

## YI MA B NALARIN S SM K PERFORMANSININ BEL RLENMES

A. Aldemir<sup>1</sup>, B. Binici<sup>2</sup>, A. Yakut<sup>2</sup> ve E. Canbay<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ara tırma Görevlisi, n aat Müh. Bölümü, Orta Do u Teknik Üniversitesi, Ankara

<sup>2</sup> Profesör, n aat Müh. Bölümü, Orta Do u Teknik Üniversitesi, Ankara  
e.posta: aaldemir@metu.edu.tr

### ÖZET:

Bilindi i üzere y1 ma binalar yüzyıllardır insanların tercih etti i en ekonomik sı nma çözümlerinden birini sundu u için çok yaygın bir e kilde kullanılmaktadır. Fakat bu malzeme türünün; gerek homojen olmayan yapısı gerekse karma ık malzeme özelliklerinden ötürü halen davranı ı istenilen düzeyde tahmin edilememektedir. Ayrıca; bu yapı tipi, bilgisayar ortamında modellerken de oldukça fazla varsayıma ihtiyaç duyulmaktadır; örne in, etkin duvar yüksekli i, malzeme homojenle tirmesi (makro model), vs. Bahsi geçen sebeplerden ötürü, betonarme veya çelik binaların aksine, literatürde y1 ma binaların sismik performansının belirlenmesinde bir fikir mutabakatı bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalı mada öncelikle literatürde kar ıla ılan etkin yükseklik önerilerinden hangisinin daha mânalı sonuçlar üretece ine yönelik bir ara tırma yapılmı tır. Bu amaca yönelik malzeme özellikleri önceden belirlenmi mevcut 10 adet bina seçilmi tir. Bu binaların, 3B sonlu eleman modelleri olu turulmu tur. Daha sonra hangi etkin yükseklik varsayımının çubuk eleman modellerinde sonlu eleman analizlerinden elde edilen yanall rijitlik de erlerine yakınsadı ı irdelenmi tir. Son olarak y1 ma binaların sismik de erlendirmesinde kullanılmak üzere bir metot öne sürülmü tür. Önerilen bu metotta mevcut y1 ma binalardan elde edilen malzeme de erleri kullanılmı tır. Böylece performans limitleri seçimi a amasında güvenli sınır de erleri elde edilmi tir.

**ANAHTAR KEL MELER :** Y1 ma binalar, Sismik De erlendirme, Etkin Yükseklik

### 1. G R

Y1 ma binaların davranı larını tahmin etmek, ku kusuz, yapı mekani inin en karma ık problemlerinden birisidir. Bunun ba lıca nedenleri arasında, y1 manın heterojen ve anizotrop bir malzeme olması, mekanik özelliklerinin i çili e oldukça ba lı olması, vb. sebepler sayılabilir. Bu kadar limitli bir bilgiye sahip olmamıza ra men, bu yapı malzemesi tüm dünyada, özellikle geli mekte olan ülkelerde, yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bu sebeple y1 ma binaların sismik hareketler etkisi altında nasıl davrandıkları çokça gözlemlenebilmi ve ço u zaman da y1 ma binaların içinde barındırdıkları canlıları çevresel etkilerden koruma görevini yerine getiremeyip birçok can ve mal kaybına yol açtıkları rapor edilmi tir. Bu gözlemlerin ana sebebinin y1 ma binaların in asında mühendislik tasarımlarının yerine yörelere ait geleneksel yöntemlerin kullanılması oldu u savunulabilir. Bu geleneksel yöntemlerle tasarlanmı yapıların, genellikle belli bir standarda sahip olmadıkları için, ço u zaman basit analiz yöntemleri kullanılarak davranı ları tahmin edilememektedir. Abrams (2001) bu konu hakkında bir öz ele tiri yaparak “y1 ma, ku kusuz en eski yapı malzemesi olmasına ra men, mukavemet ve deplasman karakteristikleri açısından en az anla ılmı yapı malzemesidir.” demektedir.

Dünya genelinde deprem bölgelerinde in a edilmi birçok y1 ma bina bulunmaktadır. Bu yapıların; ekonomik ve fiziksel kayıpları minimuma indirmek için sismik güvenli inin de erlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bilindi i üzere tarihi binaların da hemen hemen hepsi y1 ma kullanılarak in a edilmi tir. Kültürel mirasın devamı için bu binaların da sismik güvenlikleri belirlenmelidir. Bu sebeple, literatürde birçok ara tırmacı mevcut y1 ma binaların de erlendirilmesi veya sınıflandırılması için farklı metotlar önermi tir (D’Ayala vd. 1997,

D'Ayala 2005, Kappos vd. 2006, Park vd. 2009, Erberik 2010). Bunlara ek olarak mevcut bina de erlendirmesi için çe itli standart ve kurallar da yayınlanmı tır (FEMA 356, Eurocode 6, DBYBHY 2007).

