



Tarihi Bölgelerdeki Yiğma Yapıların Deprem Güvenliği Ön Değerlendirmesi

Earthquake Preliminary Assessment of Masonry Buildings in Historical Centers

Ayşe Elif Özsoy Özbay* , Işıl Sanrı Karapınar 

Maltepe Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Öz

Bu çalışma kapsamında İstanbul'un tarihi bölgelerinden Galata'da bulunan yiğma yapıların deprem güvenliği açısından önceliğini belirlemek amacıyla ön değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Bölgenin tarihi ve kültürel geçmişi sebebiyle depremde risk oluşturabilecek binaların belirlenmesi, gerekli önlemlerin alınması açısından önceliklendirilmesi çok önemlidir. Bu amaçla, bölgede yer alan 213 adet yiğma yapı hızlı tarama yöntemi ile değerlendirilip, bölgesel risk dağılım haritası elde edilmiştir. Her bina için performans puanı hesaplanmış, deprem güvenliği açısından en riskli binalar tespit edilmiştir. Performans puanlarına göre değerlendirilen her bina, yüksek, orta, düşük ve çok düşük riskli olmak üzere dört risk düzeyinden birinde sınıflandırılmıştır. Çalışmada ayrıca ayrıntılı değerlendirme yöntemi uygulanarak bölgede bulunan üç tipik yiğma yapı analiz edilip, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar bölgedeki yiğma yapıların öncelikli risk düzeyini belirleyen ilk çalışmalardan biri olması açısından önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Afet yönetimi, Deprem, Hasar görebilirlik, Hızlı tarama, Yiğma yapı

Abstract

Within the scope of this study, preliminary assessment was carried out to determine the seismic priority of the masonry structures in Galata, one of the historical regions of Istanbul. Due to the historical and cultural background of the region, it is very important to identify the buildings that may have seismic risk and prioritize them to take the required precautions. For this purpose, 213 masonry structures in the region were evaluated with the rapid visual screening method and the map showing the seismic priority distribution of the buildings was obtained. The performance score of each building was calculated and the buildings possessing high-risk priority levels were determined. Each building was ranked according to its performance score and classified with respect to the seismic priority level as high, moderate, low and very low risk. Also, in this study, by applying detailed assessment method, three typical masonry structures in the region were analyzed and their results were compared. The results obtained in the study are important in terms of being one of the first studies determining the priority risk level of masonry structures in the region.

Keywords: Disaster management, Earthquake, Vulnerability, Rapid visual screening, Masonry structure

1. Giriş

Tarih boyunca, dünyanın dört bir yanında bulunan kültürel miras niteliğindeki pek çok yapı, depremlerden ciddi şekilde hasar almış, hatta yıkım riskiyle karşı karşıya kalmıştır. Depremler sonucunda tarihi bölgelerde oluşan yapısal hasarlar kültürel değerlerin kaybına sebep olmaktadır. Bu sebeple, tarihi yapıların depreme karşı güvenliğinin sağlanması ve korunması, deprem riski altındaki ülkeler için önemli bir sorundur. Özellikle kültürel miras açısından zengin ülkelerde, tarihi değere sahip yapıların deprem

tehlikesine karşı korunmasına yönelik geliştirilen stratejiler, kültürel varlıkların gelecek nesillere aktarılabilmesi için çok önemlidir.

Ülkemizde bulunan tarihi yapıların çoğunlukla yiğma yapı tekniği ile inşa edilmiş olduğu görülmektedir. Özellikle tarihi koruma alanlarında bulunan yiğma yapıların olası depremlere karşı güvenliğinin sağlanması ve yapısal güçlendirme gerektiren öncelikli yapıların belirlenmesi için yerel ölçekte hızlı tarama ve ön değerlendirme çalışmalarına ihtiyaç vardır. Deprem riski taşıyan yapıların bölgesel dağılımının belirlenmesi ve hasar görebilirliğinin tespiti, tarihi değere sahip yapıların afet riskine karşı korunmasını amaçlayan stratejik planların önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu bağlamda, son yıllarda, deprem riski barındıran tarihi bölgelerdeki yiğma yapıların hasar görebilirliğini

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: ayseelifozsoyozbay@maltepe.edu.tr

