinin uygulanamaması.

Yığma yapıların ayrıntılı yapısal analizlerinde genellikle sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılır. Modern bir nümerik çözümlene yöntemi olan Sonlu Elemanlar Yöntemi, bilgisayar teknolojisinin ilerlemesi ile birlikte gelişmiş önemli bir sayısal hesap yöntemidir. Yapısal analiz, yapının tamamı ya da belirli bir elemanın matematiksel modelinin hazırlanmasıyla başlar. Bu işleme yapının ayrıştırılması denir. Yapı, ayrıştırma sırasında, analizin amacına uygun bir şekilde ve sayıda sonlu elemanlara ayrılır. Yapıyı oluşturan strüktürel elemanlar, yapının geometrik boyutları, yapı üzerine etki eden yükler, mesnetlerin ve elemanların

birleşim noktalarının hareket yetenekleri ve serbestlik derecesi göz önüne alınarak model içerisinde tanımlanır.

Matematiksel modellemenin amacı, yapının tamamının, belli bir bölümünün yada strüktürel elemanlarının çeşitli yükler veya fiziksel etkiler altında gerçek davranışının gözlenmesini sağlamaktır. Yapının gerçek davranışı genellikle çok karmaşıktır. Bu nedenle, yapıyı modellemek için birçok sadeleştirmenin yapılması zorunludur. Yalın ve basit bir model elde etmek için, yapı elemanlarını oluşturan malzemenin mekanik özelliklerinin de uygun bir şekilde tanımlanması gereklidir.

Yapıların çeşitli yük ve çevresel etkilerden dolayı göstereceği davranışı, deformasyonları ve yapı elemanlarında oluşan kuvvetleri doğru bir şekilde elde etmek için yapılacak olan matematiksel modellemenin temel prensipleri şunlardır (Toker vd., 2004):

- En basit olan model her zaman en iyi sonucu verendir. Analizin amacının ve kapsamının dışına çıkan daha ayrıntılı ve karmaşık modeller hata riskini artırır.
- Matematiksel modeli oluşturan elemanların boyutları seçilirken, analiz için gerekli olan bütün strüktürel etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin bir kemerin analizinde, eğer burulma momentinden dolayı oluşan deformasyon hesaplanacaksa, modelde kemeri tanımlayan eleman, aksenal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme momenti ve burulma momenti değerlerini verecek şekilde boyutlandırılmalı ve kesit özellikleri bu değerlerin sonuçlarını verecek şekilde tanımlanmalıdır.
- Yapının tamamını tanımlayan büyük bir modelin bir bölümünü ayırarak yapılan model, o bölümün ya da elemanın ayrıntılı davranışını incelemek için yeterli değildir. Ayrıntılı davranış için sınır koşullarını ve bağlantı şekillerini doğru bir şekilde tanımlayan modeller gereklidir.

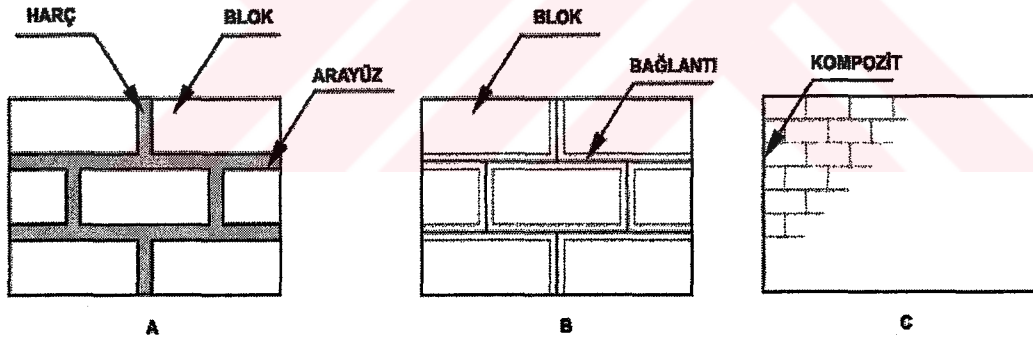
Bir yapının matematiksel modelini oluşturmak için aşağıda belirtilen temel aşamaları izlemek gerekmektedir:

Malzeme davranışı ile ilgili olarak yapılan kabuller, diferansiyel eleman olarak da bilinen, malzemenin çok küçük bir parçasının davranışına göre belirlenir. Diferansiyel eleman malzeme modelini oluşturur. Malzeme modelinde, malzemenin gerilme-birim deformasyon özellikleri göz önüne alınır. Yapının sınırları belirlenmiş bir bölümünü tanımlayan ve sonlu eleman olarak adlandırılan elemanların davranışını sergilemesi için diferansiyel elemanlar bütünleştirilir. Bir sonraki aşama, yapının tamamının davranışını yansıtması için sonlu elemanların bir araya getirilmesidir. Son aşamada ise, sınır koşulları, mesnetlerin ve düğüm

noktalarının hareket yetenekleri ve model üzerine etki edecek olan yükler belirlenir. Sonlu elemanlar analizinde öncelikle modeli oluşturan elemanların bireysel davranışı, sonra da matematiksel modelin tamamının davranışı önemlidir. Kusursuz bir model oluşturmak için malzeme davranışı ve elemanların bireysel davranışının çok iyi incelenmesi gereklidir (Ünay, 2002).

Taş veya tuğla yığma yapım tekniği ile yapılmış yapılar için çeşitli analiz yöntemleri uygulanmaktadır. Belli başlı yapısal analiz teknikleri, elastik analiz, plastik deformasyonların da göz önüne alındığı doğrusal-elastik olmayan analiz ve çökme mekanizmasının incelendiği limit analiz yöntemleridir. Doğrusal-elastik olmayan analiz ve limit analiz yöntemleri hem karmaşık olup hem de malzemelerin gerçek gerilme-birim deformasyon özelliklerinin çok iyi tanımlanmasını zorunlu kıldıklarından, hesap yönteminin uygulanmasında çok dikkatli olunması gerekmektedir.

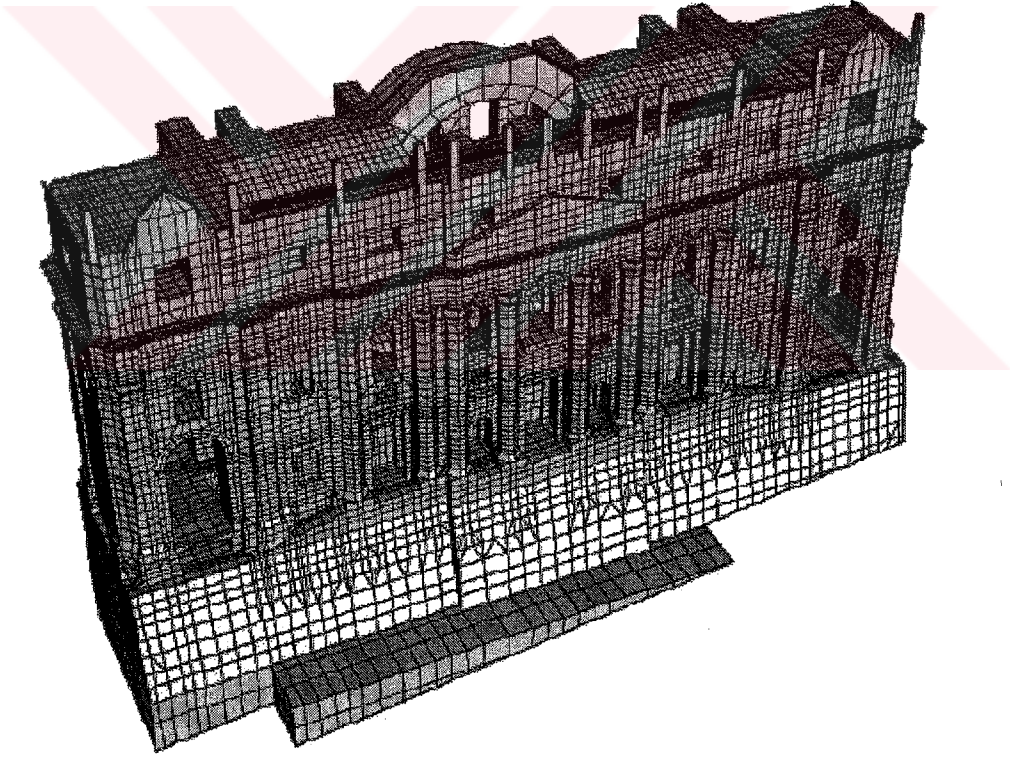
Model oluşturulurken makro ve mikro modelleme olmak üzere temelde iki çeşit modelleme prensibi vardır. Mikro modelleme yöntemi ise kendi içinde basitleştirilmiş mikro modelleme ve detaylı mikro modelleme olmak üzere iki yolla yapılır (Şekil 7.1).



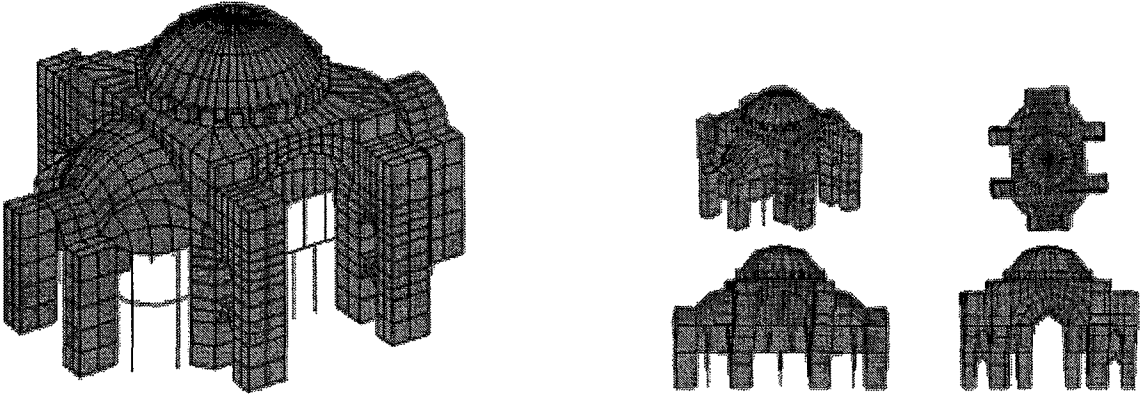
Şekil 7.1 Modelleme yöntemleri a) Detaylı mikro modelleme b) Basitleştirilmiş mikro modelleme c) Makro modelleme (Lourenço, 2004)

7.1.1 Makro Modelleme

Genellikle ve uygulamaya yönelik çalışmalarda blok ile harç arasındaki etkileşim tüm yapı davranışını incelerken ihmal edilir. Bu tür analiz yapılmasına makro modelleme denir. Bu yaklaşımda malzeme kompozit kabul edilir. Yapının veya elamanların küçük detayları için uygun bir model değildir. Bu yöntemde açık olmayan malzeme gerilmeleri için büyük ölçekli deneylerden elde edilen yığılma gerilme değerleri kullanılır (Lourenço, 1998). Yöntem uygulanırken yığılma homojen, izotrop veya anizotrop sürekli kabul edilir (Asteris ve Tzamtzis, 2003). Elemanın farklı yerlerindeki farklı malzeme özelliklerinin ortalaması alınarak homojenize edilir. Genellikle karmaşık sistemli tarihi yapıların duvar parçalarının, ayak, payanda, kemer ve tonozlarının modellenmesine uygundur. Tarihi yapıların duvar örgüsündeki düzen makro modelleme yaparken kabul edilen deneysel verilere dayanan homojenleştirmenin çok umut verici sonuçlar verdiğini göstermektedir. Cephesi makro model ile yapılmış olan Roma'daki St. Peter's Bazilikası ve Ayasofya Camii buna iyi bir örnektir (Şekil 7.2).