Türkiye, aktif bir deprem bölgesinde bulunmasından ve yapı sto unun sismik detay açısından yetersiz birçok bina içermesinden kaynaklı orta ve büyük ölçekli deprem etkileri altında çok fazla zarar görmü tür ( zmit 1999, Van 2011, vb.) Geçmi te ya anılan felaketlerden bir nebze ders çıkartarak son yıllarda Türkiye sismik risk azaltmasına önem vermektedir. Fakat risk de erlendirmesi gerektiren binaların tahmini sayısı 5 milyon civarında oldu undan yeni ve akılcı yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, 2012 yılında Kentsel Dönü üm adı altında bir yasa çıkarılmı tır. Bu yasa kapsamında sismik riskli binaların belirlenmesi oldukça büyük önem kazanmı tır. Yeni yasayla birlikte hükümet görevlilerine sismik riskli olarak tespit edilen binaların kiralanma veya satılmalarına engel olma hakkı tanınmı tır. Bu sebeple sismik riskli binaların do ru bir eilde sınıflandırılması büyük önem arz etmektedir.

Günümüzde yürürlükte olan sismik de erlendirme yöntemi, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'le (DBYBHY 2007) ve Riskli Binaların Tespit Edilmesine li kin Esaslar (RBTE E 2012)'dir. Bu dokümanlardaki betonarme binalar için önerilen sismik de erlendirme yöntemleri bina ve bile enlerinin detaylı testleriyle mesnetlendirilmı tir (Binici vd. 2015). Di er taraftan, yı ma binalar için sismik de erlendirme yöntemi tasarım kısmındaki yöntemlerle paralel olarak dü ey ve yatay yüklerden gelen taleplerin bir davranı katsayısıyla küçültülerek (R) önerilen mukavemet limitleriyle kar ıla tırılmasından ibarettir. Bu yöntemin genel olarak iki adet sakıncası bulunmaktadır: 1- farklı kargir birim cinsi ve harç kalitesine göre DBYBHY (2007) tarafından önerilen de erlerin mevcut binaların kapasitelerini ne ölçüde yansıttı ı tam olarak bilinmemektedir, 2- tasarım için önerilen davranı katsayısının mevcut binaların de erlendirmesi için ne kadar uygun oldu u irdelenmemi tir. Bu bahsi geçen eksikliklerin bazen mevcut binaların de erlendirilmesinde yanlı risk sınıflandırmalarına yol açabilece i dü ünülmektedir.

Bu yüzden Orta Do u Teknik Üniversitesi'nde kapsamlı bir ara tırma gerçekleştirilmı tir. Çalı malar kapsamında ilk olarak on adet mevcut yı ma binadan malzeme örnekleri alınarak laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmı ve sonuçlar derlenerek yı ma yapı sto unda kullanılan malzemeler hakkında bilgi edinilmı tir. Edinilen bu bilgiler ı ında yı ma duvar malzemelerin alt sınır mevcut dayanım de erleri için öneri geli tirilmı tir. Daha sonra bu binalar arasından iki adedi seçilerek itme deneyleri gerçekleştirilmı tir ve saha deneyleri sonuçları ile sayısal modeller tarafından tahmin edilen rijitlik ve yatay yük kapasiteleri kıyaslanmı tır. Böylece farklı rijitlik modellerinden hangisinin daha iyi tahminlere yol açtı ı ara tırılmı tır. Son olarak mevcut yı ma binaların de erlendirilmesi için bir yöntem sunulmu tır.

## 2. ÖNER LEN ALT SINIR MEVCUT DAYANIM DE ERLER

Çalı manın ilk kısmında 10 adet önceden bo altılmı yı ma bina malzeme kapasite tanımlaması için seçilmı tir. Binaların 9 adedi Ankara'da ve bir adedi ise Kır ehir'de bulunmaktadır. Ön incelemeler sonucunda, binaların hiçbirinde çatla a rastlanmamı tır. Ayrıca, seçilen binalardan dördü delikli tu la, dördü dolu tu la, biri beton briket ve biri beton briket ve kerpiç malzeme ile örülmü duvarlara sahiptir. Bilindi i üzere 1970'li yıllara kadar ülkemizde yı ma binalar genellikle dolu tu la kullanılarak in a ediliyordu. Bu yıldan sonra yı ma yapılarda delikli tu laların görülme sıklı ı artmı ve delikli tu la, yı ma yapı sto unun büyük bir kısmını olu turmaya ba lamı tır. Ayrıca, kırsal kesimlerde de kerpiç ve beton briket yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bu yüzden seçilen bina sto unun ülkemizde gözlemlenen genel yı ma karakterini yansıttı ı dü ünülmektedir. Binalar hakkında genel bilgiler Tablo 1'de sunulmaktadır. İlk olarak seçilen binaların röleleri çıkartılmı tır. Daha sonra binalardan parça duvarlar kesilerek Orta Do u Teknik Üniversitesi Yapı Mekani i Laboratuvarı'na getirilmı tir. Laboratuvarda, basınç, diyagonal çekme ve kayma deneyleri gerçekleştirilmı tir. Basınç deneyleri blokların binalarda dü eyde kullanılma yönünde test edilmi tir. Kesilen duvar parçası sayısının yeterli oldu u

durumlarda ise basınç deneyleri hem duvarda kullanılma yönünde hem de bu yöne dik olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Seçilen binalar hakkında genel bilgiler