Ayşe Elif Özsoy Özbay  orcid.org/0000-0001-5397-398X

Işıl Sanrı Karapınar  orcid.org/0000-0002-3695-5867

konu alan araştırmalarda hızlı ön değerlendirme yöntemlerinin uygulanması yaygınlaşmıştır (D'Ayala vd. 2011, Vatan ve Arun 2012, Achs ve Adam 2012, Karaşın vd. 2016). Bu çalışmaların bir kısmında, tarihi dokunun yapılaşma türüne özgü hasar görebilirlik parametrelerinin hesaplanması için daha önceki depremlerde hafif, belirgin ya da ağır hasar alan yapıların deprem davranışları sayısal olarak modellenmiştir (Brando vd. 2017, Goded vd. 2018, Chieffo vd. 2019, Ferreira vd. 2019, Guardiola-Villora vd. 2019, Hannewald vd. 2020). Bu şekilde, çeşitli bölgelerdeki belirgin yapı tipolojilerini temsil eden deprem hasar görebilirlik modellerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Literatürde, mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş pek çok hızlı tarama yönteminin bulunduğu görülmektedir (Zucconi vd. 2018, Brando vd. 2019, Aldemir vd. 2020). Genel olarak bu yöntemler, mevcut binaya ait toplanan bilgilerin, yonteme özgü parametreleri içeren değerlendirme formlarına işlenerek envanterinin oluşturulması ile elde edilen bir puanlama sistemine dayanmaktadır. Yapının performansına ilişkin puanlama sonucunda, incelenen yapının depreme karşı hasar görebilirliği hızlı bir şekilde değerlendirilebilmektedir. Ön değerlendirme teknikleri içerisinde en yaygın olarak kullanılan FEMA P-154 (2015), temel bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem, risk altındaki bina grubunu farklı yapısal parametrelere göre tanımlayıp, mevcut yapıların deprem güvenliği açısından değerlendirme önceliğini sıralamaktadır. Kanada Ulusal Araştırma Birliği tarafından geliştirilen bir diğer hızlı tarama yöntemi (NRC/IRC 1992), incelenen bina için deprem sırasında tehdit oluşturma potansiyeline sahip, yapısal olmayan parametrelerin yanı sıra, bölgenin depremselliği, yerel zemin koşulları ve yapısal özellikleri içeren deprem riski öncelik puanının hesaplanmasına dayanmaktadır. Japon Sismik İndeks Yöntemi (JPDPA 2001) ise üç aşamalı bir değerlendirme yöntemi olup, bu yöntemde aşama seviyesi artışı ile incelenen bina ile ilgili daha ayrıntılı bilgiyle daha detaylı hesaba ihtiyaç duyulur. Yöntemin birinci aşamasında, taşıyıcı elemanların enkesit özellikleri ve malzeme bilgisi kullanılarak incelenen yapının deprem performansına ilişkin ön değerlendirme yapılır. Yeni Zelanda Deprem Mühendisliği Birliği tarafından geliştirilen bir diğer yöntem ise (NZSEE 2006), binaların deprem etkisi altında yapısal performansının belirlenmesinde kullanılan hızlı değerlendirme ve ayrıntılı değerlendirme aşamalarından oluşmaktadır. Ülkemizde ise yığma yapılar için hızlı ve ayrıntılı değerlendirme yöntemleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayınladığı riskli binaların değerlendirilme-

sine ilişkin esasları içeren yönetmelik kapsamında (RBTE 2013) yer almaktadır. Yönetmelikte yer alan hızlı tarama yöntemi, yerel ölçekte deprem riski barındıran binaların bölgesel dağılımının belirlenmesinde; yerel yönetimler ve yetkililer tarafından daha kapsamlı değerlendirmeye ihtiyaç duyulan yapılar için önceliklendirme kararının verilmesinde kullanılmaktadır.

Deprem öncesi ve sonrası planlama süreçlerinde, kültürel miras ve tarihi değeri olan binaların deprem risklerinin belirlenip, restorasyon, yenileme ve güçlendirme konularında karar verilmesi, bu yapıların mümkün olduğu ölçüde korunması için hayati önem taşımaktadır. Bu unsur göz önünde bulundurularak, bu çalışmada İstanbul'un tarihi bölgelerinden Galata'daki yığma yapıların deprem riskine karşı ön değerlendirilmesi ve deprem güvenliği açısından ayrıntılı analizlere ihtiyaç duyan yapıların önceliklendirilmesi araştırılmıştır. Bölgedeki mevcut yığma yapıların aşamalı olarak değerlendirilmesi ile ilgili olarak, RBTE-2013 kapsamındaki birinci ve ikinci aşama değerlendirme yöntemleri esas alınmıştır. Birinci aşamada, bölgedeki 213 adet yığma yapının ön değerlendirmesi gerçekleştirilip, bölgesel risk dağılım haritası elde edilmiştir. Bu aşamada elde edilen sonuçlar, tarihi değere sahip bölgedeki yığma yapıların öncelikli risk düzeyini belirleyen ilk çalışmalardan biri olması açısından önemlidir. Çalışmanın ikinci bölümünde ise, bölgedeki üç adet yığma bina örnek olarak seçilip, ikinci aşama değerlendirme yöntemi esas alınarak, uygulamalı kıyaslama gerçekleştirilmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Birinci Aşama Değerlendirme Yöntemi

Yığma yapı stoğu hakkında bir ön değerlendirme niteliğinde olan birinci aşama değerlendirme yöntemi, hızlı tarama yöntemiyle belirlenen bazı parametrelere bağlı olan bir puanlama hesabına dayanmaktadır. Kat sayısı en fazla 5 olan mevcut yığma binalar için kullanılan bu hızlı tarama yönteminin temel özelliği, binaların kat sayısına ve sismik tehlike bölgelerine göre hesaplanan taban puanına (TP) ve saha incelemesi sırasında veri toplama formları doldurularak belirlenen olumsuzluk parametrelerine (OP) dayanmasıdır. İncelenen yığma yapıların taşıyıcı sistem türü; donatısız, donatılı, kuşatılmış yığma ya da donatılı panel sistem şeklinde sınıflandırılmaktadır. Yöntemde esas alınan olumsuzluk parametreleri, yığma binanın; malzeme, işçilik, mevcut hasar durumu açısından görünen kalitesi, nizam türüne göre oluşabilecek çarpışma etkisi, planda düzensizlik durumu, düşey yönde duvar boşluk düzeni, duvar miktarı

