

YIĞMA YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞI VE GÜVENLİĞİ

N. Bayülke

*İmşaat Yüksek Mühendisi ARTI Mim. Muh. Mus. Ltd. Sti. ANKARA
Email: nbayulke@artiproje.net*

ÖZET:

Bugün çok az sayıda yapılmakta olsa da Türkiye’de geçmişte yapılmış çok sayıda yığma yapı vardır. Yığma yapı düşey ve yatay deprem yükleri, tuğla ya da başka malzemeden yapılmış birimlerden, aralarına çeşitli nitelikte harç konularak örülmüş, duvarlarla taşıyan yapıdır. Kat döşemeleri betonarme, ahşap ya da volta döşeme gibi özel sistemlerden olabilir. Bazı yığma yapılar yüzlerce yıl önce yapıldıkları için anıtsal nitelik kazanmışlardır. Deprem davranış ve dayanımlarının bilinmesi özellikle kalıcılıklarının sürdürülebilmesi için gereklidir. Anıtsal nitelikte olsun ya da olmasın yığma duvarlı yapıların deprem davranış ve dayanımları kullanıcılarının can güvenliği ve gerekiyorsa güçlendirilmeleri için bilinmelidir. Yığma yapıların deprem davranışlarını 1970 yıllarından beri izleyen ve bu yapı modelleri üzerinde dinamik sarsma tablası deneyleri yapmış yazar deneyimlerini sunmaktadır. Bildiride yığma yapıların malzeme özellikleri, deprem hasar ve davranışları deneysel ve analitik çalışmalarla deprem davranışları ve depreme dayanıklı tasarım ilkeleri kısaca verilmektedir.

ANAHTAR KELİMELEER : Tuğla yığma yapılar, deprem davranışı, hasarı, dayanımı,

1.GİRİŞ

Yığma yapı yapay ya da doğal blokların bir bağlayıcı harç ile oluşturdukları duvarlarla yatay ve düşey yük taşıyan yapıdır. Yığma yapının dayanımı duvarını oluşturan bloklarla bağlayıcıların dayanımı ile başlayıp duvar dayanımı ile bağlıdır. Duvarlarda kullanılan bloklar Türkiye’de genel olarak pişmiş topraktan yapılmış tuğladır. Beton blok ya da boşluklu briket yapı az da olsa vardır ancak bunlar tek kattan yüksek değildir. Yığma yapının bodrum ve temel duvarlarında taş kullanılmaktadır. Tuğla her ne kadar pişmiş de olsa su ve dondan etkilenmektedir. Sudan sıvanarak korunmalıdır. Topraktan su alabileceği için bodrum kat dış duvarları taş olarak yapılır.

Yığma yapının diğer önemli elemanı kat döşemeleridir. Uzak geçmişte kat döşemeleri ahşap olarak yapılırdı. Bugün ise kat döşemeleri betonarme plak olarak yapılmaktadır.

Betonarme plak kat döşemeli tuğla yığma duvarlı evler 1960 -1970 ‘li yıllardan sonra giderek yapılmamaya başlandı. Artık imar durumuna göre hemen her yerde beş katlı yapıya izin verildi. Öte yandan Türkiye’nin hemen her yeri deprem tehlike bölgesi olduğu için yığma yapı kat sınırlaması vardı. Bu durumda imarın izin verdiği yükseklikte ve katta yapı için betonarme tercih edilmeğe başlandı. Bu arada 1960’lı yıllarda yerel olanaklar ve üstün işçilik gerektirmediği için okul, sağlık ocağı ve kamu personeli lojmanı gibi yapılar tuğla yığma harman tuğlası yığma olarak yapıldı. Harman tuğlası basit ocaklarda üretildiği için yerel ve az vasıflı işçiye de iş sağlıyordu. 1970 ‘li yıllardan sonra belkide çimentonun daha bol üretiminin de katkısı ile betonarme yapı yapmak kolaylaştı. Harman tuğlasına göre daha hafif delikli fabrika tuğlaları çok uzaklara kadar ekonomik olarak taşınmaya başlayınca betonarme çerçevesi ve dolgu tuğla duvarlı yapılar tuğla yığma duvarlı yapının yerine geçti. Ancak çok sayıda tuğla yığma yapı yapılmış durumdadır

Bir diğer önemli tuğla ya da başka malzemeden yapılmış yığma yapı ise tarihi yapılar. XIX ve XXnci yüzyılda yapılmış ve bugün anıtsal ve tarihi değeri olan pekçok yığma yapı var. Bu yapıların en önemli sıkıntısı deprem davranış ve dayanımlarının bilinmemesi ve belirlenmesi içinde geçerli ve kabul edilmiş yöntemlerin olmaması

Yığma yapılar bugün yapı tasarımında çok istenen “sünek” davranıştan yoksundur. Depreme dayanıklı olmaları için ”sünek”lik kazandırmanın güçlüğü karşısında zor bir durum içindedirler. Bir yandan tarihsel yapılarıdır. Depremden korunmaları gerekir diğer yandan bunun gereğini yerine getirmek ya olanaksızdır ya da süneklik sağlamak yapının özgün niteliğini bozmaktadır. Bazı ülkelerde bu yapıların çok önemli ve tarihsel değeri olanları “taban yalıtımı” yöntemi ile deprem titreşimlerinden korunmaktadır. Ancak bu yöntemde bedeli oldukça yüksektir.

Yığma yapılar “rijit” yapılarıdır. Doğal Titreşim periyotları (0.05 -0.07) x kat sayısı gibidir. 4 Katlı bir tuğla yığma yapının periyodu 0.25 sn kadardır. Sönüm oranları da düşüktür. Kritik sönüm oranı % 1-2 kadardır. Ancak çatladıktan sonra periyotları uzar sönüm oranları yükselir.