Şekil 7.2 Roma'daki St. Peter's Bazilikası (Lourenço, 2002)



Şekil 7.3 Ayasofya Camii sonlu elaman modeli (www.lusas.com)

7.1.2 Mikro Modelleme

7.1.2.1 Detaylı Mikro Modelleme

Blok, harç ve harç-blok arasındaki arayüz süreksiz düğüm noktalarının ayrı ayrı modellenerek, detaylı analiz edilmesine mikro modelleme denir. Mikro modelleme yapılırken elemanlar ve harç arasındaki ilişki çok iyi araştırılmalı ve tanımlanmalıdır. Bu yaklaşımda elastisite modülü, Poisson oranı ve diğer elastik olmayan malzeme özellikleri hem blok hem de harç için hesaba katılır. Arayüzde oluşan kayma düzlemi sahte bir rijitlik göstererek elemanların birbirleri içine girmelerini engeller (Lourenço, 2002). Bu yaklaşım hassas gerilme ve şekil değiştirmeleri ölçmede kullanılır (Lourenço ve Rots 1997), (Asteris ve Tzamtzis, 2003).

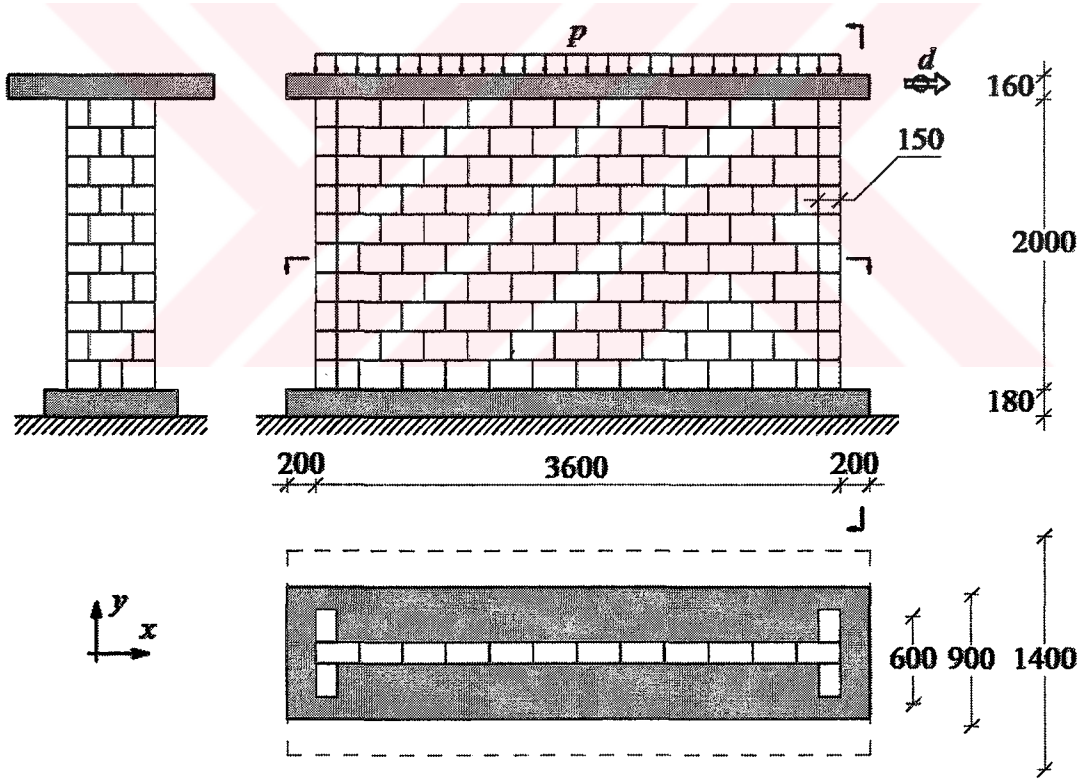
7.1.2.2 Basitleştirilmiş Mikro Modelleme

Basitleştirilmiş mikro modellemede yığma blok ve düğümlerden oluşur. Düğümler ise harç ve iki tane harç-blok arayüzünden oluşur ve ortalama bir arayüz teşkil eder. Modelin şeklini tamamlamak için ise blok boyutları genişletilmiştir. Bu yöntemde bloklar düğüm noktalarından potansiyel kırılma-kayma yüzeyleri ile birbirine bağlanmıştır. Harcın poisson etkisi göz ardı edildiğinden dolayı doğruluk payı düşüktür (Lourenço, 2002).

7.2 Örnek Model Üzerinde Hasar Parametrelerinin Araştırılması

Kullanılan sonlu eleman modeli literatürde 1982 yılında Ganz ve Thurlimann tarafından birebir ölçekli modelinin yapıldığı ETHZ (Zurich Institute of Structural Engineering) deneyi sık kullanılan bir modeldir. Bu modelin kullanılmasındaki amaç modelin büyük şeklinin yatay ve düşey yükler altındaki davranışının çok belirgin şekilde gözlenebilmesindedir. Yığma yapıların çok karmaşık ve düzensiz geometrilerinden dolayı sadece modellemenin yapılması bile çok büyük uğraş, dikkat ve zaman almaktadır. Yapılan çalışmalarda yapının tamamı yerine kısım kısım, üç boyutlu modeller yerine iki boyutlu modeller, doğrusal elastik analiz yerine doğrusal olmayan analiz yapılması, mikro modellerin yığma yapılarda büyük kısımları için değil, daha çok küçük elemanları için yapılması önerilmektedir (Lourenço, 1996).

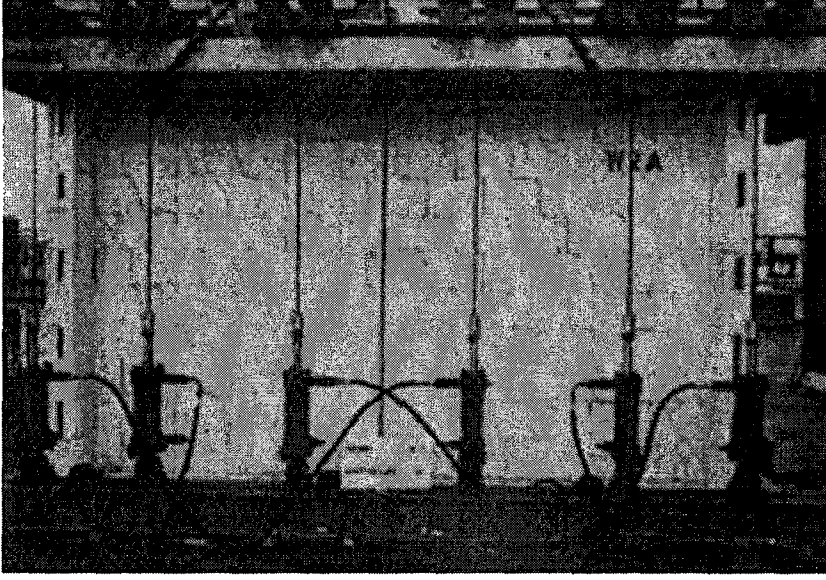
Yapılmış olan deneyler arasından W2 ve W4 duvarı modelleme için kullanılacaktır. Kullanılan modellerde duvar 3600x2000x150mm, iki tane 150x2000x600mm boyutlarında başlık ile alt ve üst kısımlarında beton tabaka bulunmaktadır. Duvarda 150x200x225mm boyutlarında boşluklu kil tuğla kullanılmıştır (Şekil 7.4).



Şekil 7.4 ETH Zurich deneyi, şekil ve yükleri (Berto, 2001), (Lourenço, 1997)

Yapılan deneyler içinden W2 duvarı boyunca $p=1,91\text{MPa}$ düzgün yayılı yükü, toplam

1289kN uygulanmış, yatay F kuvveti ile de üst noktasında d yatay deplasmanı oluşturulmuştur. Şekil 7.5'te ve Şekil 7.6'da deney sonucunda yük-deplasman eğrileri ve göçme anındaki hasar şekli gösterilmektedir.

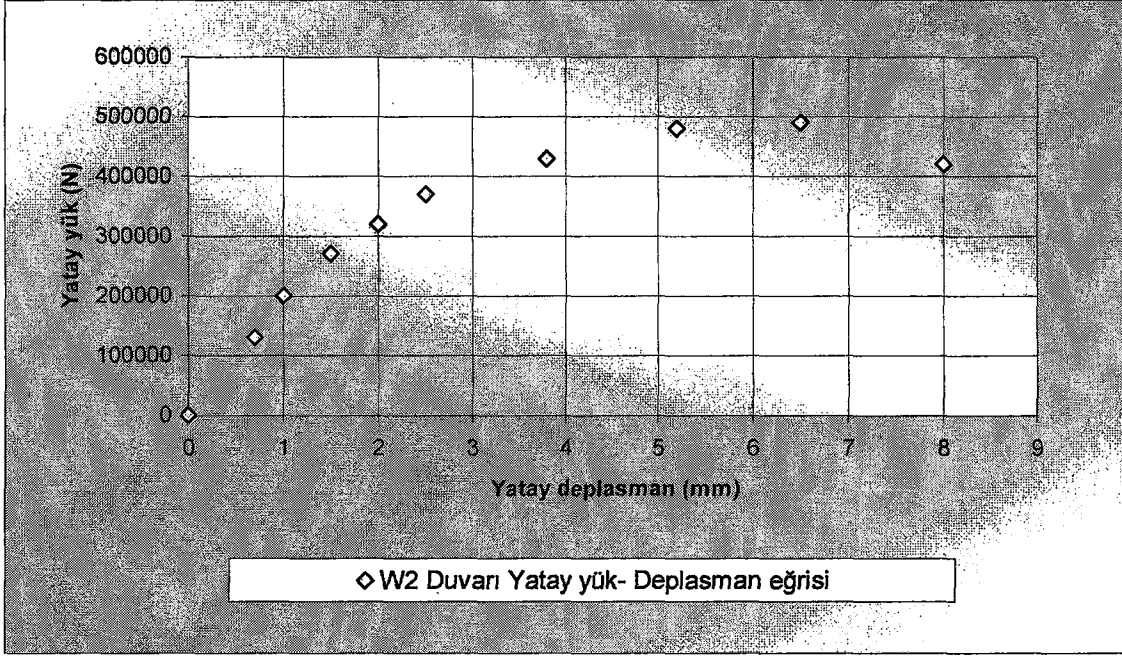


(a)



(b)

Şekil 7.5 ETHZ deneyi W2 duvarı için göçmeden önce (a) ve sonra (b) hasar oluşumu



Şekil 7.6 ETHZ deneyi W2 duvarı yük-deplasman grafiği

Bu araştırmada izotrop hasar modeli kullanılmıştır. İzotrop hasar modeli kırılmayı bir baştan diğer başa yayılan risk miktarı olarak ele alır. Çalışmada bir takım kabuller yapılarak teorik olarak çıkarılmış denklemler ile tahmin edilmiş olan G_f kırılma enerjisi kullanılmıştır.