Çizelge 1. Bina kat sayısına bağlı değişen olumsuzluk parametre puanları

Kat adedi	Olumsuzluk Parametreleri (OP)									
	Yumuşak kat	Duv. boşluk düzensizliği	Duv. miktar yetersizliği	Çarpışma etkisi				Planda düzensizlik	Topografik etki	Yatay hatlı yetersizliği
				Döşeme seviyesi aynı		Döşeme seviyesi farklı				
				Orta	Kenar	Orta	Kenar			
1	0	0	-5	0	-5	-5	-10	-5	-5	-5
2	-5	-5	-5	0	-5	-5	-10	-10	-5	-5
3	-5	-5	-10	0	-5	-5	-10	-10	-5	-5
4	-10	-10	-10	0	-5	-5	-10	-15	-5	-5
5	-10	-10	-15	0	-5	-5	-10	-20	-5	-5

yetersizliği, yumuşak kat, topografik etki (cepheye göre kat farklılığı), düzlem dışı davranış etkisi, yatay hatlı yetersizliği ve çatı malzemesi gibi parametrelerle ifade edilmektedir. Saha incelemesi sırasında uzman tarafından yığma binaların kat sayısına bağlı olarak değişen söz konusu olumsuzluk parametrelerinin her birine verilen puanlar Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Her olumsuzluk parametresinin varlığına bağlı olarak, belli katsayılar (O=0, 1, 2) doğrultusunda taban puanları azaltılmaktadır. Çizelge 2’de verildiği üzere, görünen kaliteye bağlı olumsuzluk parametresinde malzeme ve işçilik kalitesi iyi durumda ise bu değer 0, orta ise 1, kötü ise 2 alınmaktadır. Binada mevcut hasar durumu yok ise bu değer 0, var ise 1 alınmaktadır.

Çizelge 2. Görünen kalite için olumsuzluk parametre değerleri

Malzeme kalitesi (0/1/2)	İşçilik kalitesi (0/1/2)	Mevcut hasar durumu (0/1)
-10	-5	-5

TP hesabında, sismik tehlike bölgelerini belirlemek için metodolojide 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan deprem yer hareketi (DD-2) kullanılır. Zemin türü, yığma yapının coğrafi koordinatı ve deprem düzeyi göz önünde bulundurulup, kısa periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) hesaplanarak tehlike bölgesi belirlenir. Sismik tehlike bölgesi, hesaplanan S_{DS} değeri ve bina kat sayısına bağlı olarak Çizelge 3 kullanılarak her bina için TP elde edilir.

Bu adımların tamamlanmasıyla, mevcut yığma binalar için; bina taban puanları, sahada elde edilen parametre değerleri ve olumsuzluk puanları esas alınarak bina performans puanları Denklem 1 yardımıyla hesaplanır. Denklem 1’de

Çizelge 3. Yığma binalar için taban puanı (TP)

Kat Sayısı	Sismik tehlike bölgesi		
	I $S_{DS} \geq 1.0$	II - III $0.5 \leq S_{DS} < 1.0$	IV $S_{DS} < 0.5$
1	110	120	130
2	100	110	120
3	90	100	110
4	80	90	100
5	70	80	90

YSP ile ifade edilen yapısal sistem puanı yığma yapının türüne bağlı olarak belirlenmekte olup, donatısız ve karma yığma yapılar için 0, kuşatılmış yığma binalar için 30, donatılı yığma binalar için 60 kabul edilmektedir.

$$PP = TP + \sum_{i=1}^n [(O_i) * (OP_i)] + YSP \quad (1)$$

Elde edilen performans puanı (PP) her bina için deprem performansının yeterli olup olmadığını göstermekte olup, PP değeri düşük olanlar güçlendirme için yüksek önceliğe sahip olan binaları simgelemektedir. Bu şekilde, hesaplanan puanların dağılımı kullanılarak binalar arasında risk önceliği belirlenmektedir.

2.2. İkinci Aşama Değerlendirme Yöntemi

İkinci aşama değerlendirme yönteminde, mimari projenin bulunmadığı durumda yapının geometrisi ve taşıyıcı sistem özelliklerini tümüyle içeren rölöve planı hazırlanır. Mimari projenin bulunduğu durumlarda ise binaya ait tüm bilgilerin doğruluğu tespit edilir. İncelenen yığma yapının rölöve planındaki serbest kat adedi, brüt kat alanı, döşeme sistemi ve kalınlığı, ardışık katların döşeme üst kotları referans alınarak ölçülen kat yüksekliği detaylı değerlendirme yöntemindeki hesap adımları için gerekli en temel yapısal parametrelerdir. Rölöve kat planında her iki doğrultudaki yığma duvarların

plandaki yerleşimleri, kalınlıkları ve boyları ile geometrik bilgilerin değerlendirmeye ait hesap adımlarında kullanılması gerektiği için ölçümlerin hassasiyeti oldukça önemlidir.

Detaylı değerlendirme için yapının malzeme ve hasar durumuna ait bilgileri toplanır. Tarihi bölgelerde bulunan yığma yapılarda, duvar kârgir birimler genellikle taş ya da harman tuğlası olmakla birlikte, duvar malzemesinin türü ve dizilişi taşıyıcı duvar yüzeyinde bulunan sıvanın kaldırılması ile saptanır.