Bina Adı	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Lokasyon	Ankara	Ankara	Ankara	Ankara	Ankara	Kırşehir	Ankara	Ankara	Ankara	Ankara
Yapım Tarihi	B*	1990	1950	1960	1970	1977	B	B	B	B
Kargir Birim Cinsi	Delikli Tuğla	Delikli Tuğla	Dolu Tuğla	Dolu Tuğla	Beton Briket ve Kerpiç	Dolu Beton Briket	Dolu Tuğla	Delikli Tuğla	Delikli Tuğla	Dolu Tuğla
Deprem Bölgesi	3	4	4	4	4	1	3	3	4	4
Kat Adedi	2	2	3	3	1	2	2	2	3	3
Bina Ölçüleri (m x m)	8,9 x 14,0	7,3 x 12,5	10,5 x 18,0	14,5 x 16,2	9,0 x 9,1	9,0 x 10,7	10,1 x 12,1	10,5 x 16,9	9,2 x 12,3	11,9 x 21,7
Duvar Oranı**										
x-yönü (%)	29,4	34,5	25,5	22,1	24,3	22,1	22,9	25,4	31,1	26,3
y-yönü (%)	24,5	21,0	23,0	32,5	30,7	31,0	23,9	27,3	19,0	17,0
Ort. Sıva Kalınlığı (cm)	3,5	4,6	6,0	4,6	3,5	7,4	4,8	3,1	4,2	5,4
Numune Sayısı	6	8	8	8	6	6	6	6	6	8

\*: Bilinmiyor, \*\*: Tek bir yöndeki duvarların toplam uzunluğunun plan alanına oranı, \*\*\*: Duvarın iki yüzündeki toplam sıva kalınlığı her bir numune için bulunup bina için ortalama değerler rapor edilmiştir.

Seçilen binalar DBYBHY (2007)'ye uyumlu olarak 2-3 kat arasında deprem bölgesinde inşa edilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde toplam duvar alanı ve deprem bölgesi veya toplam duvar alanı ve kat adedi arasında bir korelasyon olmadığı görülmüştür. Ayrıca, sıva kalınlıkları da binadan binaya oldukça farklılık göstermektedir. Bu gözlemler seçilen binaların mühendislerin de mediyasyonuyla tasarımıyla yapıldıklarına birer delildir. Neredeyse tüm binalar düzgün bir plana sahiptir (ekil 1). Tüm binalardan 70 cm x 70 cm'lik kare duvar numuneleri çıkarılmıştır. Bu deneyler için hidropressür testere kullanılarak numunelere zarar verilmemesine imtina edilmiştir (ASTM C1532). Bazı binalardan yetersiz duvar alanı nedeniyle daha az numune alınabilmiştir. Alınan numuneler ekil 1'de gösterilmiştir (Tablo 1).

Malzeme testleri deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalıma mada basınç, diyagonal çekme ve kayma kapasiteleri ASTM standartlarına (ASTM C1314, E519/E519M, C1532 ve C1552) ve Avrupa normlarına (EN 1052) uygun olarak elde edilmiştir. Deney sonucunda elde edilen malzeme kapasiteleri ve elastisite modülleri Tablo 2'de özetlenmektedir. Tablo 3'de DBYBHY (2007)'nin önerdiği kapasite değerlerinin elde edilen kapasite değerleriyle karşılaştırılması sunulmaktadır.

Tablo 3'te açıkça özetlendiği gibi DBYBHY (2007)'nin önerdiği kapasite değerleri deney sonuçlarıyla neredeyse aynı değerlere sahiptir (DBYBHY (2007)'deki emniyet gerilmeleri güvenlik faktörüyle çarpılarak (G.F.=2) kapasite değerlerine dönüştürülmüştür.). Bu yüzden mevcut binalar özellikle kayma kapasiteleri göz önüne alındığında güvenlik faktöründen yoksundurlar. Ayrıca, DBYBHY (2007)'de de önerildiği gibi basınç dayanımları kargir birim cinsine göre deyim göstermektedir. Fakat kayma ve diyagonal çekme dayanımları incelendiğinde kargir birim cinsine göre bir korelasyon olmadığı tespit edilmektedir (ekil 2). Bunun ana sebebi kayma ve diyagonal çekme deneylerinde gözlemlendiği üzere, numunelerin kapasite kayıpları genellikle harcı takip eden çatlaklarla oluşmaktadır. Bu nedenle kayma ve diyagonal çekme kapasiteleri genellikle harcın kalitesinden etkilenmektedir. Yapılan testler neticesinde önerilen alt sınır kapasiteler de Tablo 4'te sunulmaktadır.

### 3. ÖNERİLEN ETKİN YÜKSEKLİK MODELİ

Yıma duvarların rijitliklerini belirlerken en karmaşık konulardan bir tanesi etkin yüksekliğin belirlenmesidir. Bu yüzden bu çalıma mada etkin duvar yüksekliği için en uygun yaklaşımın literatürde sıklıkla kullanılan metodlardan hangisinin olduğu da araştırılmıştır. Bu amaçla, seçilen binaların üç boyutlu sonlu eleman modelleri



Şekil 1. Seçilen binaların plan görünüşleri

hazırlanmıştır. Modellerde sekiz düüm noktalı kabuk elemanlar kullanılmıştır. Bunun dışında tüm binaların çubuk elemanlardan oluşan ve etkin yükseklik kabulü olarak DBYBHY (2007), Dolce (1989), Moon (2004) ve Tam Boy modelleri ayrı ayrı kullanılan simülasyonları da olmaktadır. Daha sonra çubuk eleman

modellerinden elde edilen rijitliklerle sonlu eleman modellerinden elde edilen rijitlikler karşılaştırılarak ve literatürdeki etkin yükseklik metodlarından hangisinin daha mantıklı sonuçlar ortaya koyduğunu incelenmiştir (Tablo 5).