Kısa periyotlu olmaları nedeni ile uzak depremler yığma yapıları pek etkilemez. Kısa periyotları nedeni ile depremin merkezine yakın bölgelerde en büyük yer ivmesi, uç ivmesi gibi bir ivme ile zorlanacaklardır.

Bu bakış içinde yığma yapıları daha iyi tanımak bildirinin amacıdır.

2.DUVAR MALZEMELERİ

Duvar malzemeleri tuğla, beton briket doğal taş ve bağlayıcı harçtır. Bu malzemelerin dayanım özellikleri kendi başlarına önemlidir. Ancak birlikte kullanılıp duvar gibi taşıyıcı elemanlar oluşturulduğu için malzemelerin oluşturdukları duvar elemanının özellikleri çok daha önemlidir

2.1.Taş

Tuğla yığma yapıların temel ve bodrum dış ve bazende iç duvarlarında kullanılmaktadır. Taş duvarlar yaklaşık 50-60 cm kalınlıktadır. Örgü biçimleri çok iyi olmayabilir. Ancak kalınlıkları nedeni ile zorlandıkları düşey gerilmeler azdır.

Betona kat döşemeli ve tuğla yığma duvarlı bir yapının duvarının yükü kat başına 3.5 ton/metre olabilir. Üç katlı bir yapının 50 cm kalınlığındaki bodrum duvarına yaklaşık 10.5 ton / metre yük etkimektedir. 50 cm genişlikte 100 cm uzunlukta taş bodrum kat duvarında düşey gerilme $10500 \text{ kgf} / (50 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}) = 2 \text{ kg/cm}^2$ gibi oldukça düşük bir miktardadır. Çok iyiyapılmamış da olsa taş bodrum duvarı bu yükü sorunsuz taşıyabilir.

2.2 Tuğla

Bir zamanlar tuğla yerel ocaklarda dolu harman tuğlası olarak yapılmaktaydı. Harman tuğlası daha düşük ve kontrolsüz bir ısıda üretildiği için dayanımı düşük ve su emme miktarı yüksektir. Ancak harç cebi ve deliksiz olma gibi özelliği ile oldukça yüksek kesme dayanımı vardır.

Harman tuğlasının yerini alan fabrika tuğlalarının taşınması ve yerine konulma işçiliği daha az olduğu için bu tuğlalar delikli ve blok olarak üretilmektedir. Harman tuğlası yaklaşık 5.5 cm x 11 cm x 23 cm boyunda iken blok tuğla 8.5 cm x 19 cm x 38- 40 cm gibi boyutlarda üretilmektedir.

Taşıyıcı blok tuğlanın en çok % 35 üşey delikli olması gerekmektedir. Ancak bu boyutta ve az delik oranlı tuğla pişirilmeden önce kontrollü bir biçimde ve özel fırınlarda kurutulmalıdır. Yoksa et kalınlığının daha çok olması nedeni ile pişme sırasında çatlaklar ve kırılmalar olmaktadır. Ayrıca % 35 delikli blok tuğla daha ağır olduğu için taşınması ve duvara konulması, duvar örülmesi daha zor ve masraflıdır. Bu nedenle daha çok delikli tuğlalar

üretimiştir. Bunlar yığma binaların duvarlarında taşıyıcı olarak kullanılmaması gerekirken % 60 kadar deliği boşluğu olan tuğlalar kullanılmıştır.

1995 Dinar depreminde alt iki katı harman tuğlası üst iki katı çok delikli olduğu için “televizyon” tuğla denilen bloklarla yapılmış çok sayıda yığma yapının üst katları yıkılmıştır. Şekil-1



Şekil-1 Dinar’da 1995 Depreminde üst katları televizyon tuğladan yapılmış ve yıkılmış yapı

Çok delikli blok tuğlada harç konulan yüzey çok azdır ve duvar çatladıktan sonra oluşacak sürtünme ile deprem enerjisi tüketimi için yeterli temas alanı da yoktur.

Bu tuğlaların nominal basınç dayanımı çoğu zaman 50 kgf/cm² kadardır. Duvar dayanımı tuğla dayanımının % 50’si olduğu varsayılırsa duvar dayanımı 25 kgf/cm² olmaktadır. Duvarlarda 10 ton/m gibi yük oluştuğ zaman düşey gerilme $10\ 000\ \text{kgf} / (20\ \text{cm} \times 100\ \text{cm}) = 5\ \text{kgf} / \text{cm}^2$ gibi duvar dayanımına göre oldukça düşük bir miktardadır.

2.3Harçlar

Yığma yapı duvarlarında çimentolu kireç harcı kullanımı yaygındır. Kireç, harcın sertleşmesini ve su kaybını yavaşlatmakta çimento ise dayanımı artırmaktadır. Duvarların örülmesi yavaş bir işlem olduğ için harcında yavaş serleşmesi uyumludur. Genellikle 1:3:6-7 oranlarında çimento, kireç ve kum karışımı kullanılmakta ve bu harcın basınç dayanımı da 25-30 kgf/cm² kadar olmaktadır.

Harcın en büyük sorunu iyi pişmemiş tuğlanın harcın suyunu emerek yeterince sertleşmesi ve dayanım kazanmasının önlenmesidir. İyi pişmemiş tuğlalar nedeni ile yeterli harç dayanımı sağlanmamaktadır.

3. DUVAR DAYANIMI

Yığma yapıların duvar dayanımı duvar malzemesi olan pişmiş toprak ya beton blokların basınç dayanımı ile bu blokları birbirine bağlayan harçların dayanımlarına bağlıdır. Harçların kalınlığı ya da derz kalınlığı da önemlidir. Ayrıca düşey delikli taşıyıcı tuğlalardaki boşluk oranının artması ile kesme ve basınç dayanımları azalmaktadır. üzerinde etkilidir.