İncelenen yapıda deprem riski durumunun belirlenmesi için kullanılan değerlendirme yöntemine ait adımlar Şekil 1’de detaylı olarak belirtilmiştir. Şekil 1’de özetlenen yöntemin ilk adımında, kat planının her iki doğrultusundaki duvar boyu, I_d ’nin kat brüt alanına (A) oranının bina önem katsayısı, I ’nin %20’sini aşıp aşmadığı kontrol edilir:

$$I_d/A > 0.20 \times I(m/m^2) \quad (2)$$

Bina önem katsayısı, I incelenen yapının kullanım amacına göre belirlenir (TDY 2007). Duvar boyu kontrolleri sağlandığı takdirde, tüm yapı için düşey gerilme kontrolü ve plandaki her duvar için kayma gerilmesi kontrolü gerçekleştirilir. Düşey gerilme kontrolü için deprem yönetmeliğinde kârgir birimi türüne göre belirtilen f_{em} duvar basınç emniyet gerilmesi değeri belirlenir. Ancak, gerilme kontrolünde izin verilen duvar basınç emniyet gerilmesi $f_{em,d}$ duvar basınç emniyet gerilmesinin duvar narınlığına ve bilgi düzeyine göre azaltılmış halidir. Duvar malzemelerinin özellikleri, duvar yüzeyinde bulunun sıvanın kaldırılması ile görsel olarak tespit edilmesi durumunda yapıda bilgi düzeyi sınırlı olarak kabul edilir. Bu durumda bilgi düzeyi katsayısı (BDK) 0.90 olarak alınır.

Kayma gerilmeleri kontrolü, kat planında bulunan her bir duvar parçası için ayrı ayrı yapılmaktadır. Denklem 3.’te verilen duvar kayma emniyet gerilmesi τ_{em} , duvar kârgir birimine göre deprem yönetmeliğinde tanımlanan t_0 çatlama emniyet gerilmesi; μ sürtünme katsayısı ve duvarlarda düşey yükler altında meydana gelen basınç gerilmesi σ parametrelerine bağlı olarak hesaplanmaktadır:

$$\tau_{em} = \tau_0 + \mu * \sigma \quad (3)$$

Deprem yönetmeliğinde, yığma yapılar için sürtünme katsayısının 0.5 olarak ($\mu=0.5$) alınabileceği belirtilmiştir. Analizde kullanılan $\tau_{em,d}$ kayma emniyet gerilmesi, (sınırlı bilgi düzeyi için 0.90 olarak alınan) bilgi düzeyi katsayısı ile τ_{em} duvar kayma emniyet gerilmesinin çarpımı ile elde edilir. İncelenen yapının kayma gerilmesi kontrolünde taban kesme kuvveti:

$$V_b = \frac{A_0 * I * W * S(T_1)}{R_a(T_1)} \quad (4)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde, A_0 etkin yer ivme katsayısını; I bina önem katsayısını; W yığma yapının toplam ağırlığını; R_a deprem yükü azaltma katsayısını ve $S(T_1)$ spektral ivme katsayısını simgelemektedir. Taşıyıcı duvarlarda meydana gelen kayma gerilmeleri hesabında, taban kesme kuvveti $S(T_1)=2.5$ ve $R_a(T_1)=2$ değerleri kullanılarak elde edilmektedir (TDY 2007).

Kayma gerilmesi kontrolünün ilk adımında, yapının kütle ve rijitlik merkezleri hesaplanmaktadır. Rijitlik merkezinin kat düzlemindeki koordinatları (x_c ve y_c), x ve y yönünde bulunan her bir duvar parçasına ait kütle merkezi (x_i ve y_i); bulunduğu doğrultudaki kayma rijitliği ($k_{x,i}$ ve $k_{y,i}$); ve enkesit alanı ($A_{x,i}$ ve $A_{y,i}$) parametrelerine bağlı olarak elde edilmektedir. Değerlendirme yöntemine ait hesap akış şemasının bir sonraki adımında, kütle merkezi ve rijitlik merkezi arasındaki farka bağlı olarak elde edilen J burulma rijitliği hesabı yer almaktadır. Bu iki merkez arasındaki farkın büyük olması, hesaptaki M_x ve M_y burulma etkilerinin artmasına; her bir duvar parçası üzerinde ilave kesme kuvvetlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. x ve y yönünde konumlandırılmış her bir duvar için $V_{x,i}$ ve $V_{y,i}$ kesme kuvveti değerleri, tersinir burulma momentleri göz önünde bulundurularak hesaplanır. Bu durumda, her bir duvar parçası için iki adet kayma gerilmesi elde edilmiş olur. Değerlendirmenin son adımında, tüm yükleme durumları için her bir duvar parçasına ait kayma gerilmesi değerleri:

$$\tau_{x,i} \leq \tau_{em,d} \quad (5a)$$

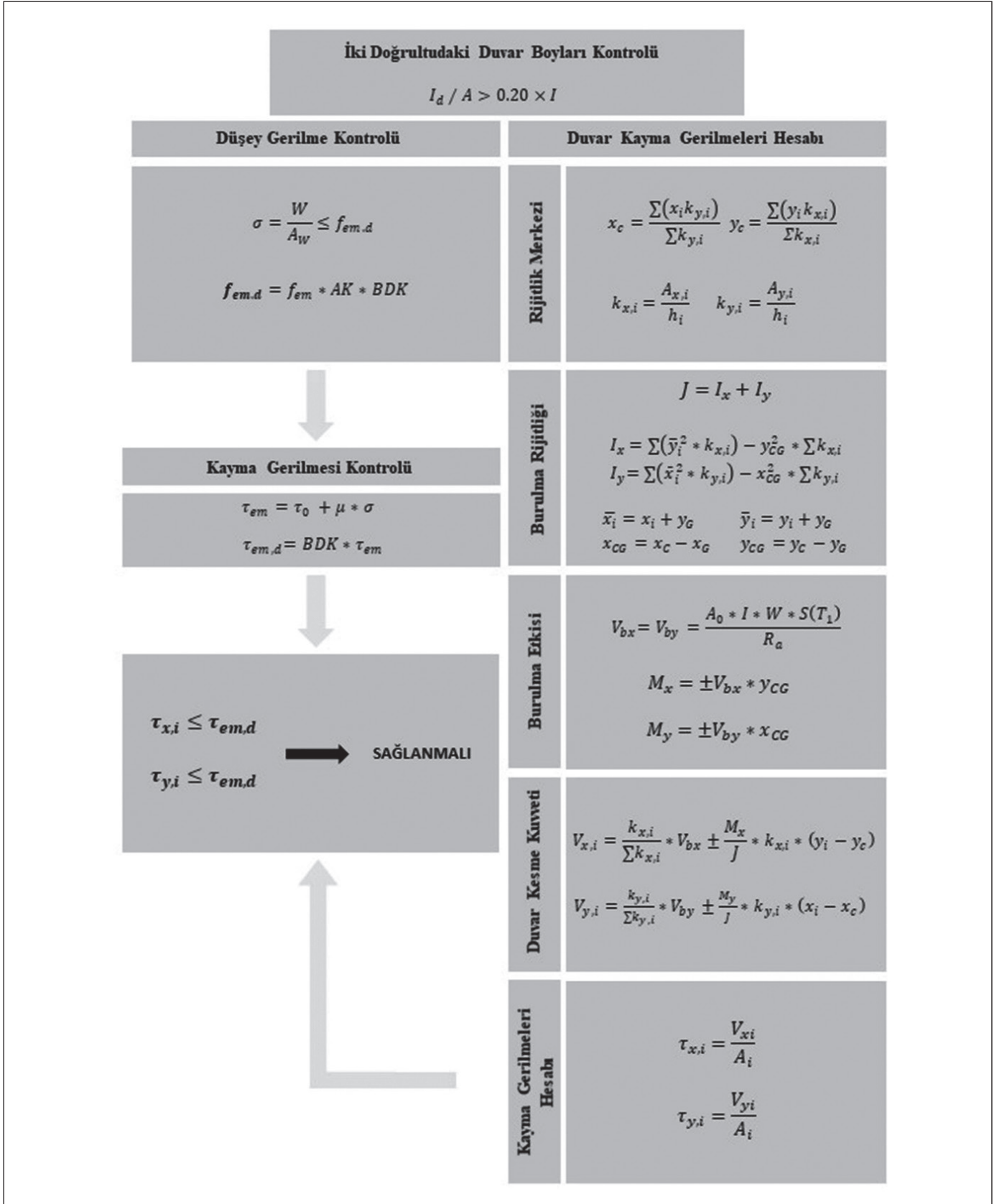
$$\tau_{y,i} \leq \tau_{em,d} \quad (5b)$$

koşullarını sağlıyor ise, incelenen yapı ikinci aşama değerlendirme yöntemine göre “güvenli” kabul edilecektir.

3. Bulgular

3.1. Birinci Aşama Değerlendirme Yöntemi ile Bölgesel Risk Dağılımının Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında, İstanbul’un tarihi bir bölgesinde bulunan bir grup yığma yapının bölgesel deprem risk dağılımı birinci aşama değerlendirme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada yer alan 213 adet yığma yapı, 19. yüzyılın son döneminde inşa edilmiş olup, mimari tasarım ve yapı tekniği açısından döneme ait ortak bir yapı tipolojisini temsil etmektedir (Öncel 2010). Örnek yapı grubunun bulunduğu tarihi koruma alanının, yapılaşmanın oldukça sık ve yoğun olduğu eğimli sokaklardan; çoğunlukla

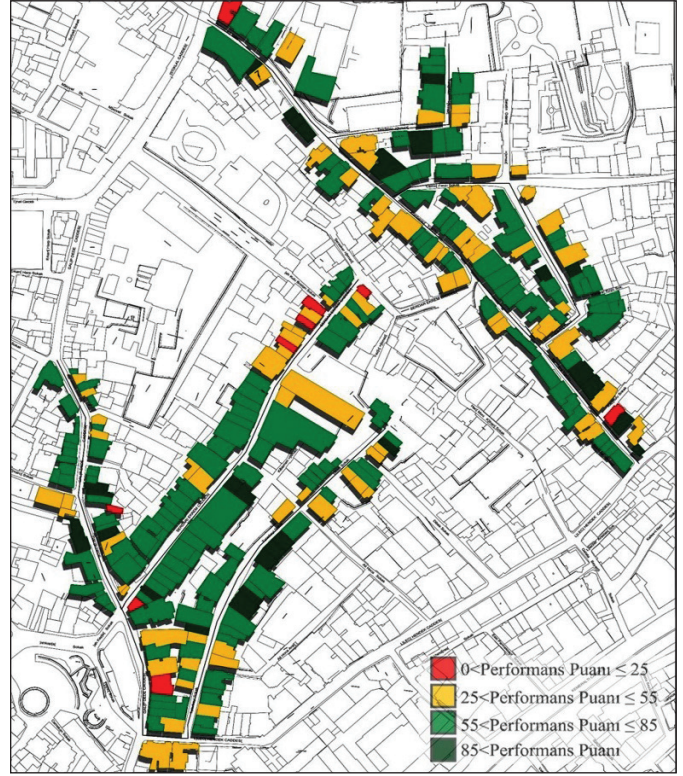


Şekil 1. İkinci aşama değerlendirme yöntemi için hesap adımları.