Tablo 2. Malzeme deneylerinin özetleri

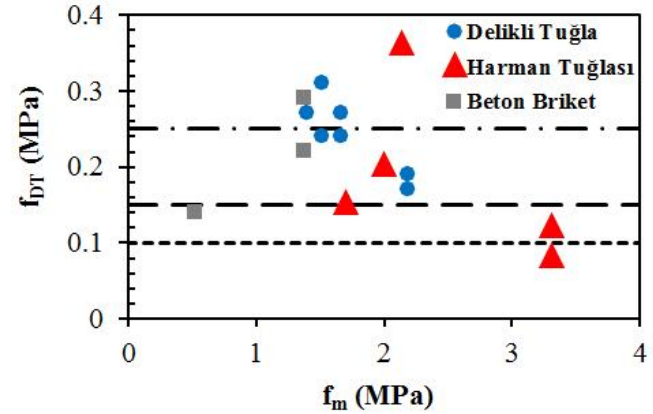
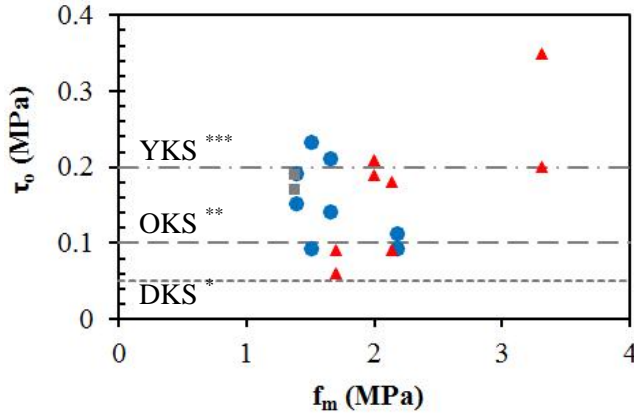
Bina Adı	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	
Elastisite Modülü *	1 2282	3236	4010	2725	838	582	2006	2232	842	1775	2729
Basınç Dayanımı *	1 2,15	1,74	2,65	1,55	0,57	0,52	1,51	2,14	1,00	2,08	2,00
Diyagonal Çekme Dayanımı *	1 0,31	0,24	0,08	0,15	0,14	0,12	0,29	0,36	0,27	0,17	0,20
Kayma Dayanımı *	1 0,09	0,14	0,20	0,06	-	-	0,19	0,09	0,19	0,09	0,21
Elastisite Modülü *	2 4928	3783	3714	1657	968	1000	1381	-	2060	1574	-
Basınç Dayanımı *	2 1,93	1,60	3,98	1,85	0,49	0,47	1,25	-	1,80	2,30	-
Diyagonal Çekme Dayanımı *	2 0,24	0,27	0,12	-	-	-	0,22	-	-	0,19	-
Kayma Dayanımı *	2 0,23	0,21	0,35	0,09	-	-	0,17	0,18	0,15	0,11	0,19

\*: Birim olarak MPa kullanılmıştır. \*\*, \*\* Elastisite modülü kapasitenin %50'den ve orijinden geçen sekant çizgisinin eğiminden hesaplanmıştır.

Tablo 3. Deney sonuçlarının DBYBHY (2007)'de önerilen kapasitelerle karşılaştırılması

Özellikler	Kargir Birim Cinsi					
	Delikli Tuğla		Dolu Tuğla		Dolu veya Delikli Beton Briket	
	Deney	DBYBHY (2007)	Deney	DBYBHY (2007)	Deney	DBYBHY (2007)*
Basınç Dayanımı (MPa)	1,00-2,30	1,00-2,00	1,25-3,98	1,60	0,49-1,51	1,60
Kayma Dayanımı (MPa)	0,09-0,23	0,24-0,50	0,06-0,35	0,30	0,17-0,19	0,40
Diyagonal Çekme Dayanımı (MPa)	0,17-0,31	-	0,08-0,36	-	0,14-0,29	-

\*: DBYBHY (2007) sadece dolu beton briket için kapasite önerisinde bulunmaktadır.