3.1. Basınç Dayanımı

Genellikle duvar basınç dayanımı düşük basınç dayanımlı bloklarda blok basınç dayanımının % 50'si, yüksek dayanımlı bloklarda % 25 'i kadardır (Bayülke-1992). Harç dayanımının duvar bloklarının dayanımından yüksek olması duvar basınç dayanımını çok az artırmaktadır. Buna karşılık aynı harç dayanımında daha yüksek dayanımlı blok kullanılması duvar basınç dayanımını daha yüksek bir oranda artırmaktadır. En iyisi yüksek dayanımlı tuğla ile yüksek dayanımlı harç kullanılmasıdır. Derz kalınlığı azaldıkça da duvar basınç dayanımı artmaktadır.

Standartlar göre taşıyıcı tuğlalarda düşey delik oranı % 35 ve daha az olmalıdır. Ancak piyasada kullanılan tuğlalardan delik oranları en iyi koşullarda % 45 dir. Delik oranı % 60 kadar olan tuğlalarda kullanılmaktadır. Delik oranının artması ile duvarda düşey yük taşıyan alan küçüldüğü için duvar dayanımı azalmaktadır. Tuğladaki delikler arasındaki et kalınlığının azalması hatta delik biçimleri ve yerleri de tuğla blok ve dolayısı ile duvar dayanımını azaltmaktadır.

3.2. Kesme Dayanımı

Yığma yapılarında deprem yükleri duvarlarda kesme gerilmeleri oluşturur. Tuğlayığma yapının deprem dayanımı büyük ölçüde duvarlarının kesme kuvveti taşıma gücüne bağlıdır. Kesme dayanımı için $\tau = \text{Duvar çatlama dayanımı} + \mu \times \text{Duvar düşey gerilmesi}$ denklemi geçerli kabul edilebilir. Bu yaklaşıma göre duvar kayma dayanımı tuğla ile harç arasındaki yapışma (aderans) ve harç-tuğla ya da tuğla-tuğla arasındaki sürtünmeye bağlıdır.

Duvar çatlama dayanımı ise değişik duvarlar için Tablo-1'de verilmektedir Bu değerler 2007 Deprem Yönetmeliğinden alınmıştır. Duvarların kesme dayanımı için deneylerle belirlenmiş daha yüksek değerler varsa kullanılabilir.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Dairesi "Sarsma Tablası"nda 1986-2005 yılları arasında yapılan bir dizi deneylerde değişik nitelikli duvarlardan elde edilmiş en büyük nominal kesme gerilmeleri Tablo-2'de verilmektedir. Kesme Dayanımı duvarda kullanılan harcın çekme dayanımına bölünmesi ile harçın dayanımının duvar kesme dayanımına etkisi araştırılmıştır. Genel olarak yüksek dayanımlı harcın kesme dayanımını artırdığı görülmektedir. Yine düşey delikli tuğlada boşluk oranının azalması da duvar kesme dayanımını artırmaktadır.

Tablo-1 Duvarlarda kayma Dayanımı (2007 Deprem Yönetmeliği)

Duvar cinsi	Kayma ya da çatlama dayanımı τ
Düşey delikli Blok tuğla Delik oranı < % 35 Çimento kireç harçlı	2.5 kgf/cm ²
Düşey delikli Blok tuğla Delik oranı > % 35 Çimento kireç harçlı	1.25 kgf/cm ²
Dolu blok tuğla Harman tuğlası çimento kireç harçlı	1.5 kgf/cm ²
Taş duvar Çimentolu kireç harçlı	1.0 kgf/cm ²
Gaz beton Özel harçlı	1.5 kgf/cm ²
Dolu beton briket Çimentolu kireç harçlı	2.0 kgf/cm ²

Tablo-2 Deneysel Kesme Gerilmeleri

Duvar Cinsi	Nominal duvar kesme dayanımı kg/cm ²	Kesme dayanımı / harç çekme dayanımı
Düşey delikli tuğla boşluk oranı % 50	1.11	0.182
Düşey delikli tuğla boşluk oranı % 60	0.74	0.067
Düşey delikli tuğla boşluk oranı % 50	1.36	0.314
Düşey delikli tuğla boşluk oranı % 35	2.82	0.094
AUBE boşluklu beton briket harçla dolu	2.41	0.595
AUBE boşluklu beton briket boş	1.21	-
Gazbeton blok tek katlı	2.13	0.112
Gazbetonblok iki katlı	1.24	0.065
Gazbeton harçsız geçmeli	0.68	-
Bims blok	1.78	0.198

1970’li yıllara kadar yapılan yığma yapıların duvarlarında dolu “harman” tuğlası kullanılmıştır. Bu tür duvarlarda tuğlanın bütün üst ve alt yüzeyi harçla kaplıdır. Ayrıca tuğlanın üzerinde harçtan bir “kesme” kaması oluşturan bir harç cebi” vardır. Bu nitelikler, basınç dayanımı düşüğe olsa harman tuğlasından yapılmış duvarlarda önemli boyutta bir kesme dayanımı sağlayabilir. Çok delikli fabrika tuğlalarında büyük boşluklar nedeni ile harç ile kaplı alan küçülmüştür. Bu tuğla ile harç arasındaki aderansı azalttığı gibi çatladıktan sonra harç-tuğla ve tuğla-tuğla ara yüzeyinde sürtünme ile kesme kuvveti taşınmasını da azaltmaktadır. Tuğla ya da beton briketlerdeki boşlukların düşük dayanımlı bir harç ile doldurulmuş olmasının kesme dayanımını artırdığı Deprem Araştırma Dairesi Sarsma Tablasında yapılan deneylerde gözlenmiştir (Bayülke-1992)

3.3.Elastisite Modülü

Duvar elastisite modülü deprem yönetmeliğinde (2007) duvar basınç dayanımının x 200 katı olarak verilmektedir.