1 ile 6 kat yüksekliğinde, bir ya da iki cepheleri ortak bitişik nizam yapılardan oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada incelenen yapıların tümü, bitişik nizam olarak konumlandırılmış, taşıyıcı sistemi donatısız yığma olarak tasarlanmış, çelik putreller ile desteklenen volta döşeme sistemine sahip yığma binalardan oluşmaktadır. Yapıların inşa edildiği zemin türü ise ZB olarak tespit edilmiştir (JICA 2002).

Yapıların birinci aşama değerlendirme yöntemi ile deprem riskinin ve öncelik grubunun belirlenmesi sürecinde yürütülen saha çalışmaları ve toplanan veriler, yapı stoğunun %54'ünün 5 katlı, %24'ünün 4 katlı; %12'sinin 3 katlı; %8'inin 2 katlı ve %1'inin 1 katlı olduğunu göstermektedir. Yapılan saha çalışmaları sonucu, yapı grubunun önemli kısmında yumuşak kat (%34), yetersiz görünen kalite (%24) ve planda düzensizlik durumu (%22) bulunduğu tespit edilmiştir. Bu aşamada, incelenen her yapı için performans puanı (PP), saha çalışmalarından toplanan bina bilgileri ve tespit edilen olumsuzluk parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan PP dağılımı dikkate alınarak değerlendirilen yapılar, deprem riski öncelik seviyesine göre sınıflandırılmıştır. Bu şekilde, deprem riski öncelik seviyeleri, PP aralıklarına göre $0 \leq PP \leq 25$ için yüksek riskli, $25 < PP \leq 55$ için orta riskli; $55 < PP \leq 85$ için düşük riskli; $PS > 85$ için çok düşük riskli olarak tanımlanmıştır.

Değerlendirilen yığma yapıların performans puanlarına göre bölgesel dağılımları Şekil 2.'de detaylı olarak gösterilmiştir. Şekil 2'deki bölgesel risk dağılım haritası detaylı olarak incelendiğinde, incelenen yapıların %4'ü yüksek riskli; %29'u orta riskli; %54'ü düşük riskli; %13'ü ise çok düşük riskli olarak sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde, yüksek riskli yapıların tümünün 5 katlı olduğu ve çoğunluğunda planda düzensizlik ve yumuşak kat durumunun bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda, haritada kırmızı renge sahip deprem riski yüksek olarak sınıflandırılan yapıların, güncel deprem yönetmeliğimizde tarif edilen detaylı hesap yöntemleri ile birincil sırada değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan birinci aşama değerlendirme yöntemi, kent ölçeğinde deprem riskine karşı hazırlık ve planlama süreçlerinde, riskli olabilecek yığma binaların bölgesel dağılımının elde edilmesi ve buna bağlı afet yönetimi yetkililerinin detaylı değerlendirmeye ihtiyaç duyulan binalarda önceliklendirme kararının verilmesine imkan sağlamaktadır. Dolayısıyla bu aşamada elde edilen sonuçlar, söz konusu bölgedeki yığma yapıların değerlendirilmesi için kaynak niteliğindedir.



Şekil 2. İncelenen yapıların performans puanı dağılımları.

3.2. İkinci Aşama Değerlendirme Yöntemi ile Örnek Yiğma Yapıların İncelenmesi

Bu çalışma kapsamında, birinci aşama değerlendirme yöntemi ile İstanbul'un kültürel miras ve tarihi değeri olan bir bölgesinde bulunan eski yığma yapının bölgesel deprem riski dağılımı elde edilmiştir. Birinci aşama değerlendirme yöntemi, yerel yönetimlerin afete hazırlık ve planlama süreçlerinde bölgesel olarak yapıların deprem güvenliğinin detaylı şekilde değerlendirme ihtiyacının belirlenmesi ve riskli olabilecek binaların öncelik durumunun tespitinde son derece hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Bölüm 2.1'de tarif edilen ikinci aşama değerlendirme yöntemi ise incelen binayla ilgili daha kesin ve kapsamlı bilgilere ihtiyaç duyulduğu bina bazında uygulanan bir hesap yöntemidir. Özellikle, yığma yapının kat yüksekliği; brüt kat alanı; taşıyıcı duvarlarda kullanılan malzeme türü; duvarların kat planındaki konumları ve en kesit boyutları gibi yapısal bilgiler, kullanılan değerlendirme yönteminin en önemli parametreleridir.