Şekil 2. Basınç dayanımıyla (a) kayma kapasitesi ve (b) diyagonal çekme kapasitesi ilişkileri

\*: Düşük kaliteli harç, \*\*: Orta kaliteli harç, \*\*\*: Yüksek kaliteli harç

Tablo 4. Farklı kargir cinslerine göre önerilen alt sınır kapasite değerleri

Kargir Birim Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)			Diyagonal Çekme Dayanımı (MPa)		
		Gözlemlenen Harç Kalitesi			Gözlemlenen Harç Kalitesi		
		Düşük	Orta	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
Delikli Tuğla	0,90						
Dolu Tuğla	1,00						
Delikli Beton Briket	0,40	0,05	0,10	0,20	0,10	0,15	0,25
Dolu Beton Briket	0,85						

Tablo 5'ten de anlaşıldığı gibi Tam Boy yaklaşımı genel olarak sonlu eleman modellerinden elde edilen rijitlikleri en iyi şekilde yakınsamaktadır. Bir başka deyişle Tam Boy kullanılarak yapılan hataların ortalamaları ve standart sapmaları diğer metodlarla elde edilen değerlerden daha düşüktür. Bu sonucu saha deneyleriyle yapılan rijitlik karşılaştırmaları da doğrular niteliktedir. Giriş bölümünde de bahsedildiği gibi çalışmada kapsamında iki adet saha deneyi de gerçekleştirilmiştir. İkinci bölümde özetlendiği üzere birinci saha deneyinin sekant eğimi Dolce (1989) [hata oranı % 11.9] ve Tam Boy [hata oranı % -23.3] arasında kalmaktadır. Ayrıca, ikinci deneyden elde edilen yatay rijitlik ise Moon (2004) [hata oranı % 6.2] ve Tam Boy [hata oranı % -5.1] arasında düşmektedir. Ek olarak diğer etkin yükseklik varsayımları için saha deneyi rijitlik karşılaştırmalarından elde edilen hata oranları da Tablo 6'da özetlenmektedir.

#### 4. ÖNERİLEN DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ

Mevcut yapı binaların değerlendirilmesi için yürürlükte olan yönetmelerce önerilen metodlarda tasarım amaçlarındaki yaklaşımlara benzer bir şekilde davranış katsayısı 2'ye ( $R=2$ ) getirilmektedir. Daha sonra duvarlar üzerindeki kesme talepleri kayma göçme ekleminin etkin olacağı varsayımıyla kesme kapasitesiyle ( $\sigma_c + \mu_x$ ) karşılaştırılmaktadır. Bu metodun hali hazırdaki süreklilik düzeyi belirsiz olan mevcut binaların değerlendirilmesine uygun olmadığı aşikârdır. Bu nedenle önerilen yeni değerlendirme metodunda davranış katsayısı 1'e ( $R=1$ ) getirilip tüm elemanların değerlendirilmesi ayrı ayrı yapılmaktadır. Yapı binaların risk değerlendirmesinde uygulanması önerilen metod aşağıda sıralanan adımlardan oluşmaktadır:

- DBYBHY (2007)'de önerildiği üzere bina üzerinde oluşması beklenen elastik taban kesme kuvveti hesaplanır. Değerler esnasında  $S(T)$  değeri değerlendirilen binanın hakim periyoduna bakılmaksızın 2.5 olarak varsayılmalıdır. Değerlendirmesi yapılan bina her iki yönde de incelenmeli ve her hangi bir yönde yetersiz bulunan bina "sismik olarak riskli (SR)" olarak addedilmelidir.
- Duvarların rijitlikleri belirlenirken Tam Boy varsayımı kullanılmalı ve sınır koşulları ankastre olarak alınmalıdır. Rijitlik hesaplarında duvarların hem eyleme hem de kayma rijitlikleri dikkate alınmalıdır. Taban kesme kuvveti burulma etkileri de dikkate alınarak binanın duvarlarına rijitlikleri oranında dağıtılmalıdır.
- Duvarların kapasiteleri bulunurken öncelikle narinlik oranlarına göre duvarlar narin ve bodur olmak üzere iki farklı sınıfa ayrılmalıdır. Bir duvarın narin veya bodur olduğuna ise yükseklik-boy ( $H/L$ ) oranlarına bakılarak karar verilecektir. Eğer bir duvarın  $H/L$  oranı 2 veya daha büyükse bu duvar narin, değilse bodur olarak adlandırılacaktır. Değerlerde duvarın etkin yüksekliği kat yüksekliğine eşit olarak alınır. Narin duvarlar için üç farklı göçme eklemleri (eyleme, kayma ve diyagonal çekme) dikkate alınarak kapasite hesabı Tablo 7'de önerilen formüller kullanılarak yapılacaktır. Bodur duvar için ise iki farklı göçme ekleminin (kayma ve diyagonal çekme) aktif olduğu varsayılacak ve kapasite hesabında eyleme göçme eklemleri dikkate alınmayacaktır.
- Hesaplanan elastik duvar kesme kuvvet taleplerinin duvar kapasite değerlerine bölünmesi ile etki kapasite oranı ( $m$ ) belirlenir. Bu değerler göçme modu dikkate alınarak Tablo 7'de verilen  $m_{sınırlı}$  değerleri ile kıyaslanır.  $m$  değeri  $m_{sınırlı}$  değerinden büyük ise duvar riskli değil ise risksiz olarak belirlenir.
- Riskli bulunan duvarların taşıdığı kesme kuvvetinin binaya etki eden taban kesme kuvvetine oranı %35'den büyükse incelenen bina sismik olarak riskli (SR) olarak tespit edilir. Aksi takdirde bina risksizdir.