3.4.FEMA 273 İle Karşılaştırma

Deprem yönetmeliğinde çeşitli duvarların dayanımları için verilen değerlerin oldukça düşük olduğu ileri sürülmüştür (Erberik ve Diğerleri-2008 ve İspir ve Diğerleri-2008). Bu değerler deney yapılmadan kullanılacak ve en düşük nitelikli duvarlar için en küçük değerlerdir. FEMA-273 Bölüm-7 'de de deney yapılmadığı zaman duvarlar için geçerli en düşük mekanik özellikler verilmektedir. 2007 Deprem Yönetmeliğindeki en düşük değerler de, deneyle ölçüm yapılmadığı zaman kullanılacak en küçük değerlerdir ve FEMA-273 değerleri ile aralarında önemli bir farkın olmadığı Tablo-3'den görülecektir. 2007 yönetmeliğindeki değerler değişik duvar blok ve haç tiplerine göre sınıflandırılmıştır ve Tablo-3'de bunların aralıkları verilmektedir.

Tablo-3 2007 Yönetmeliği ve FEMA-273'deki en düşük duvar mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

Mekanik Özellik	2007 “Deprem” yönetmeliği Emniyet gerilmesi x EK	FEMA 273		
		İyi	Orta	Kötü
Basınç Dayanımı f_{me}	3-10 x 3-4 = 12 -30 kg/cm ²	63 kg/cm ²	42 kg/cm ²	21 kg/cm ²
Elastisite Modülü E_{me}	200 x f_{me}	550 x f_{me}	550 x f_{me}	550 x f_{me}
Kayma Modülü G_{me}	-	0.4 x E_{me}		
Eğilme çekme dayanımı	-	1.4 kg/cm ¹	0.7 kg/cm ²	0.0
Kesme dayanımı	1-2.5 kg/cm ² çatlama dayanımı	1.9 kg/cm ²	1.4 kg/cm ²	0.9 kg/cm ²

Yapılarımızın genel nitelik düzeyi ile Amerika Birleşik Devletleri'ndeki düzeylerle karşılaştırılınca genel olarak Türkiye'de daha yüksek güvenlik katsayıları ve daha düşük emniyet gerilmeleri kullanılması mühendislik sağduyusuna uygundur.

3.5.Tarihi Yapılardaki Duvar Dayanımları

Tarihi yapıların güçlendirilmesi öncesinde dayanımlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu yapıların duvarlarından örnek almak ve kesme ve basınç dayanım deneyleri yapmak oldukça güçtür. Çeşitli tarihi yapı duvarlarından ölçülmüş bazı mekanik dayanım değerleri aşağıda sıralanmaktadır:

1- İstanbul Çemberlitaş İPKU binasının yanındaki işhanının temellerini oturduğu tarihi bir yapının bizans ya da daha eski, dönemden tuğla tonozları duvarlarından alınan karot örneklerinin basınç dayanımı 90 kg/cm² olarak bulunmuştur. Birim ağırlık 1.97 ton/cm²

2- 1890 yıllarında yapılmış İstanbul Alman Lisesi tuğla duvar basınç dayanımı 38.2 kgf/cm²., kopmadan çekme dayanımı 3.3 ± 1.0 kgf/cm², silindir yarma deneyinden kesme dayanımı 6.1 ± 1.5 kgf/cm² . Elastik limit çekme ya da kayma dayanımı 0.9 kgf/cm² olarak bulunmuştur (Faruk Karadoğan Eylül 2003)

3-Selanik “Rotondo” yapısında Roma İmparatorluğu dönemi tuğla duvar basınç dayanımı 19 kg/cm², Hristiyan dönemi duvar basınç dayanımı 45 kgf/cm² bulunmuştur (Penelis ve Diğerleri-1979)

4-Istanbul Halıcıoğlu Kışlası (1891-1892 yapımı) tuğla duvar basınç dayanımı 11.2 kg/cm²

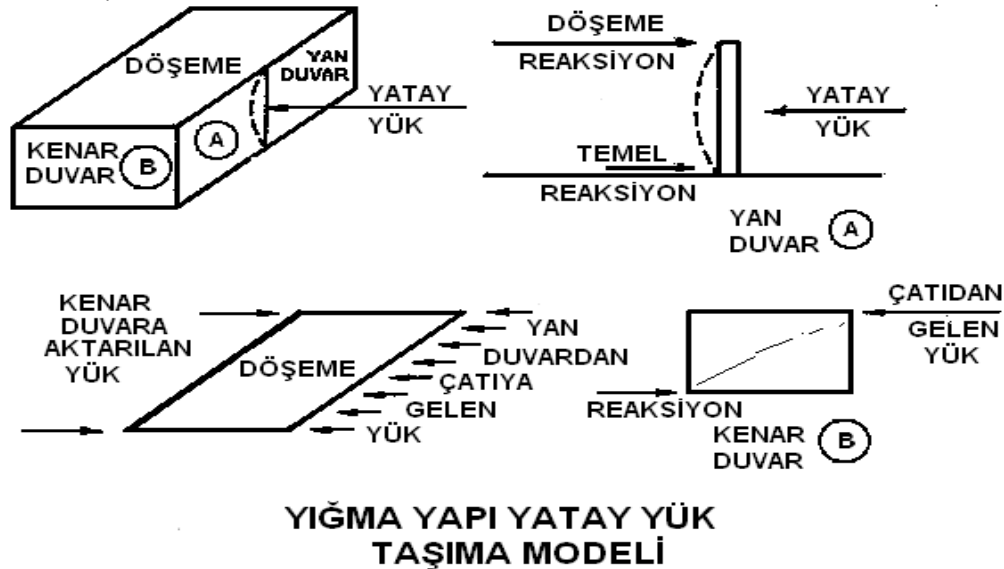
5-En zayıf duvar malzemesi olan Kerpiç blokların basınç dayanımı ise Fikret Gürdil (1984) deneylerinde 28 günlük basınç dayanımı 17 kgf/cm², Nejat Bayülke deneylerinde ise (1990) 45 günlük dayanımı 30 kgf/cm² bulunmuştur.