Çalışmada modelin sonlu elaman modeli üzerinde çeşitli sonlu elaman ağı boyutlarında modeller oluşturularak her bir sonlu elaman ağı boyutu için ETHZ deneyinden elde edilen yük-deplasman eğrilerine en uygun eğriler elde edilmeye çalışılmış ve olumlu sonuçlar bulunmuştur. Modellemedeki hassasiyeti bilinen Lusas modelleyici, çözümlene için tercih edilmiştir. Lusas statik hesap programında izotrop hasar modelleri içinden Oliver hasar modeli kullanılmıştır.

Bu modelde hasarın özelliklerini belirleyen üç parametre vardır. Bunlar; başlangıç threshold değeri, boyut parametresi ve hasar oranıdır.

Tek bir iç değişken olarak d tanımlanmıştır. Hasar belirleyici olarak da kabul edilen bu değişken, sekant rijitlik kaybının da ölçüsüdür. Bu değer 0 ile 1 arasında değişir ($0 \leq d \leq 1$). Kurulan hasar modeli şu şekildedir.

$$\sigma = (1-d)D_o \varepsilon \quad (7.1)$$

- σ Gerilmeyi
 ε Şekil değiştirmeyi
 D_o Hasar görmemiş kısımda bulunan gerilmeyi
 d Hasar değişkenini göstermektedir.

Skaler bir fonksiyon olan, $M(\tau)$, 0 ile 1 aralığındadır (Köksal vd., 2003). Hasarın ilerlemesi şu şekilde ifade edilir:

τ gerilme durumunu gösteren bir fonksiyondur.

$$M(\tau') = 1 - \frac{\tau^*}{\tau'} \exp \left\{ A \left(1 - \frac{\tau'}{\tau^*} \right) \right\}; 0 < \tau^* \leq \tau' \quad (7.2)$$

$$\tau^t \geq \tau^o = \tau^* \quad (7.3)$$

- τ^* Başlangıç threshold değeri
 τ^t Anlık hasar eşiğini göstermektedir.

τ^* aşağıdaki bağıntı ile elde edilir.

$$\tau^* = \frac{f_t}{\sqrt{E_o}} \quad (7.4)$$

- f_t Hasarın başladığı tek eksenli gerilme değerini gösterir.
 E_o Hasarı görmemiş elastisite modülüdür.

Berto L. vd. (2001)'nin yapmış olduğu araştırmada ETHZ deneyinde belirlenmiş olan kil tuğla eleman için hasarın başladığı tek eksenli çekme gerilme değeri $f_t = 0,68 \text{MPa}$ ve basınç gerilme değeri $f_c = 9,5 \text{MPa}$ olarak alınmıştır.

A sonlu eleman ağının en büyük boyutunu dolaylı olarak sınırlayan bir etkendir. Lusas sonlu eleman modelleme şartlarında izotrop hasar modeli teorisinde gerekli bir değişkendir. Şu şekilde ifade edilir. (Köksal vd., 2003)

$$A = \left(\frac{G_f E_o}{h f_t^2} - \frac{1}{2} \right)^{-1} \geq 0 \quad (\text{Köksal vd., 2003}) \quad (7.5)$$

Burada sonlu eleman ağı boyutu için belirlenen değişken h , şu şekilde bulunur.

$$h = \sqrt[3]{h_x h_y h_z} \quad (\text{Köksal vd., 2004}) \quad (7.6)$$

Kırılma enerjisi için (Köksal ve Karakoç, 1999) tarafından önerilen şu denklem kullanılacaktır.

$$G_f = 15,48 d_{\max} \frac{f_t^2}{E_o} \quad (\text{Köksal ve Karakoç, 1999}) \quad (7.7)$$

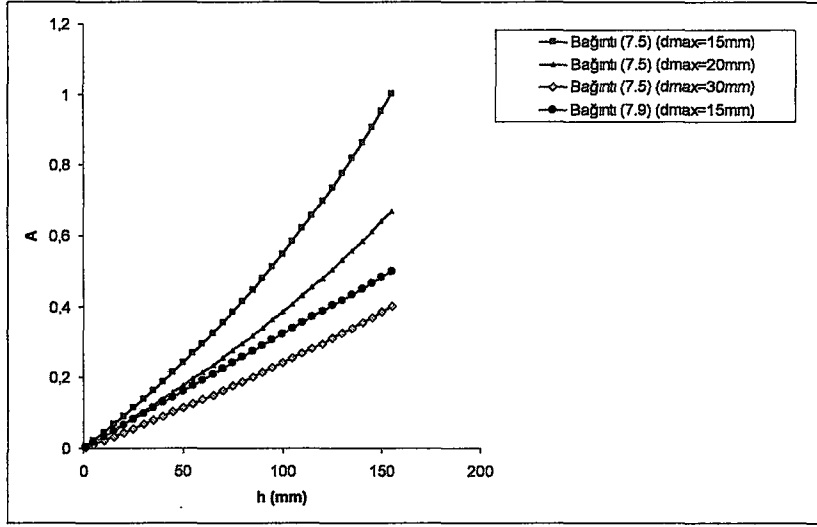
Denklem 7.5'te G_f kırılma enerjisi yerine yazılırsa, aşağıdaki denklem elde edilir.

$$A = \left(15,48 \frac{d_{\max}}{h} - \frac{1}{2} \right)^{-1} \geq 0 \quad (\text{Köksal vd., 2004}) \quad (7.8)$$

Burada 0,5 ihmal edilir ve en büyük agrega çapı, $d_{\max} \approx 20mm$ alınırsa A aşağıdaki bağıntıda yaklaşık olarak

$$A \cong \frac{h}{310} \quad \text{alınabilir.} \quad (\text{Köksal vd., 2004}) \quad (7.9)$$

Köksal vd., (2004) tarafından yapılan araştırmalarda A boyut parametresinin sadeleştirme yapılmasından sonra ve önceki değişimi farklı d_{\max} değeri için aşağıdaki grafikte gösterilmektedir. (Şekil 7.7)



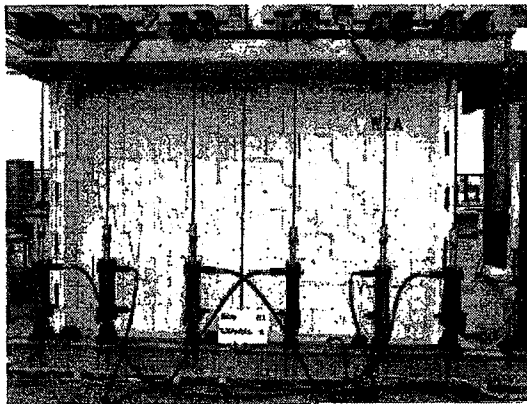
Şekil 7.7 Köksal vd. (2004) tarafından yapılan araştırmada boyut parametresine ilişkin grafik

E_o elastisite modülü ise yaklaşık olarak aşağıdaki formülden hesaplanacaktır. Bağıntı (7.10) da belirtilen oldukça geniş bir aralıkta uygun değer alınabilmektedir. $E_o \cong 590 * f_c$ olarak modellemede kullanılacaktır.

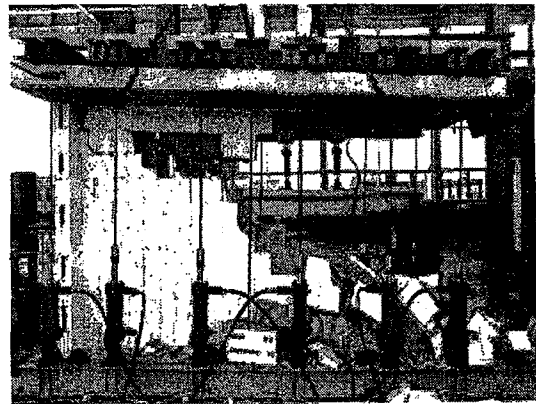
$$500 f_c \leq E_o \leq 1500 f_c \quad (7.10)$$

7.3 Hasar Parametrelerine Uygun Bağıntıların Bulunması

Yapılan araştırmalar, denemeler sonucunda farklı sonlu eleman boyutu için elde edilen yük deplasman eğrileri ve bu eğrileri veren hasar parametreleri aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi bulunmuştur. (Çizelge 7.1)

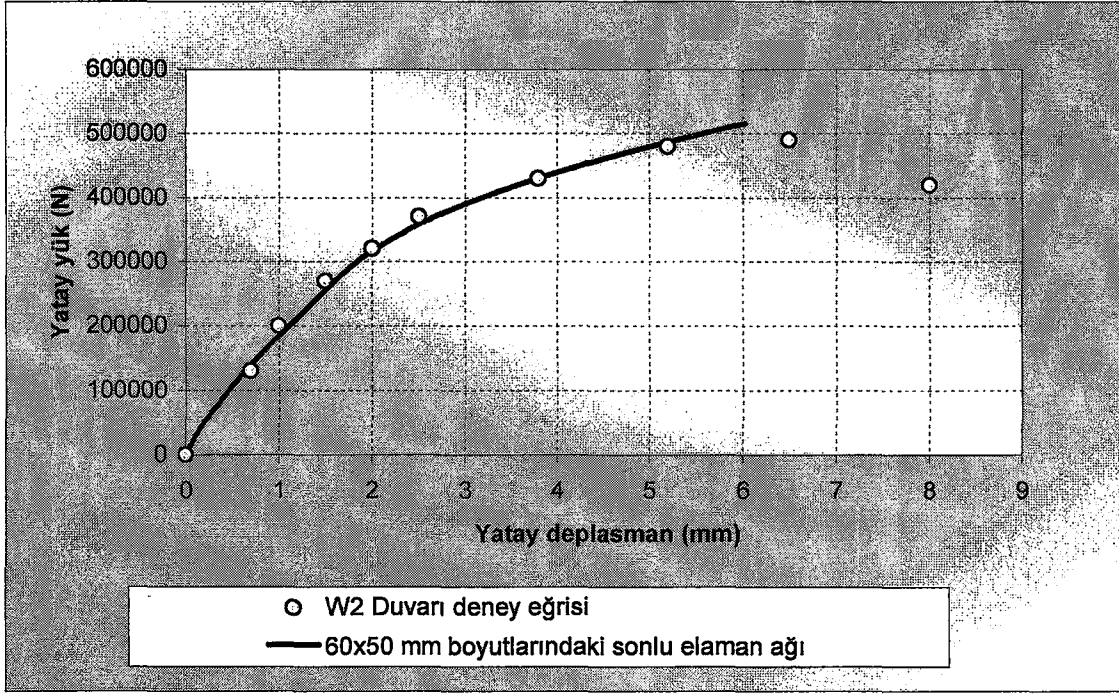


(a)