Önerilen risk tespit metodunda incelenen binayı riskli ya da risksiz olarak sınıflandırmak için kullanılacak eyleme oranının belirlenmesi gereklidir. Bunun için seçilen binaların iki yönde de kapasite değerleri itme analizleri sonucunda elde edilmiştir. Bu analizler gerçekleştirilirken Tablo 7'de verilen formüller kullanılarak tüm duvar katkıları sabit bir kat deplasmanı için toplanmıştır. Hesaplar gerçekleştirilirken burulma etkileri de dikkate

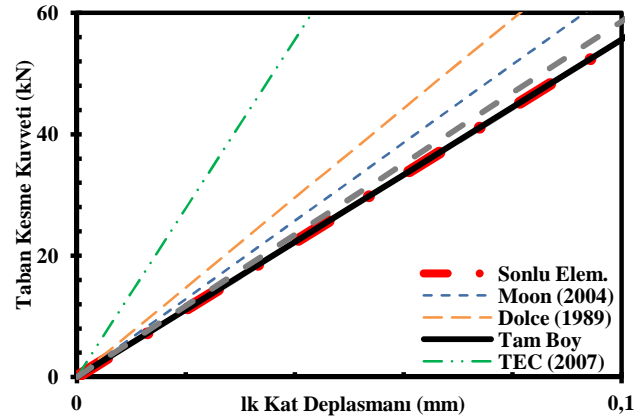
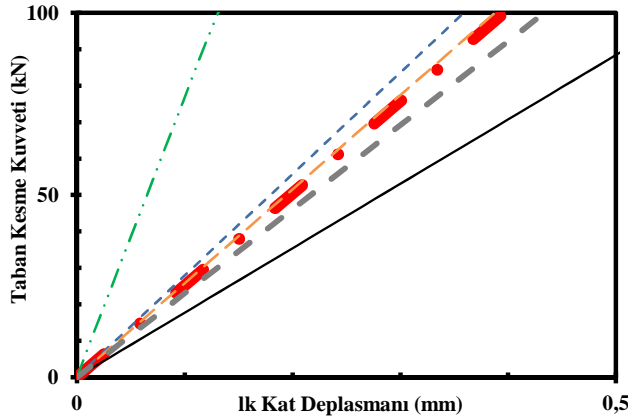
alınmıştır. Daha sonra elde edilen kapasite değerlerine iki çizgili idealizasyon yapılmıştır. Basitleştirilmede uygulanan kurallar:

- idealize edilmiş kapasite değerlerinin akma kuvveti ( $V_y$ ) kapasite değerlerinin maksimum kesme kapasitesinin %80'ine eşit alınmıştır.
- Binanın akma ve göçme deplasmanları ise bir önceki amaçta bulunan akma kapasitesinden ( $V_y$ ) bir yatay çizgi çekilip bu çizginin bina kapasite değerlerini ilk ve ikinci kestiği noktalardan hesaplanmıştır (ekil 4).

Öncelikle bahsi geçen analiz metodunun saha deneyi sonuçlarıyla gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Bu sonuç ekil 5'te sunulmaktadır. ekil 5'te B8 için kapasite karşılaştırmaları sunulmaktadır. Görüldüğü üzere maksimum taban kesme kuvveti %5 hata oranından daha az bir hatayla tahmin edilebilmektedir.

Tablo 5. Seçilen binaların sonlu elemanlar modelleriyle rijitlik karşılaştırmaları

Bina Adı	Yön	Moon (2004)	DBYBHY (2007) [Eğilme + Kayma Rijitliği]	Dolce (1989)	Tam Boy	DBYBHY (2007) [Kayma Rijitliği]
B1	x	45%	43%	21%	12%	175%
	y	8%	130%	2%	4%	208%
B2	x	10%	9%	5%	15%	37%
	y	1%	6%	9%	40%	126%
B3	x	104%	126%	47%	8%	226%
	y	5%	2%	9%	8%	93%
B4	x	75%	56%	11%	24%	167%
	y	42%	20%	26%	7%	98%
B5	x	121%	183%	13%	25%	318%
	y	157%	159%	64%	27%	308%
B6	x	15%	10%	3%	41%	153%
	y	54%	91%	32%	17%	201%
B7	x	11%	13%	3%	30%	211%
	y	44%	56%	31%	29%	175%
B8	x	12%	16%	28%	0%	111%
	y	43%	43%	12%	12%	149%
B9	x	24%	53%	4%	22%	69%
	y	37%	114%	57%	19%	245%
B10	x	28%	14%	19%	45%	94%
	y	21%	2%	7%	21%	68%
<b>Ort.</b>		<b>43%</b>	<b>57%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>162%</b>
<b>St. Sap.</b>		<b>42%</b>	<b>57%</b>	<b>18%</b>	<b>13%</b>	<b>77%</b>



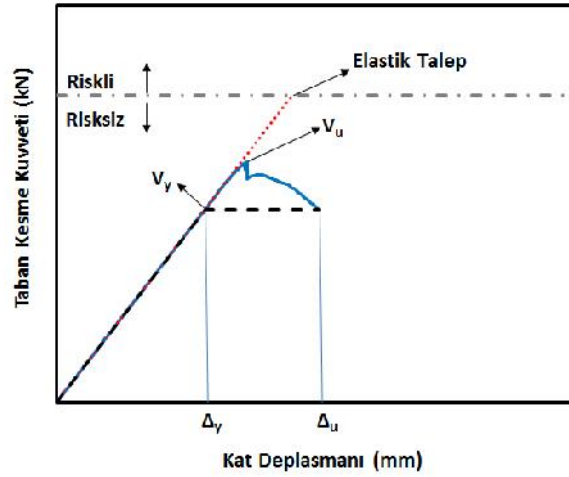
ekil 3. Saha deneyleriyle yapılan rijitlik karşılaştırmaları: (a) B7 ve (b) B8 \*Deneyler için sekant eğimi kullanılmıştır.