Tarihi yapılar 80 - 150 cm gibi çok kalın duvarlıdır. Kalın duvarlar genellikle dış ve iç yüzlerine konulmuş 30-50 cm boyutundaki taşların arasının harçlı moloz taşlarla gelişigüzel doldurulması ile yapılmış olabilir. Bu duvarların kesme ve basınç dayanımlarını belirlemek için küçük örnekler alınması olanaksızdır. Ayrıca bu yapılaş biçimi nedeni ile duvar belli bir dokusal yapısı olmayan “amorf” özelliktedir. Duvarın bir noktasından alınacak örnek, duvarın bir başka noktasını temsil etmeyecektir. Benzer yapısal nitelikte olan büyük ölçekli bir kaç metre x bir kaç metre boyutunda bir duvar üzerinde yükleme deneyi ile dayanım belirlemek gerçeğe daha yakın olacaktır.

Kerpiç duvarlarda bile 20 kgf/cm² gibi bir dayanım elde edilmekte olduğuna göre bu tip tarihi yapıların duvarları için 30-40 kgf/cm² gibi bir basınç dayanımı varsayılabilir. FEMA-273 de yukarıda Tablo-2’de görüleceği gibi en olumsuz koşullardaki duvarlarda 20 kg/cm² gibi bir basınç dayanımı varsaymaktadır.

4. DEPREM DAVRANIŞI

Yığma yapıda “rijit” bir kat döşemesi varsa yatay yükler düşey duvar parçalarına rijitlikleri ile orantılı olarak dağıtılır. Burada “rijit” döşeme yatay yük altında kendi düzleminde şekil değiştirmeyen ve duvarları üst başlarından birbirine sıkıca bağlamış bir döşemedir. Duvar rijitliği duvar parçası boyu / duvar yüksekliğine bağlıdır. Bütün duvarların aynı kalınlıkta olması durumunda. Duvarlara yatay yük Şekil-2’de gösterilen biçimde dağılır.



Şekil-2 Rijit kat döşemeli ya da Çatılı Yığma Yapı Yatay yük dağılım modeli

Yığma yapılarda depremde gelen yatay yükler altında iki tip davranış gözlenmektedir. Kat düzeyinde betonarme döşemesi olan yapılarda bu “rijit” döşeme deprem yüklerini duvarlara rijitlikleri ile orantılı olarak dağıtmakta ve duvarlarda “kesme” kırılmaları olmaktadır.

Bu iki farklı hasar biçimi Şekil-3 ve Şekil-4’de 1970 Gediz depreminde aynı köyde gözlenmiş birbirine çok yakın iki yapının hasar görüntüsünden anlaşılabilir. Rijit kat döşemeli ve çok miktarda duvar boşluğu olan yapıda boşluklar arasındaki dolu duvarlarda kesme kırılması olmuştur.



Şekil-3 Rijit Kat döşemeli yığma yapıda deprem hasarı (1970 Gediz Depremi)

Rijit kat döşemesi olmayan ahşap döşeme ya da çatı makası ile bağlanmış duvarlı yığma yapılarda duvarlar zemine ankastre kirişler gibi davranıp düzlemlerine dik yönde salınım yapmakta ve yapı köşelerinde ayrışmalar biçiminde hasar başlangıcı görülmektedir. Özellikle geniş hacimli ve yüksek duvarlı ya da kat seviyeli yapılarda hasar köşelerde ayrışma biçiminde olmaktadır.Şekil-



Şekil-4 Esnek kat döşemeli yığma yapıda deprem hasarı (1970 Gediz Depremi)

5. DÜZCE DSİ HİZMET BİNASI

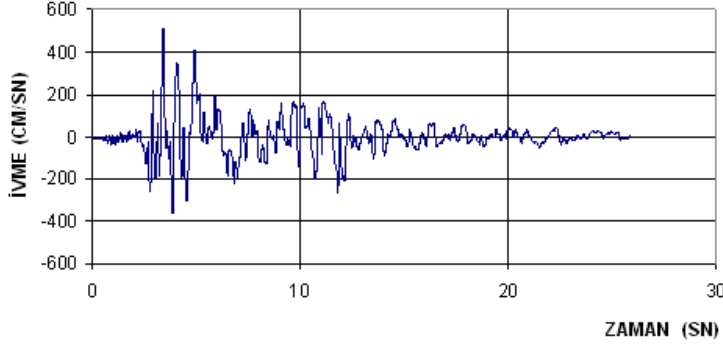
17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinde Düzce Devlet Su İşleri Hizmet binasında (Şekil-5) hiçbir hasar olmamıştır. Yapıda deprem yönetmeliğine aykırı pek çok ayrıntı olmasına karşılık hasar olmamasının nedeni sayısal olarak incelenmiştir.vardır