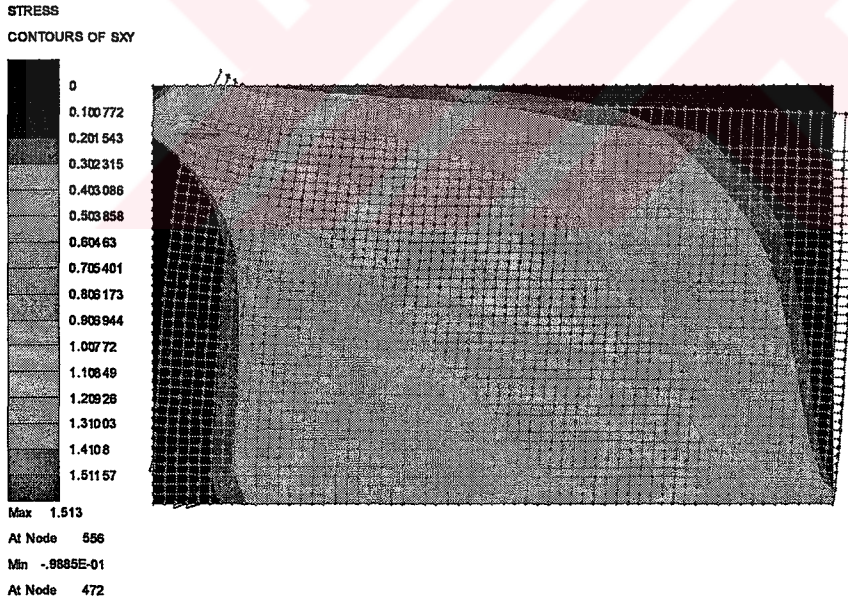


(b)

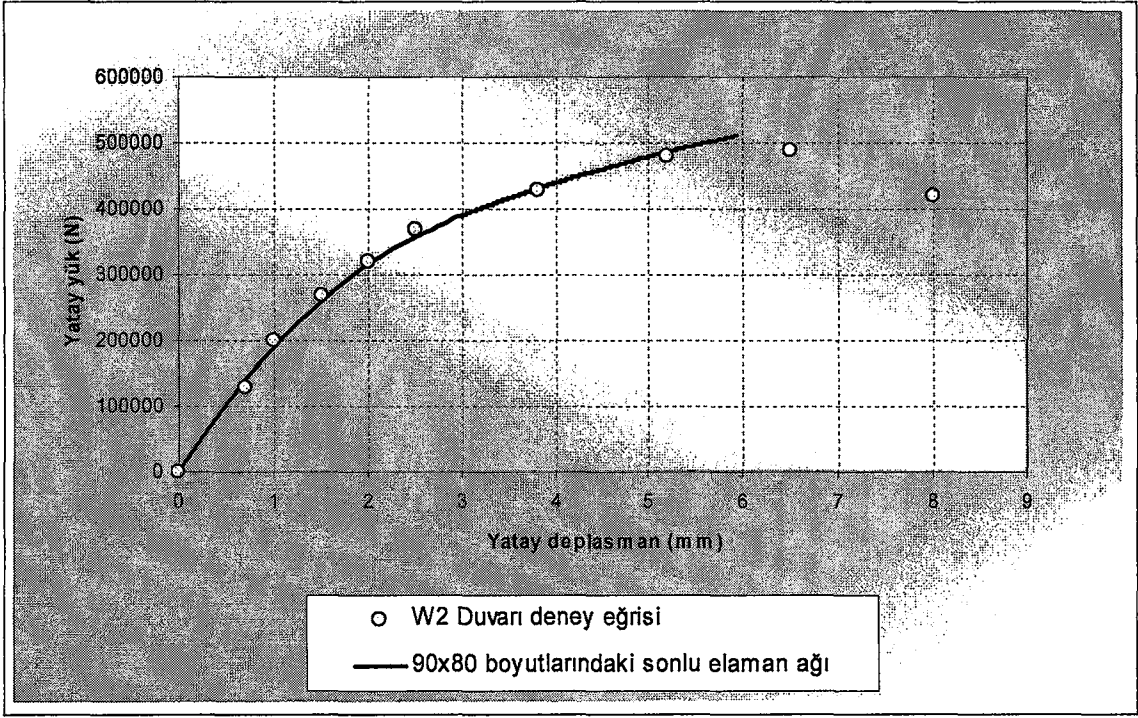
Şekil 7.8 ETHZ deneyi W2 duvarı için göçmeden önce ve sonra hasar oluşumu



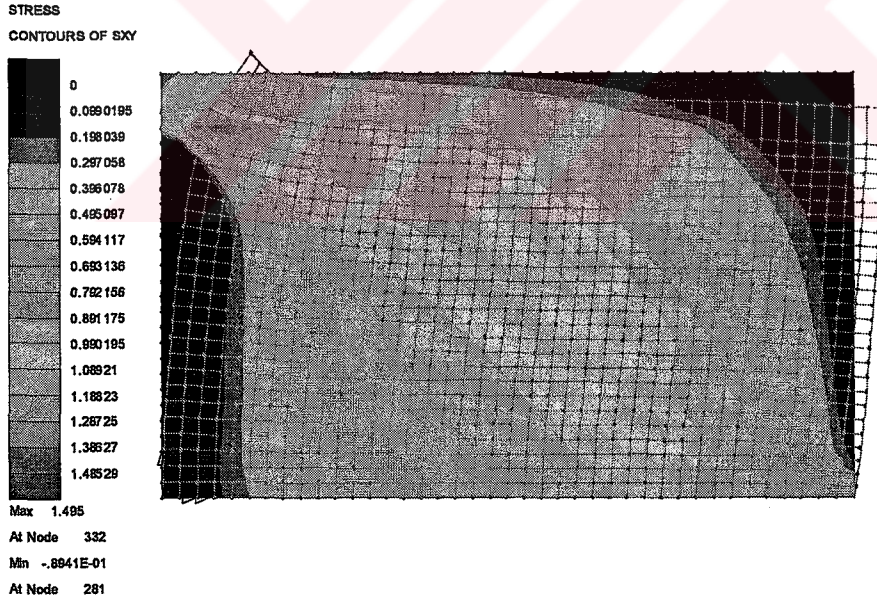
Şekil 7.9 60x50mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için yatay yük-deplasman grafiği



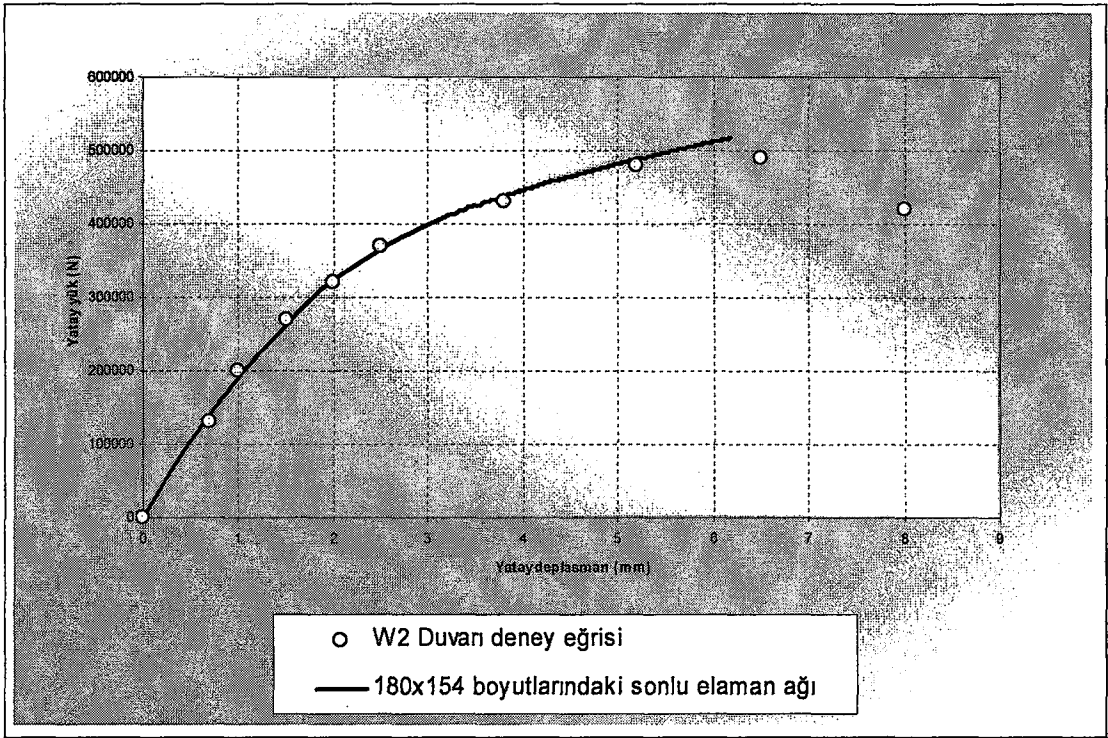
Şekil 7.10 60x50mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı



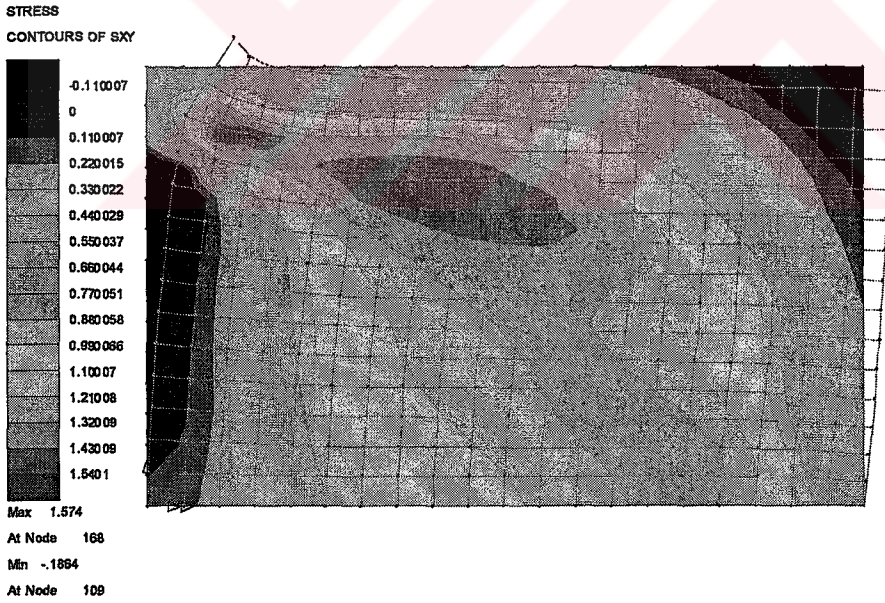
Şekil 7.11 90x80mm boyutlarındaki sonlu elaman ağı için yatay yük-deplasman grafiği



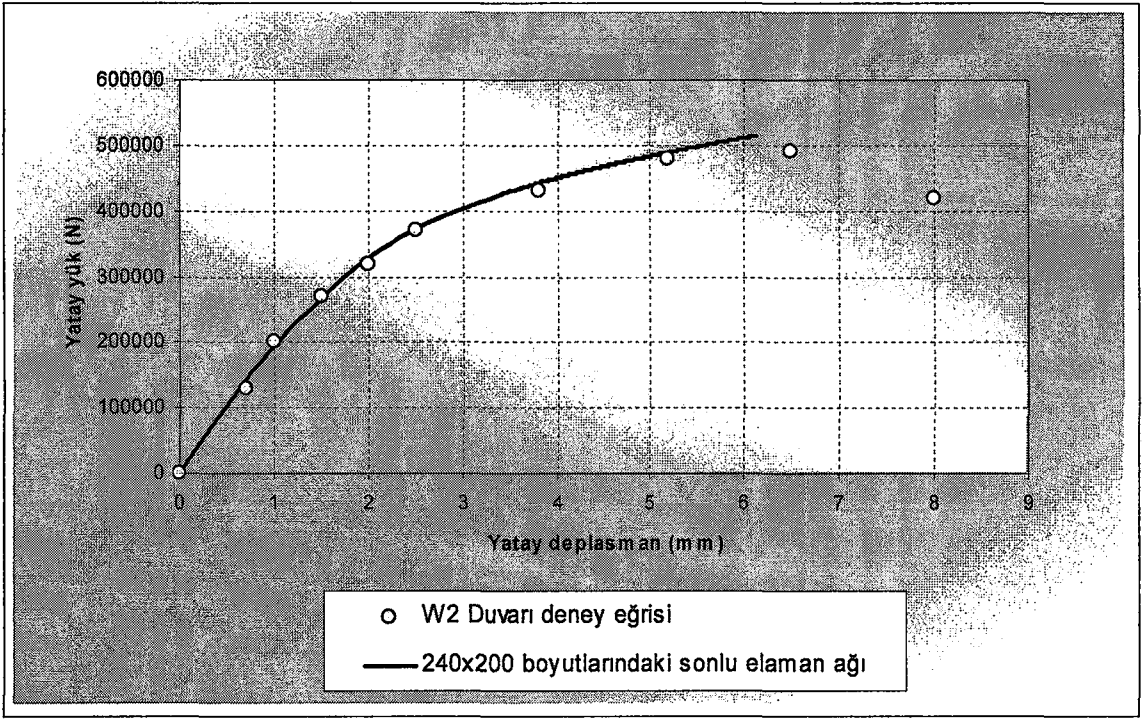
Şekil 7.12 90x80mm boyutlarındaki sonlu elaman ağı için kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı



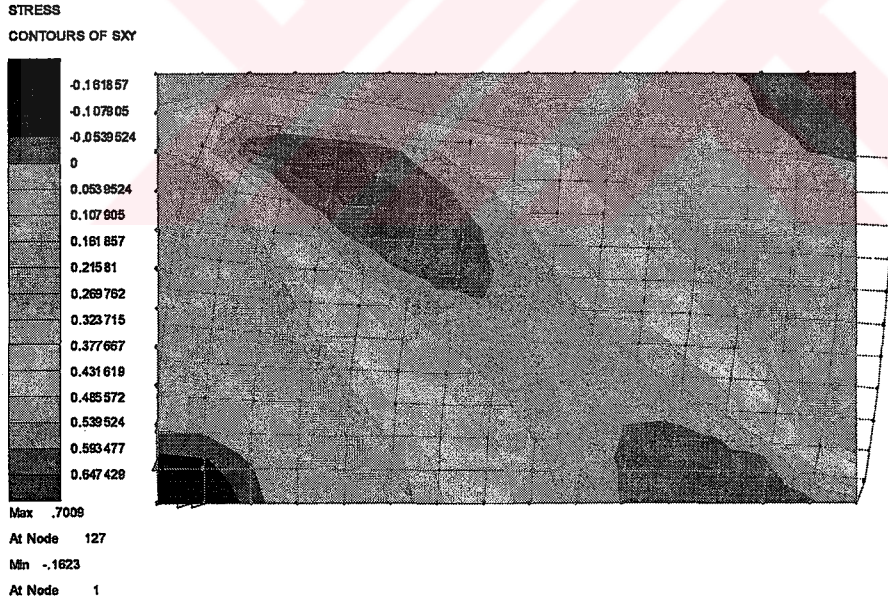
Şekil 7.13 180x154mm boyutlarındaki sonlu elaman ağı için yatay yük-deplasman grafiği



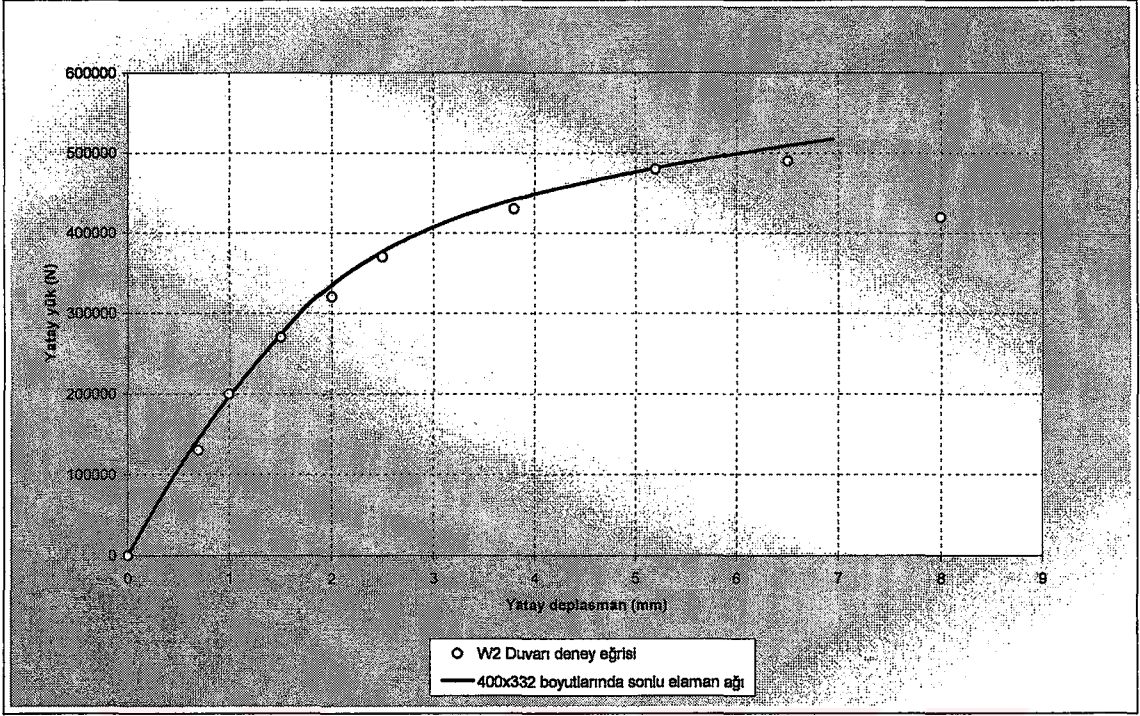
Şekil 7.14 180x154mm boyutlarındaki sonlu elaman ağı için kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı



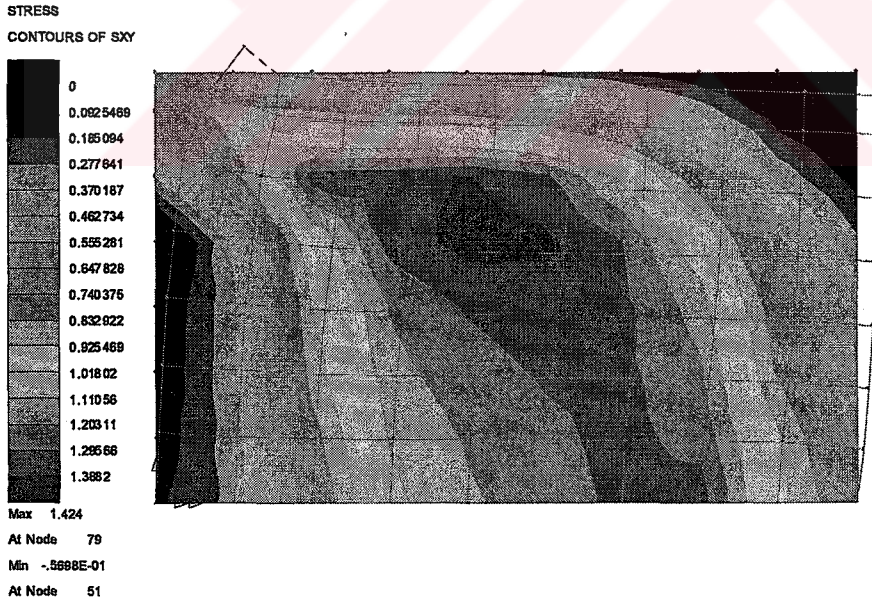
Şekil 7.15 240x200mm boyutlarındaki sonlu elaman ağı için yatay yük-deplasman grafiği