Tablo 6. Saha deneyleriyle rijitlik karılaştırmaları

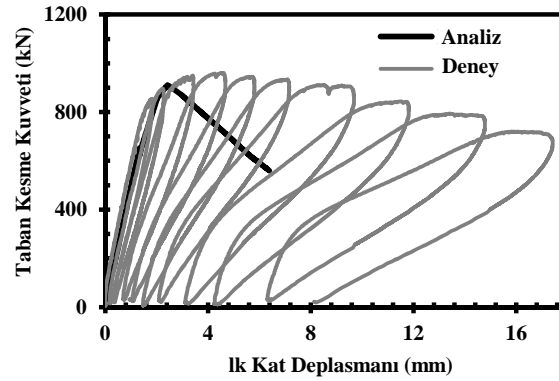
Metot	Yüde Hata (%)	
	Bina 7 (B7)	Bina 8 (B8)
Sonlu Eleman Modeli	9,4	-5,2
Moon (2004)	20,9	6,2
DBYBHY (2007) [Eğilme + Kayma Rijitliği]	22,5	9,7
Dolce (1989)	<b>11,9</b>	21,4
Tam Boy	-23,3	<b>-5,1</b>
DBYBHY (2007) [Kayma Rijitliği]	232,9	100,5

Table 1. Talep – kapasite oranı limitleri

Göçme Şekli	Kapasite	m <sub>sınır</sub>
Kayma	$(\tau_o + \mu \times \sigma) \times L \times t$	1.5
Diyagonal Çekme	$0.75 \times f_{dt} \times L \times t \times \left(1 + \frac{\sigma}{f_{dt}}\right)^{0.5}$	1
Eğilme	$N \times \frac{L}{H} \times \left(1 - \frac{N \times f_m \times L \times t}{0.8}\right)$	2.5



ekil 4. Bina kapasite e rilerinin iki çizgili do rusalla tırılması



ekil 5. Test Binası B8 için analiz sonuçları



deallze edilmi kapasite e risi kullanılarak binanın deplasman sünekli i Denk. 1 kullanılarak bulunmu tur. Bu de er kullanılarak akma kapasitesini elastik deprem istemine çevirecek davranı katsayısı (R) da hesaplanabilmi tir (Denk. 2).

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (1)$$

$$R = \frac{1}{2\mu - 1} \quad (2)$$

Binanın akma kapasitesi hesaplanan R de eriyle çarpılarak elastik deprem kuvvet istemi hesaplanmı tir. Bu kuvvet seviyesi, elastik analizler ile kullanıldı nda binanın riskli olmasını sa layacak en dü ük yatay kuvvete tekabül etmektedir. Hesaplanan bu talep altında binalar elastik olarak analiz edilmi ve her bir duvardaki m/m<sub>sınır</sub> de eri hesaplanmı tir. E er bu de er 1'den büyükse duvarın talebi kar ılayamadı ı (riskli) di er durumlarda ise duvarın yeterli (risksiz) oldu u dü ünülmü tür. Daha sonra talebi kar ılayamayan duvarların ta ıdı ı kesme kuvvetinin toplam kesme kuvveti talebine oranı hesaplanmı tir. Böylece önerilen yöntemle nasıl bir a ılma oranının oldu u hesaplanmı tir. Aynı elastik deprem istemi altında DBYBHY (2007) ve RBTE E (2013)'te verilen kurallar kullanılarak analizler gerçekte tirilmi tir. Tüm analizlerde bilgi katsayısı bir alındı ndan iki yönetmelik sonucu benzer olarak bulunmu tur. Sonuçlar Tablo 8'de verilmektedir.

Tablo 8. Binalarda hesaplanan taban kesme kuvveti a ılma oranları

Bina Adı	DBYBHY 2007		RBTE E 2013		Önerilen Metot	
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
B1	% 58.8	% 83.4	% 58.8	% 83.4	58.4 %	41.0 %
B2	% 39.9	% 19	% 39.9	% 20.0	34.3 %	61.6 %
B3	% 9.3	% 0.0	% 9.3	% 0.0	86.1 %	89.3 %
B4	% 65.7	% 100.0	% 65.7	% 100.0	83.6 %	84.7 %
B5	% 80.9	% 66.6	% 80.9	% 66.6	33.9 %	79.4 %
B6	% 52.7	% 66.9	% 52.7	% 66.9	85.1 %	69.8 %
B7	% 72.0	% 77.7	% 72.0	% 77.7	81.6 %	39.2 %
B8	% 96.8	% 78.6	% 96.8	% 78.6	46.9 %	90.3 %
B9	% 65.1	% 60.6	% 65.1	% 60.6	41.3 %	48.7 %
B10	% 98.0	% 82.1	% 98.0	% 82.1	90.9 %	90.1 %