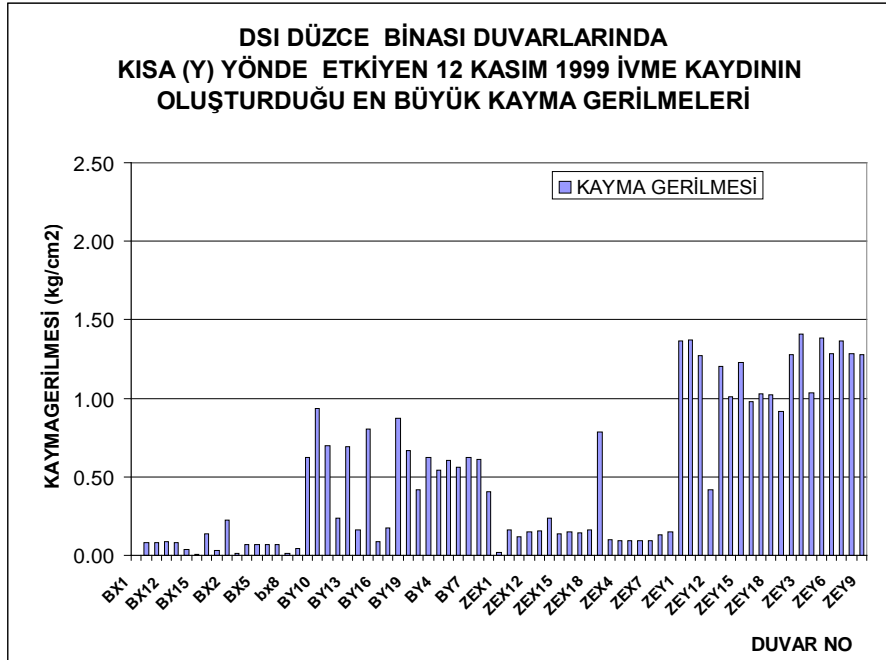
Şekil-5 Düzce Devlet Su İşleri Hizmet Binası

Harman tuğlasından yığma duvarlı yapının cephesindeki boşluk oranı Deprem Yönetmeliğinin istediği % 40'ın çok üzerindedir. Pencere ve kapı boşlukları arasında ve yapı köşelerinde olması gereken dolu duvarlar da hemen hiç yoktur. Yapı 12 Kasım 1999 depreminde oynayan Kuzey Anadolu Fayından 8-10 km, depremin ivme kaydının alındığı yerden de 2-3 km kadar uzaktadır. Yapının hasarsızlığını açıklamak için yapıya 12 Kasım 1999 Depreminin Düzce ivme kaydının Doğu-Batı Bileşeni (Şekil-6) uygulanmış ve duvarlarında oluşan kesme gerilmeleri hesaplanmıştır: Şekil-7 ve Şekil-8.

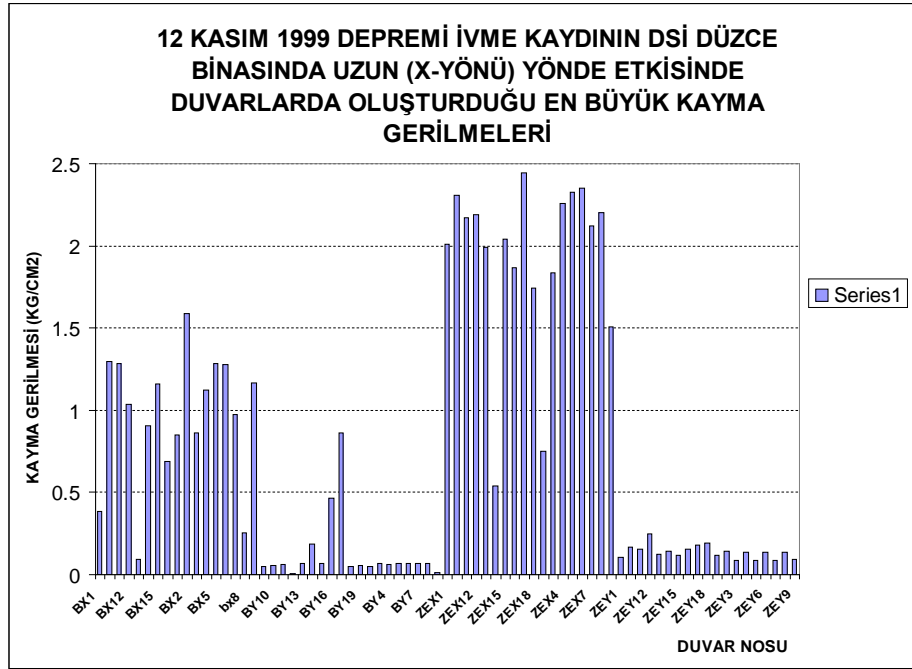
12 KASIM 1999 DEPREMİ DÜZCE İVME KAYDI



Şekil-6 12 Kasım 1999 Düzce İvme Kaydı Doğu-Batı Bileşeni



Şekil-7 Kısa yönde duvarlarda 12 Kasım 1999 İvmesi etkisinde oluşan kesme gerilmeleri



Şekil-8 Uzun yöndeki duvarlarda 12 Kasım 1999 İvmesi etkisinde oluşan kesme gerilmeleri

Yapının duvarları harman tuğlasındandır. Harman tuğla duvarın çatlama dayanımı en az 1.0 kgf/cm² olabilir. İki katlı bir yığma yapının duvar düşey gerilmesi ise 4-5 kgf/cm² kadardır. Bu koşulda duvar kesme dayanımı = 1.0 kgf/cm² + 0.5 x 4 kgf/cm² = 3 kgf/cm² olarak kabul edilebilir. Deprem ivme kaydının etkisinde duvarlarda oluşan kesme gerilmesi en çok ise 2.0 - 2.5 kg/cm² kadardır. Sonuç olarak yapının hasarsızlığının nedeni duvarlarda oluşan kesme gerilmelerinin duvar kesme dayanımının altında kalmış olması olarak açıklanabilir. Bu yöntem yığma yapıların deprem güvenliğini belirleme ve hasarını açıklama da kullanılabilir (Bayülke-2010).