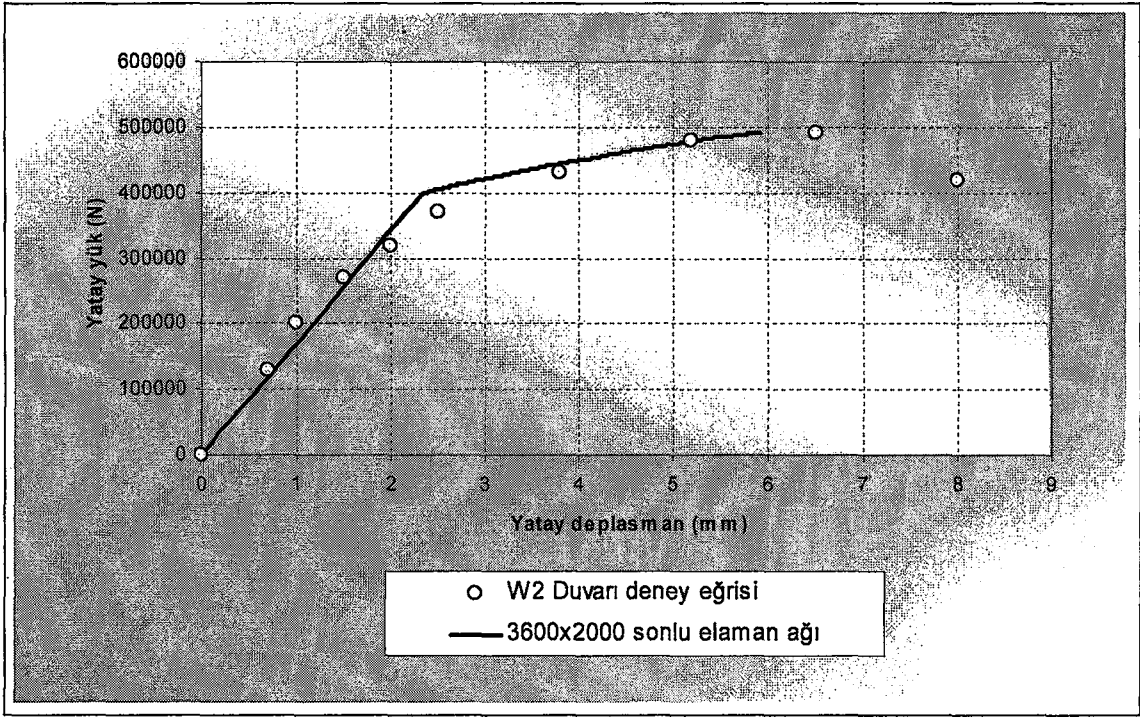
Şekil 7.16 240x200mm boyutlarındaki sonlu elaman ağı için kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı



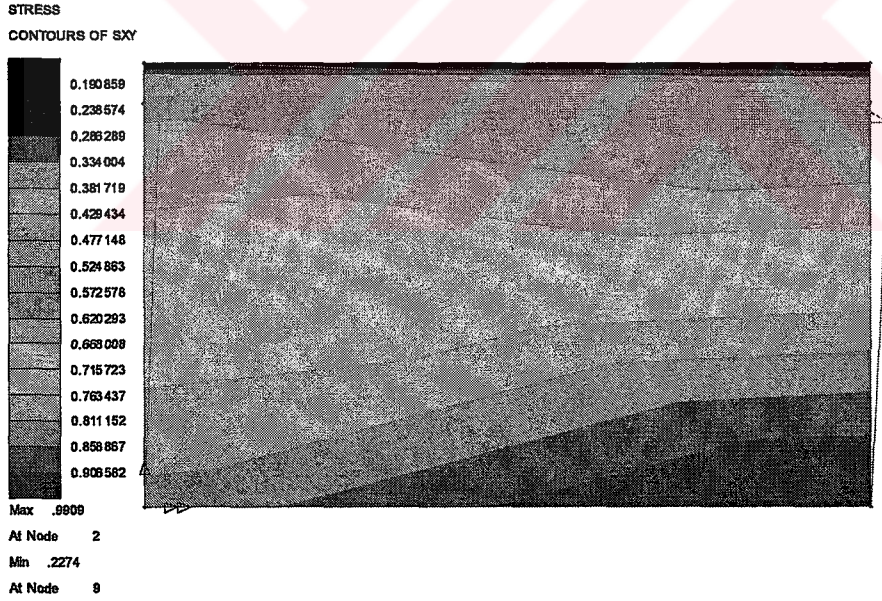
Şekil 7.17 400x332mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için yatay yük-deplasman grafiği



Şekil 7.18 400x332mm boyutlarındaki sonlu eleman ağı için kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı



Şekil 7.19 3600x2000mm boyutlarındaki sonlu elaman ağı için yatay yük-deplasman grafiği



Şekil 7.20 3600x2000mm boyutlarındaki sonlu elaman ağı için kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı

Çizelge 7.1 Farklı boyutlardaki sonlu elaman boyutu için bulunan hasar parametreleri

Sonlu Elaman Ağı Boyutu (mm)	A (Boyut parametresi)	τ' Threshold değeri	$d(\text{hasaroranı}) = \frac{f_c'}{f_t'}$
60x50	0,176	0,0050	8
90x80	0,274	0,0055	7,5
180x154	0,53	0,0065	7
240x200	0,71	0,0070	6,8
400x332	1,17	0,0075	6,5
3600x2000	8,65	0,0080	6,2

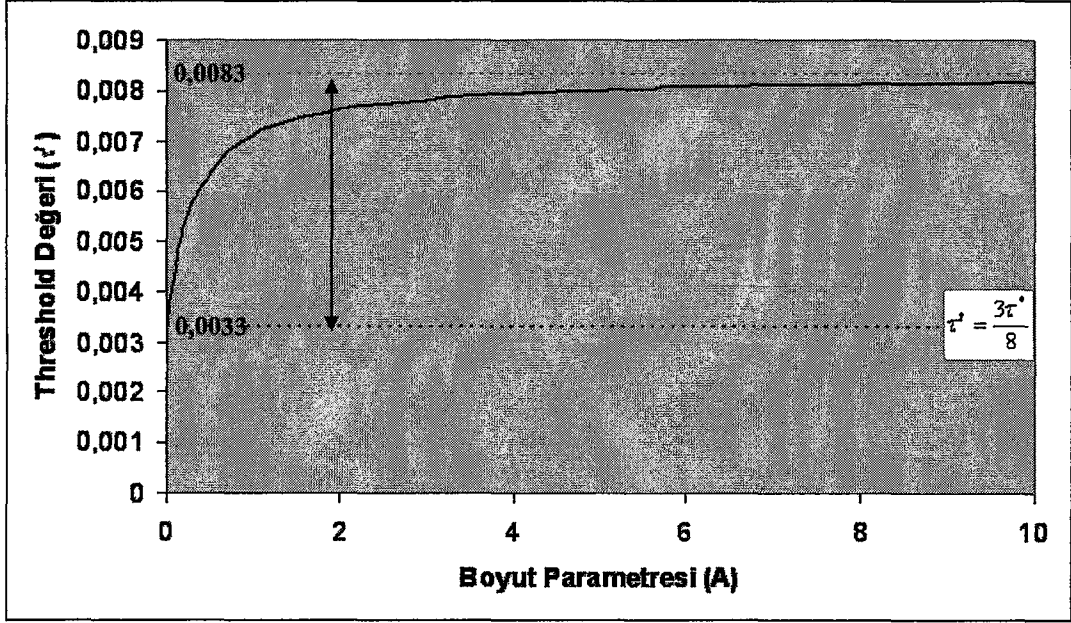
Elde edilen hasar parametreleri arasındaki ilişki şu şekilde bulunmuştur.

$$d = \frac{27}{\left(1 + \left(\frac{A + 4,639}{33}\right)^2\right) \left(1 + \left(\frac{\tau' + 0,0108}{0,0104}\right)^2\right)} \quad (7.10)$$

$$\tau' = \frac{3\tau^*}{8} + \frac{0,005A}{0,31 + A} \quad (7.11)$$

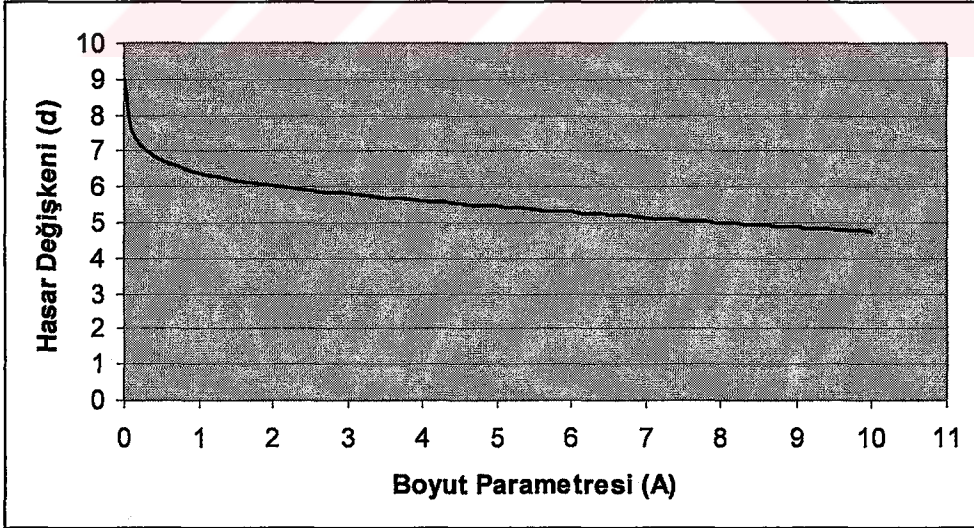
$$\tau^* = \frac{f_t'}{\sqrt{E_o}} \quad (7.12)$$

Boyut parametresi ile threshold değeri arasındaki ilişki şekil 7.21'de , boyut parametresi ile hasar değişkeni arasındaki ilişki şekil 7.22'de gösterilmektedir.



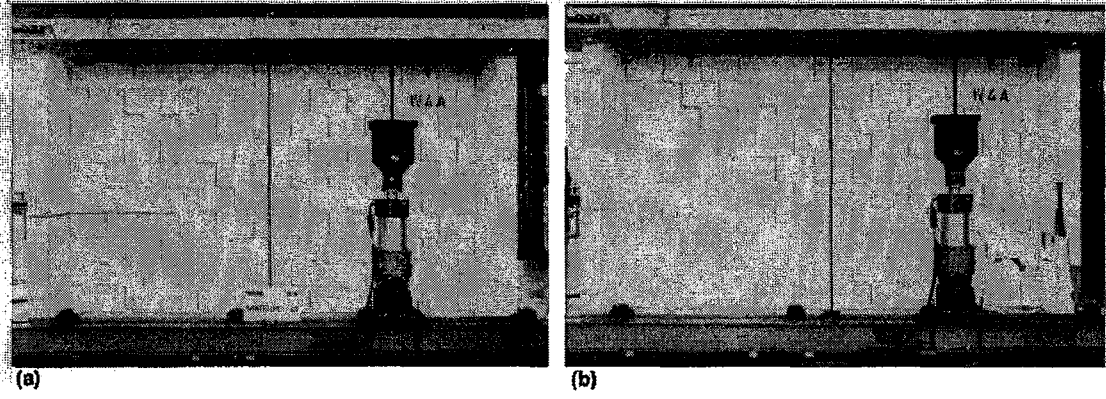
Şekil 7.21 Threshold değeri (τ) ile Boyut Parametresi (A) arasındaki ilişki, Bağntı (7.11)

Şekil 7.21’de görüldüğü gibi threshold eşik değeri belirli bir boyuttan sonra sabit olmaktadır. Bağntı (7.11)’de A değeri sonsuza giderken τ değeri 0,0083 değerine asimtot olmaktadır. A değeri sifıra giderken ise 0,0033 değerini almaktadır. A değeri sonsuza giderken hasar değişkeni (d), sifıra gitmektedir bu yaklaşımla eleman boyutu çok büyür ise hasar oluşmamaktadır.