Tablo 8 incelendi inde DBYBHY (2007) bir binayı her iki yönünde bir binayı ise bir yönünde risksiz bulmu tur. RBTE E (2013) ise iki binayı risksiz bulmu tur. Hâlbuki tüm analizlerin riskli olarak bulunması gereklidir. Önerilen metot için en dü ük a ılma oranı yakla ık olarak % 34'dür. Bir ba ka deyi le önerilen metot için riskli bulunan duvarların ta ıdı ı kesme kuvvetinin toplam kesme kuvvetine oranı %35 olarak alınır ise tüm binalar tüm yönlerinde riskli olarak bulunabilir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalı ma kapsamında ilk olarak on adet mevcut yı ma binadan malzeme örnekleri alınarak laboratuvar deneyleri gerçekte tirilmi ve sonuçlar derlenerek yı ma yapı sto unda kullanılan malzemeler hakkında bilgi edinilmi tir. Edinilen bu bilgiler ı ı nda yı ma duvar malzemelerin alt sınır mevcut dayanım de erleri için öneri geli tirilmi tir. Önerilen de erler DBYBHY (2007)'den farklılık göstermektedir. Daha sonra bu binalar arasından iki adeti seçilerek itme deneyleri gerçekte tirilmi tir ve saha deneyleri sonuçları ile sayısal modeller tarafından tahmin edilen rijitlik ve yatay yük kapasiteleri kıyaslanarak, modeller kalibre edilmi tir. Birinci kısımda incelenen on bina için elastik ötesi analizler gerçekte tirilerek kapasite e rileri çıkarılmı tir. ncelenen be farklı rijitlik modeli içerisinde duvar rijitliklerinin hesabında Tam Boy yakla ımının kullanılması ve e ilme ve kayma rijitliklerinin dikkate alınması sonucu ortaya çıkmı tir. Bu yakla ım hem pratik hem de oldukça gerçekte sonuçlar verebilmektedir. Çalı manın son kısmında mevcut yı ma binaların de erlendirmesinde kullanılmak üzere bir yöntem geli tirilmi tir. On bina üzerinde yapılan çalı ma, riskli duvarların ta ıdı ı kesme

kuvveti toplamının toplam kesme kuvvetine oranının %35'i geçmesi durumunda binanın riskli alınması gerektiği sonucunu ortaya koymuştur.

## TE EKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli maddi desteği sağlayan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Kentsel Dönüşüm ve Altyapı Dairesi'ne teşekkür ederiz. Baran Çobanoğlu, Salim Azak ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi laboratuvar çalışanları Osman Keskin, Murat Demirel ve Barış Esen'e hem saha hem de laboratuvar çalışanlarındaki katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. Abrams, D.P. (2001). Performance-based engineering concepts for unreinforced masonry building structures, *Progress in Structural Engineering and Materials* **3**, 48-56.
2. American Society of Civil Engineers (ASCE). (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency. Report No: FEMA 356. Washington, D.C., USA.
3. ASTM C1532. (2003). Standard practice for selection, removal, and shipment of masonry assemblage specimens from existing construction. ASTM International, West Conshohocken, PA.
4. ASTM C1552. (2003). Standard practice for capping concrete masonry units, related units and masonry prisms for compression testing. ASTM International, West Conshohocken, PA.
5. ASTM C1314. (2012). Standard test method for compressive strength of masonry prisms. ASTM International, West Conshohocken, PA.
6. ASTM E519/E519M. (2010). Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages. ASTM International, West Conshohocken, PA.
7. Binici, B., Yakut, A., Özcebe, G. ve Erenler, A. (2015). Provisions for the seismic risk evaluation of existing RC buildings in Turkey under Urban Renewal Law. *Earthquake Spectra* (in press).
8. Dolce, M. (1989). Models for in-plane loading of masonry walls. Corso sul consolidamento degli edifici in muratura in zona sismica. Ordine degli Ingegneri, Potenza.
9. D'Ayala, D., Spence, R., Oliveira, C. ve Pomonis, A. (1997). Earthquake loss estimation for Europe's historic town centers. *Earthquake Spectra* **13**, 773-793.
10. D'Ayala, D.F. (2005). Force and displacement-based vulnerability assessment for traditional buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering* **3**, 235-265.
11. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. (2007). Bayındırlık ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
12. Erberik, M.A. (2010). Seismic risk assessment of masonry buildings in Istanbul for effective risk mitigation, *Earthquake Spectra* **26**, 967-982.
13. European Committee for Standardization. (2005). Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures, Eurocode 6, Brussels.
14. European Norms EN 1052. (2003). Methods for test of masonry : Part 3 Determination of Initial shear strength.
15. Kappos, A.J., Panagopoulos, G., Panagiotopoulos, C. ve Penelis, G. (2006). A hybrid method for the vulnerability assessment of R/C and URM buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering* **4**, 391-413.
16. Moon, F.L. (2004). Seismic strengthening of low-rise unreinforced masonry structures with flexible diaphragms. PhD Dissertation, Georgia Institute of Technology, USA.
17. Park, J., Towashiraporn, P., Craig, J.I., ve Goodno, B.J. (2009). Seismic fragility analysis of low-rise unreinforced masonry structures. *Engineering Structures* **31**, 125-137.
18. Riskli Binaların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar (RBTE E). (2012). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.