Bu yapının durumu yığma yapıların deprem dayanımını belirlemede “deprem” yönetmeliğinde verilen ve depreme dayanımı sağlayacağı varsayılan çeşitli koşul ve kısıtlamaların yapıların depremdeki “iyi” davranışını açıklamakta başarılı olmayabileceği göstermektedir. Deprem değerlendirmesinin olabildiğince ayrıntılı ve sayısal yöntemlerle yapılması daha doğru olacaktır.

5. DEPREME DAYANIKLI TASARIM

Depreme dayanıklı tasarım genellikle niteliksel bazı kurallara bağlanmıştır: Kat sınırlaması, en az duvar kalınlığı, dış cephe boşluk oranı, boşluklar arasında ve yapı köşesinde en az dolu duvar miktarı gibi. Bu kurallar genellikle geçmiş depremlerde depreme karşı iyi davranmış yığma yapılardan çıkarıldığı gibi bazıları da mühendislik “sağduyusu” yaklaşımlarından çıkarılmış gibidir. Genel olarak yığma yapı yapılmasını engellemeye çalışan bir yaklaşımı da yansıtırlar. Bu kuralların bazıları hatırlatılmaktadır.

Yığma yapıların en çok 4 katlı olmasına karşılık hemen bütün yerleşimlerde imarın en az 5 katlı yapıya izin vermesi IV ncü derece deprem bölgesinde bile yığma yapı yapılmasını caydırıcı olmuştur. Bir başka caydırıcı etmen tuğlaların basınç dayanımlarının düşük olması ve % 35’den az delik oranlı tuğlaların daha ağır olmaları nedeni ile hem inşaat alanına taşınması hemde duvara konulması daha çok emek ve bedel gerektirmesidir. Genel olarak tuğla yığmanın istediği nitelikli duvar örgü içiliğinin bedeli de yükselmiştir. Delik oranı % 35’den az olan

tuğlaların pişirilmeden önce çok iyi, belkide enerji harcanarak kurutulma gereksinimi de, bedellerinin yükselmesine ve üretimden kaçınılmasına neden olmaktadır.

Bildirinin başlangıcında da söylendiği gibi artık yığma yapı yukarıdaki paragrafta sayılan nedenlerle yapılmamaktadır. Burada verilecek tasarım kriterleri artık sanki daha önceleri yapılmış yığma yapının deprem güvenliğini belirleme kıstası olmuştur.

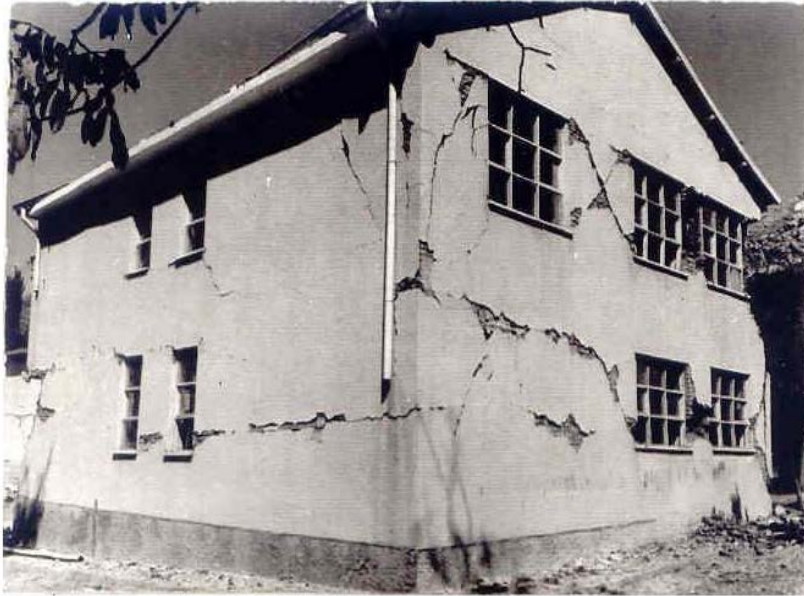
Ancak yapıların yönetmelikteki tasarım koşullarına tam uygunluğu deprem güvenliğinin kesin garantisi olmadığı gibi yukarıda DSİ Düzce Hizmet Binası'nda gözlemlendiği gibi yönetmelik koşullarına aykırı özelliklere karşın depremden etkilenmeyen yapılar da olmaktadır.

5.1. Kat Sayısı

Yığma yapıların kat adetleri ve duvar kalınlıkları sınırlandırılmıştır. Tablo-1'indeki 1. derece deprem böl

5.2. Dış Cephe Boşluk Oranı

Dış cephesinde çok miktarda boşluk olunca depremde etkiyen kesme kuvvetlerinin taşınması için yeterli alan olmayacağı için dış cephe boşluk oranları toplam cephenini % 40'ı olarak sınırlandırılmıştır. Bu kurala uymayan yığma yapıların deprem hasarının daha çok olduğu pek çok depremde eskidenberi görülmektedir (Şekil-9).



Şekil-9 Boşluk oranı yüksek ve az olan duvarlardaki hasar düzeyleri (1975 Lice Depremi)

5.3. Boşluklar arası ve köşe dolu duvar miktarı

Deprem dayanımı sağlayan bir başka kural pencere ve kapı boşlukları arasında yeterince geniş dolu duvarların olmasıdır. Bu duvarlar hem düşey yüklerin hemde yatay yüklerin taşınması için gereken alanları sağladıkları gibi geniş olmaları düşey ve kayma gerilmelerinin izin verilen miktarlarda olmasını da sağlayacağı varsayımının bir göstergesidir. Genellikle geçmiş depremlerde gözlenmiş "iyi" davranışlardan çıkarılmıştır.