Çalışmanın bu bölümünde, deprem riskinin bölgesel olarak belirlendiği çalışma alanında bulunan üç tipik yığma yapı örneği, ikinci aşama değerlendirme yöntemi kullanılarak

Çizelge 4. Performans puanına göre sınıflandırılan yapılarda tespit edilen olumsuzluk parametreleri

Performans Puanı	Planda Düzensizlik	Mevcut Hasar	Duvar Miktarı Yetersizliği	Düşey Boşluk Düzensizliği	Cepheye Göre Kat Farklılığı	Yumuşak Kat
$0 < PP \leq 25$	8	4	2	4	5	7
$25 < PP \leq 55$	32	26	27	7	20	27
$55 < PP \leq 85$	6	17	6	9	3	30
$85 < PP$	1	5	1	0	0	8
Toplam Bina	47	52	36	20	28	72
% Bina	22	24	17	9	13	34

YB-I	YB-II	YB-III
<p>Yapım Tarihi : 1895-1905 Kullanım amacı : Hotel-Yenileme Yapım sistemi : Yiğma yapı Duvar birimi : Taş ve harman tuğlası Döşeme türü : Volta döşeme Kat adedi : N = 5 Kat yüksekliği : $H_N = 3.00$ m Brüt kat alanı : A = 90.08 m²</p>	<p>Yapım Tarihi : 1895-1905 Kullanım amacı : Apartman Yapım sistemi : Yiğma yapı Duvar birimi : Taş ve harman tuğlası Döşeme türü : Volta döşeme Kat adedi : N = 4 Kat yüksekliği : $H_N = 2.90$ m Brüt kat alanı : A = 196.10 m²</p>	<p>Yapım Tarihi : 1874-1895 Kullanım amacı : Apartman Yapım sistemi : Yiğma yapı Duvar birimi : Taş ve harman tuğlası Döşeme türü : Volta döşeme Kat adedi : N = 6 Kat yüksekliği : $H_N = 3.00$ m Brüt kat alanı : A = 192.30 m²</p>

Şekil 3. İncelenen binalara ait kat planları ve yapısal özellikler.

deprem güvenliği açısından analiz edilmiştir. Seçilen üç örnek yiğma yapı, 19. yüzyılın son dönemlerinde benzer yapım teknikleri ve malzeme türü kullanılarak inşa edilmiş olup analizlerde kullanılan kat planları, tarihi değere sahip bölgeyle ilgili araştırmalardan temin edilmiştir (Öncel 2010, Batur 2007).

Şekil 3'te, incelenen örnek binalara ait kat planlarına ve yapısal özelliklere yer verilmiştir. Dönemin kagir yapım ustaları tarafından inşa edilen örnek binalarda, taşıyıcı duvarların yapımında harman tuğlasının kullanılmış olduğu

ve kat düzlemlerinin volta döşeme olarak teşkil edildiği gözlemlenmiştir. İkinci aşama değerlendirme yönteminin kayma gerilmesi kontrolü hesap adımında kullanılmak üzere örnek yapıların kat planları üzerinde x ve y yönü duvar birimleri isimlendirilmiştir.

YB-I, YB-II ve YB-II olarak isimlendirilen söz konusu üç yiğma binanın her iki yöndeki duvar boyu kontrolü ve düşey yükler altında meydana gerilen basınç gerilmeleri kontrolüne ait hesap bilgileri ve sonuçları Çizelge 5'te özetlenmiştir. Örnek yapılarda hesap sonuçları incelendiğinde, bina kat

Çizelge 5. İncelenen binalarda duvar boyu ve düşey gerilme kontrolü sonuçları

		YB-I	YB-II	YB-III
Brüt kat alanı	A (m ²)	90.08 m ²	196.10 m ²	92.30 m ²
x yönü duvar enkesit alanı	A _{wX} (m ²)	6.38 m ²	18.56 m ²	35.69 m ²
y yönü duvar enkesit alanı	A _{wY} (m ²)	11.63 m ²	33.52 m ²	31.91 m ²
x yönü duvar boyu	I _{dx} (m)	23.05 m	23.05 m	23.05 m
y yönü duvar boyu	I _{dy} (m)	38.45 m	38.45 m	38.45 m
x ve y yönü duvar boyu kontrolü				
I _{dx} /A > 0.20 × I (m/m ²)		0.26 > 0.20 (m/m ²)	0.24 > 0.20 (m/m ²)	0.36 > 0.20 (m/m ²)
I _{dy} /A > 0.20 × I (m/m ²)		0.43 > 0.20 (m/m ²)	0.35 > 0.20 (m/m ²)	0.33 > 0.20 (m/m ²)
Düşey gerilme kontrolü, σ ≤ f _{em,d}		0.225 MPa ≤ 0.605 MPa	0.132 MPa ≤ 0.605 MPa	0.157 MPa ≤ 0.605 MPa

planının her iki doğrultusunda duvar boyu kontrollerinin sağladığı görülmektedir. Aynı zamanda, incelenen YB-I, YB-II ve YB-III yapılarının düşey yükler altında hesaplanan duvar basınç gerilmelerinin, izin verilen duvar basınç emniyet gerilme değerini aşmadığı tespit edilmiştir.

Değerlendirmenin son adımında, deprem yüklerinin yapının kritik katındaki x ve y yönü duvar birimlerinde oluşturduğu kayma gerilmeleri, izin verilen sınır değer ile karşılaştırılmıştır. Her bir duvar parçalarına etkiyen kesme kuvveti hesaplanırken, tersinir burulma momentlerinden oluşan ilave etkiler göz önünde bulundurulmuştur. YB-I, YB-II ve YB-III örnek yapılarının kritik katlarında bulunan duvar birimlerinde oluşan kayma gerilmeleri Şekil 4'te gösterilmektedir. Sayısal sonuçlar incelendiğinde, her üç yapının kayma gerilmesi değerleri izin verilen sınır değerleri aşmadığı için ikinci aşama değerlendirme yöntemine göre binaların "güvenli" olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, deprem etkisi altında YB-I ve YB-II'ye ait x yönü duvarlarının daha fazla zorlandığı ve izin verilen kayma emniyet gerilmesine belirgin şekilde daha yakın olduğu tespit edilmiştir. Örnek yapıların kat planları karşılaştırıldığında, YB-III'ten farklı olarak YB-I ve YB-II'nin x yönü duvar birimlerinin en kesit alanlarının diğer doğrultuda bulunan duvarlara göre daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, yiğma binaların deprem güvenliğini büyük ölçüde belirleyen taşıyıcı duvar kalınlığının, boyunun ve kat planındaki yerleşiminin, söz konusu değerlendirme yönteminin de en temel hesap parametreleri olduğu görülmüştür.