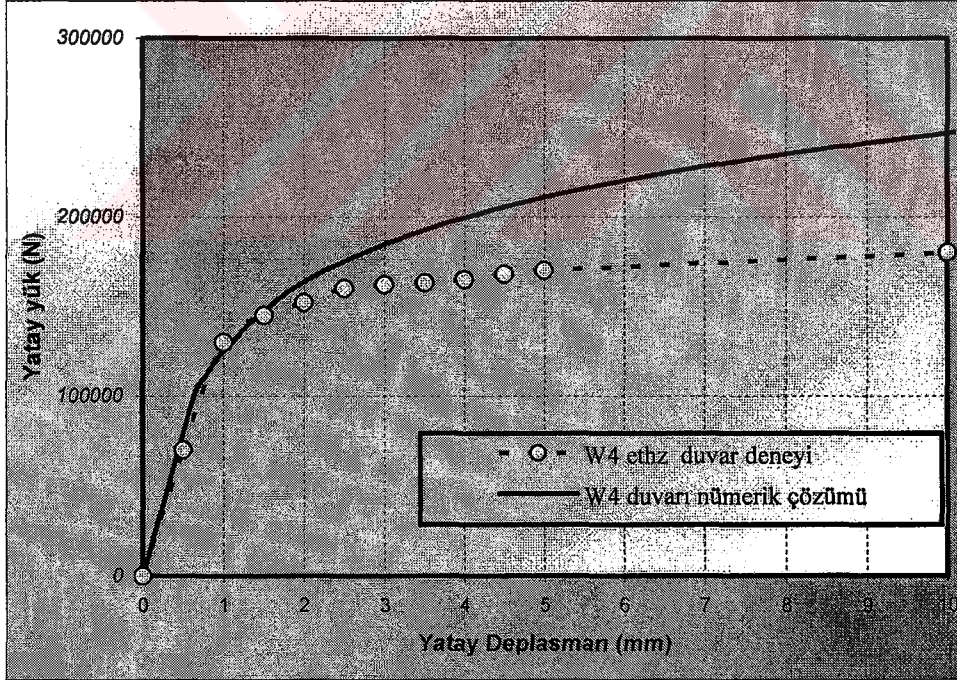
Şekil 7.22 Boyut parametresi (A) ile Hasar değişkeni (d) arasındaki ilişki, Bağntı (7.10)

7.4 W4(Eksantrik Yüklü) Duvarı İçin Elde Edilen Bağlıntıların Kullanılması

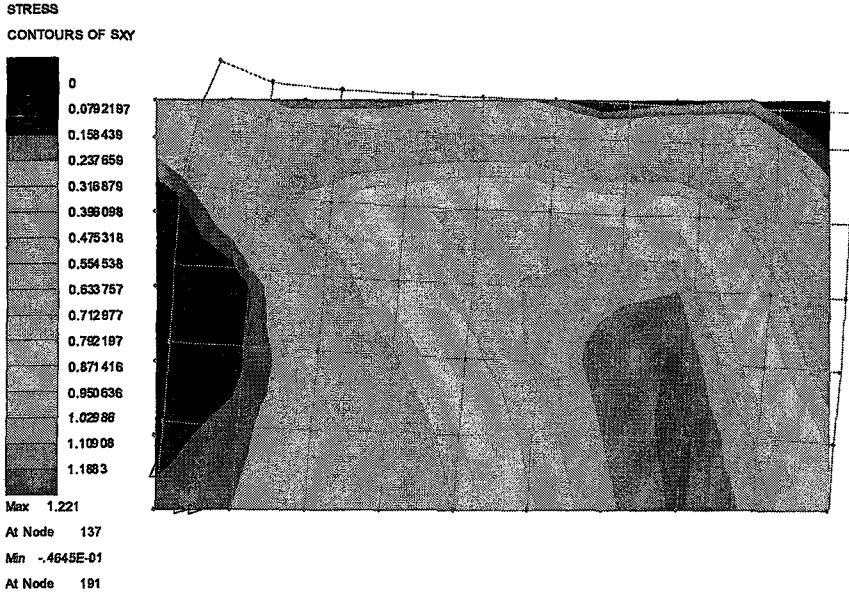


Şekil 7.23 ETHZ deneyi W4 duvarı için göçmeden önce ve sonra hasar oluşumu

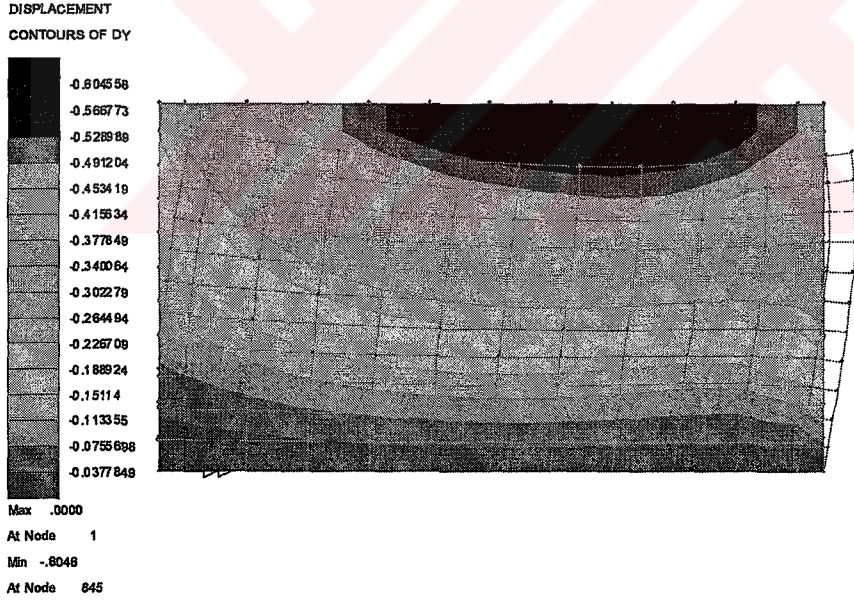
W4 deney örneğinde duvara eksantrik yük uygulanmıştır. Uygulanan 422kN değerindeki yük duvarın orta noktasından 840mm sağ yanından etkililmektedir. Elde edilen bağlantılar kurgulanan deney modeli üzerinde denenmiş, hasar parametreleri Lusas modelleme programına girilmiş ve elde edilen yük-deplasman eğrilerinde oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.



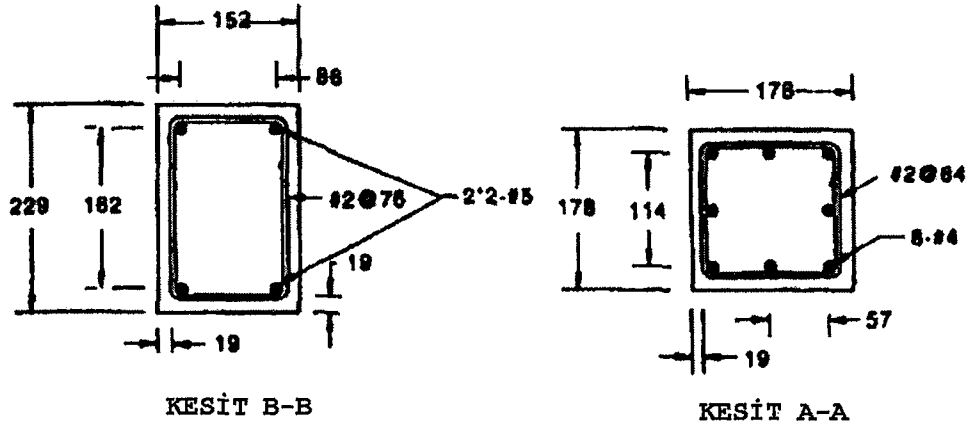
Şekil 7.24 ETHZ deneyi W4 duvarı için yük-şekil değiştirme grafiği