5.4. Duvar oranı

Yapının belli bir yöndeki duvarlarının toplam boyunun yapının plan alanına bölünmesi ile hesaplanan bir orandır. Bu oranın 0.25’den daha büyük olması istenir geçmişbazı depremlerde gözlenmiş yığma yapı davranışı bu kuralı desteklemektedir (Bayülke-1977).

5.5. Destek duvarları

Bu duvar “kararlılığı” olarak da tanımlanır. Bir yönde uzanan duvara dik yönde bağlanmış duvarlar arasındaki uzunluktur. Bu aralık İnci derece deprem bölgesinde 5.50 metre, diğer bölgelerde 7.0 metre olarak tanımlanmıştır. Aralarına 4.00 metrede bir betonarme kolon konulması ile duvar kararlılığı 16.00 metreye kadar çıkarılabilir. Bu kuralın gerekçesi yukarıda Şekil-’de tanımlanan “Kutu” davranışını sağlamaktır. Deprem yükleri duvarlara rijitlikleri oranında dağıtılacaktır ve “uzun” duvarların düzlemleri dışına devrilmeleri önlenecektir.

5.6. Hatıllar

Yığma yapıların deprem davranışına en önemli katkıyı sağlayan bir başka ayrıntı hatıllardır. Betonarme kat döşemelerinin duvarlara oturdukları yerlerde en az duvar kalınlığı kadar derinliği olan bir betonarme hatıl olmalıdır. Bu ayrıntı betonarme kat döşemesinin “rijit” davranmasını destekler.

Betonarme hatıllar tuğla duvardan daha “sünek” ve yüksek dayanımlı elemanlardır. Duvarlarda yatay deprem yüklerinin oluşturacağı çatlakların ilerlemesini, duvarın dağılıp hem yatay hem de düşey yük taşıma gücünü kaybetmesini önlerler.

6.SONUÇ

Bildiri hacmi içinde yığma yapılar ve deprem davranışı konusunda bilinenler verilmeğe çalışılmıştır. Yığma yapılar yığma duvarlar üzerinde deneysel çalışmalar çok azdır. Mevcut yığma yapıların deprem dayanım ve davranışının belirlemek yerinde deney yöntemleri geliştirilmeli ve dinamik özellikleri incelenmelidir. Bildiride yığma yapıların güçlendirme ve onarım yöntemlerinden söz edilmemiştir. Yığma Duvarların çelik hasırla kaplanması, çatlakların kenetlerle dikilmesi ve çatlak ara yüzeylerinin elastik ve yüksek dayanımlı harç ya da enjeksiyonlarla doldurulması gibi güçlendirme yöntemleri vardır.

Yığma yapıların deprem davranışı, yatay ve düşey yük taşıma düzenleri, duvarlarında olşan yatay ve düşey gerilmelerin hesabı ve daha birçok konular inşaat mühendisliği eğitiminde yoktur. Bu eğitimin verilmediği ya da bu eğitimi almamış pek çok mühendis bu yığma yapıların deprem dayanımı değerlendirmekte ve kaderlerini belirlemektedir. Anıtsal değeri olmayan yığma yapılarla hiç uğraşmayıp onları daha dayanıklı betonarme yapılarla yenilemek kolay ve daha güvenli görünen bir çözüm olabilir. Ancak anıtsal değeri olanlar yapılar için davranışı ve güçlendirme yöntemlerini bilmek zorunluluğu inşaat mühendisinin yapıları daha iyi tanınmasını ve çalışmasını gerektirmektedir

KAYNAKLAR

Bayülke, N. (1977) 24 Kasım 1976 Çaldıran-Muradiye ve 25 Mart 1977 Palu Depremlerinde Hasar Gören Bazı Yığma Yapılar Üzerinde İnceleme. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara

Bayülke, N. (1990) Kerpiç Yapı Sarsma Tablası Deney Raporu. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara

Bayülke, N. (1992) Yığma Yapılar (Genişletilmiş 2nci Baskı). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara

Bayülke, N. (2010) Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi (10ncu Baskı). TMMÖB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir

Erberik, M.A., Aldemir, A. ve Ay, B.Ö. (2008) A Critique of the Turkish Earthquake Code Regulations Regarding Masonry Construction. 8th International Seminar on Structural Masonry, 05-07 November 2008, Istanbul

Gürdil, F. (1984) Kerpiç Blokların Fiziki ve Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi. İnci Kuzeydoğu Anadolu Ulusal Deprem Sempozyumu, 16-19 Mayıs 1984, Erzurum, Bildiriler Kitabı, sayfa 152-164.

İspir, M, Demir,C., İlki,A. ve Kumbasar N. (2008) Evaluation of Test Methods for Seismic Safety Assessment of Masonry Buildings. 8th International Seminar on Structural Masonry, 05-07 November 2008, Istanbul

Karadoğan, F (Eylül 2003) Istanbul Beyoğlu İlçesinde Bulunan Alman Lisesi Binasının Deprem Güvenliğinin Saptanması Sırasında Yapılan Çalışmalar. Teknik Rapor , İTÜ, İnşaat Fakültesi, Istanbul

Penelis, G., Karaveziroglou, M.K., Stylianidis, D. Loentaris (1979) The Monument Rotonda in Thessaloniki-A Characteristic Example of Complying the Principles of Repair and Strengthening with Those of Monuments Restoration. Paper Presented at the *9th Regional Seminar on Earthquake Engineering Istanbul-Turkey*