Şekil 7.25 Kesme gerilmelerinin dağılımı ve şekil değiştirmiş sonlu eleman ağı

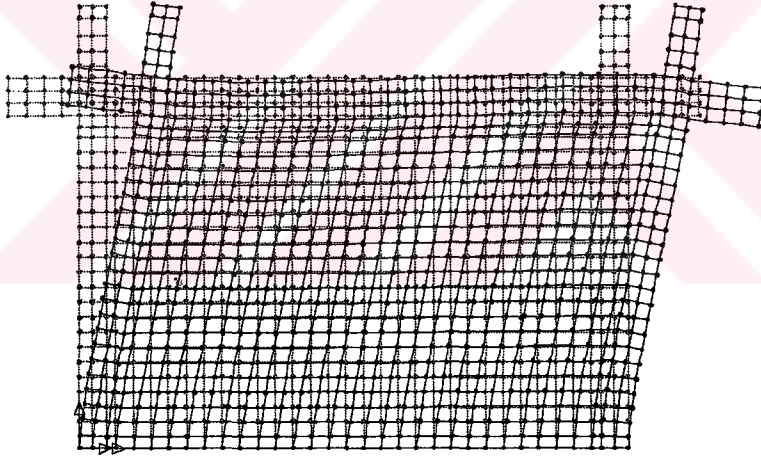


Şekil 7.26 Eksantrik yükleme için Y yönündeki şekil değiştirme

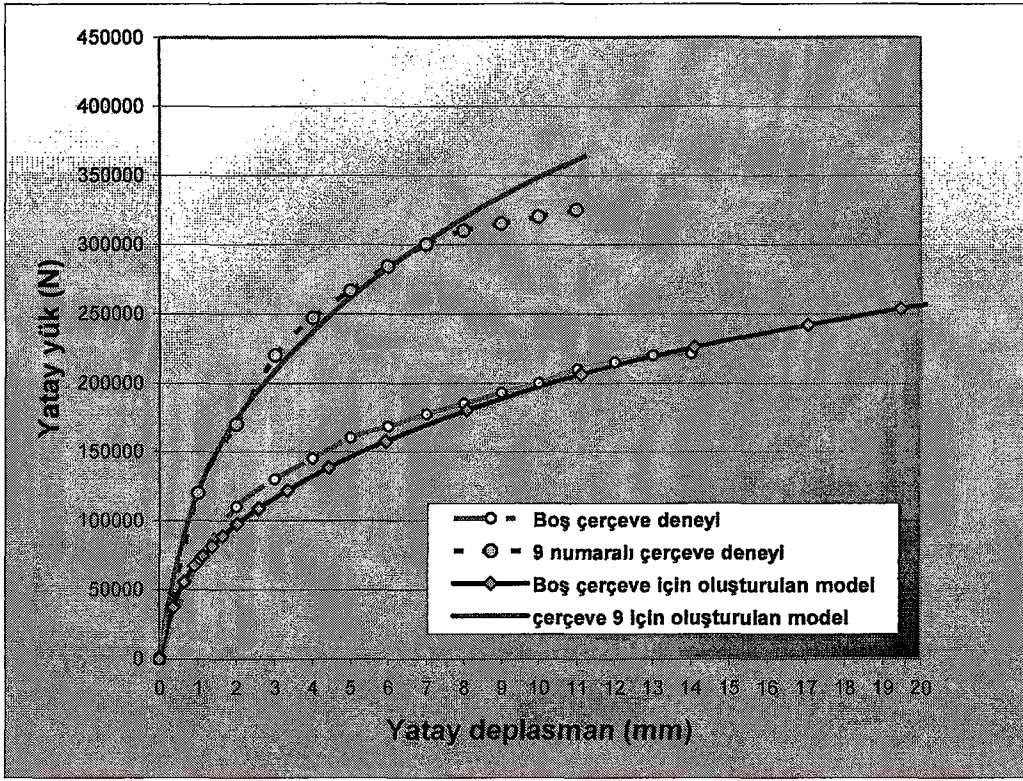


Şekil 7.28 Çerçevedeki betonarme kolon ve kirişin kesiti

Çerçevesler 6 katlı 3 açıklıklı çerçevenin moment taşıyan en alt katın orta açıklığındaki parçalarıdır. Her bir katta 13.5m'ye 4.5m boyutlarında kat alanı olduğu varsayılmaktadır. Deneylerde 294kN düşey yük uygulanmıştır. Yükleme sonucunda elde edilen sonuçlar ve nümerik analiz sonuçları kıyaslanmış ve birbirine yakın değerler elde edilmiştir.



Şekil 7.29 Dolgulu çerçeve için sonlu eleman ağının şekil değiştirmesi



Şekil 7.30 Boş Çerçeve ve 9 numaralı deney örnekleri ile kullanılan sonlu elaman modellerinin yük-deplasman eğrilerinin kıyaslanması

8. SONUÇLAR

Yığma yapılardaki malzeme özelliklerinin belirlenmesindeki güçlükler, yapıda kullanılan malzemelerin çeşitliliği, kesit içindeki malzemenin belirsizliği gibi zorluklar nedeniyle, yığma yapı analizinde belirsiz değişken sayısı çok fazladır. Pek çok sayıda kabul yapılarak hesaplar ve analizler yapılmaktadır. Bu sebepten dolayı yapılan kabullerin doğruluğu hesapları oldukça etkilemektedir.

Yığma yapıda karmaşık olan yapı geometrisinden dolayı yapının tamamı yerine basit parçalara ayırarak modellenmesi daha gerçekçi sonuçlar vereceğinden tercih edilmelidir. Bu tip yapılarda özellikle tarihi anıtlarda, yapılacak analizlerin karşılaştırılabileceği deneysel ölçüm değerleri bulunmamaktadır. Bu nedenle, yapının en büyük önemi arz eden ya da hasar gören kısımları ayrı olarak ele alınarak davranışı gerçekçi bir şekilde yansıtabilecek üç boyutlu sonlu eleman modelleri oluşturulmalıdır.

Bu çalışmada tarihi yapılar ile kıyaslandıklarında oldukça basit geometrilere sahip yığma duvarların modelleri yapılmıştır. İzotrop hasar modeli kullanılarak elde edilen yük-deplasman ilişkileri deneysel verilerle karşılaştırılarak ve parametrik çalışmalar yaparak hasar modeli malzeme parametreleri bağıntılar geliştirilmiştir. Buradaki asıl amaç sonlu eleman ağ boyutuna bağlı olarak tanımlanan malzeme parametreleri ile daha karmaşık geometrilere sahip yapıların modellenmesinin sağlanmasıdır. Gerçekte yığma duvarlar yön bağımlı davranış gösteren yapılardır ve çoğunlukla da ortotropik davranış göstermektedirler. İzotropik malzeme yaklaşımı ile beton bünyesindeki agregaları yığma bloklar ile aradaki çimento hamurunu ise harç ile benzeştirme yoluyla yığma yapı analizleri daha pratik bir yaklaşım getirmeye çalışılmıştır. Elde edilen bağıntılarda deney verilerine oldukça yakın değerler elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY), 1997, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Andreaus, U. , Ippoliti, L. (1995), "A Two Storey Masonry Wall Under Monolithic Loading: A Comparison Between Experimental And Numerical Results", Structural studies of Historical Buildings IV Bildiri Kitabı ,Cilt 1-Computational Mechanics Publication, s:319-326

Arun, G. (2003), Depreme dayanıklı yapı tasarımı, Y.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yayınlanmamış ders notları, İstanbul

Asteris P.G., Tzamtzis A.D. (2003), "On the Use of a Regular Yield Surface for the Analysis of Unreinforced Masonry Walls", Electronic Journal of Structural Engineering 3, Pg 23 – 42, 2003, Atina.

Bayülke, N.(1980), Yığma Yapılar, T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Matbaası, Ankara.

Bayülke, N.(1999), Depremde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Ankara

Berto L., Scotta R., Vitaliani V. R. (2001), "An Orthotropic Damage Model for Nonlinear Masonry Walls Analysis: Irreversible Strain and Friction Effects", Historical Constructions, Guimares

Çamlıbel, N.(1984), Geleneksel Yapılarda Stabilitenin İyileştirilmesi (Temellerin Takviyesi), Işık Baskı Atölyesi, İstanbul

Dymiotis C., Gutleiderer B. M., (2002), "Allowing for Uncertainties in The Modelling of Masonry Compressive Strength", Construction and Building Materials 16, 443-452

FEA Ltd, LUSAS Finite Element System, UK, 2001.

Huerta, S. (2001), "Mechanics of masonry vaults: The equilibrium approach", Historical Constructions, Guimares

Köksal, H.O., Karakoç C. (1999), "An isotropic damage model for concrete.", Mater. Struct. , 32, 611-617

Köksal, H.O., Karakoç C., Yıldırım H. (2003), "Compressive strength of concrete hollow-block Prisms", Studi e Ricerche, 24, 151-180.

Köksal, O. (2003), Beton/Betonarmede Bünyesel ve Nümerik Modelleme, Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yayınlanmamış Ders Notları, İstanbul.

Köksal E., Köksal, H.O., Yıldırım H., (2004), " Eksenel Basınç Altında Beton Briket Yığma Prizmaların Sonlu Eleman Analizi", İMO Teknik Dergi, 3249-3265, Yazı 218

Köksal, H.O., Doran B., Alacalı S.N., Özsoy A.E. (2004), " Nonlinear Modeling of Concentrically Loaded Reinforced Blockwork Masonry Columns", Can. J. Civ. Eng. 31: 1012-1023

Lourenço P. B.(1994), "Analysis Of Masonry Structures With Interface Elements–Theory And Applications", TNO Building and Construction Research Computational Mechanics, Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering, June 1994

Lourenço P. B.(1998), “Experimental and Numerical Issues in The Modelling of The Mechanical Behaviour of Masonry”, Sturctural Analysis of Historical Constructions II, Barcelona.

Lourenço P. B., Jan G. Rots, and Johan Blaauwendraad (1998), ‘Continuum Model for Masonry: Parameter Estimation and Validation’, Journal of Structural Engineering, Vol. 124, No. 6, June,

Lourenço P.B. (2004), “Current Experimental and Numerical Issues in Masonry Research”, SISMICA 2004 - 6° Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica

Lourenço P.B., Borst R., Rots J. G.(1997), “A Plane Stres Softening Plasticity Model for Orthotropic Materials”, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 40, 4033-4057.

Lourenço, P.B. (1996), “Computational Strategies for Masonry Structures”, Delft University Pres, Netherland, Doktora tezi

Lourenço, P.B. (2002), “Computations on Historic Masonry Structures”, University of Minho, Portugal, Prog. Struct. Engng Mater., 4:301–319

LUSAS, Finite Element System (2001), Examples Manual, FEA Ltd United Kingdom.

Mehrabi, A. B., Shing P.B., (1997), “Finite Element Modelling of Masonry-Infilled RC Frames”, Journal of Structural Engineering, Vol.123, No.5, May 1997,

Mehrabi, A. B., Shing P.B., Schuller M.P., Noland J.L., (1996), “Experimental Evaluation of Masonry-Infilled RC Frames”, Journal of Structural Engineering, Vol.122, No.3, March 1996,

Özcan K.(1998), Yapı, Bilim Yayıncılık, Ankara

Paulay T. and Priestley M.J.N.(1992), Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, Wiley, New York.

Shing P. B., Mehrabi A. B. (2002), “Behaviour and Analysis of Masonry-Infilled Frames”, Prog. Struct. Engng. Mater., 4:320–331

T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, 2000. www.die.gov.tr

Toker, S., Ünay, A. İ. (2004), “Mathematical Modeling And Finite Element Analysis of Masonry Arch Bridges”, G.U. Journal of Science, 17(2):129-139

TS 2510(1977) Kargir Duvarlar ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 500 (2000) Betonarme Yapıların Tasarım Ve Hesap Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 704 (1979), Duvarlar İçin Harman Tuğlaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 705 (1985), Duvarlar İçin Dolu ve Delikli Fabrika Tuğlaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türkçü Ç.(1997), Yapım, Mimarlar Odası İzmir Şubesi Yayınları, İzmir

Ünay, A. İ. (1997) ,”A Medhod for The Evolution of The Ultimate Safety of Historical Masonry Structures”, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

Ünay, A. İ. (2002), Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşbirliği

www.lusas.com

Yorulmaz, M., Dabija F.-E., Dulacska E., Vintzeleou E. (1984), Design and Construction of Stone and Brick-Masonry Buildings, United Nations Development Programme, Vienna



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	28.06.1977	
Doğum yeri	Kayseri	
Lise	1992-1995	Nuh Mehmet Baldöktü Anadolu Lisesi
Lisans	1996-2000	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2001-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurum

2002-Devam ediyor Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
Taşıyıcı Sistemler Bilim Dalı Araştırma Görevlisi