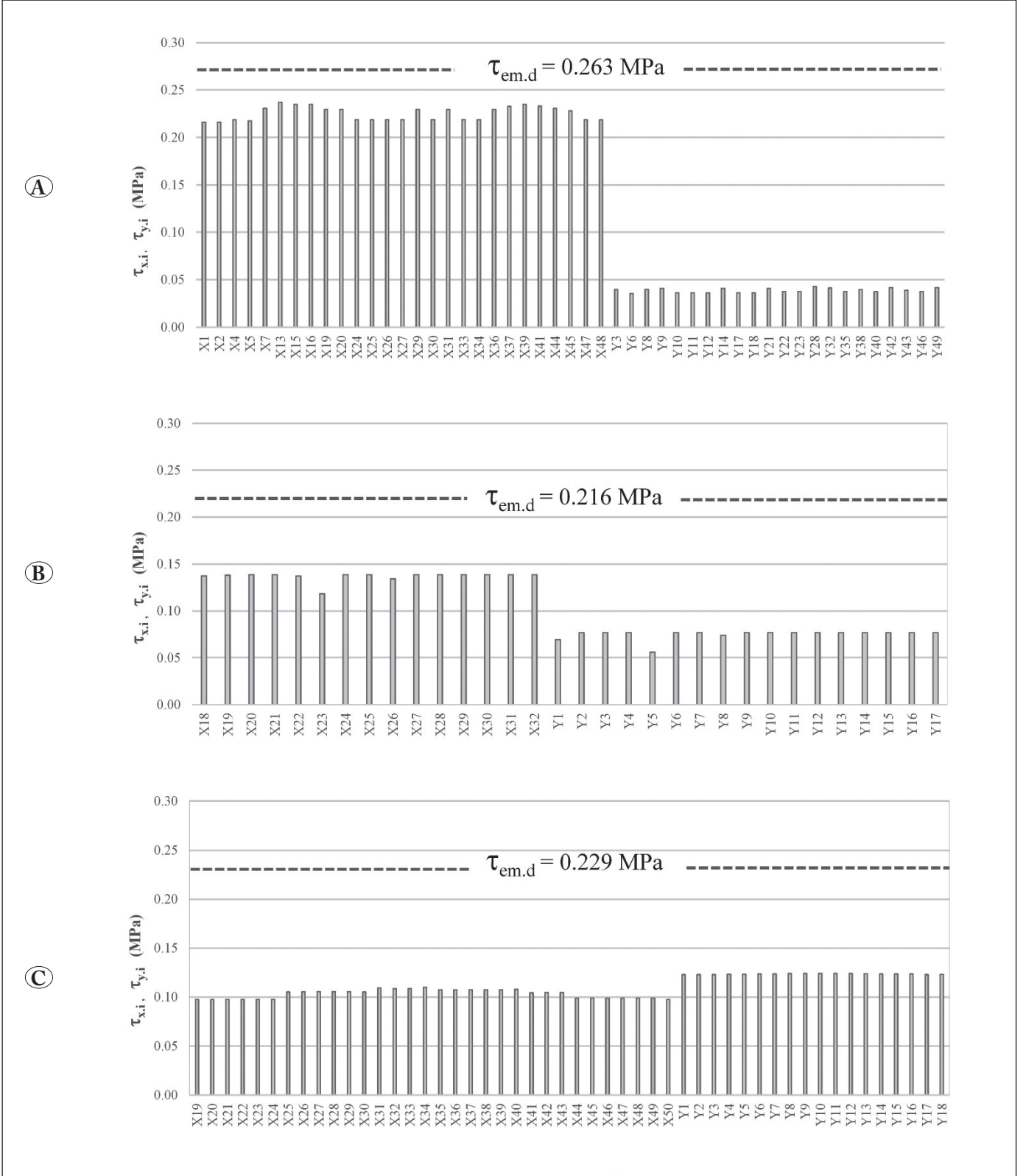
4. Tartışma

Deprem öncesi ve sonrası afet yönetimi özellikle yüksek sismik risk altındaki şehirler için çok önemlidir. Dolayısıyla, depreme hazırlıklı olmak için, bu şehirlerde hasar görebilir-

liği yüksek ve güçlendirilmeye öncelik verilmesi gereken risk düzeyi yüksek binaların belirlenmesi gerekmektedir. Çeşitli yapı türleri içerisinde, özellikle tarihi bölgelerdeki kültürel miras niteliğindeki yiğma binalar için güçlendirme faaliyetlerinin önceliklendirilmesi için hızlı ve güvenilir verilerle bu kararların verilebilmesi çok önemlidir. Tarihi yapıların korunmasının ve gelecek nesillere aktarılmasının önemi de düşünüldüğünde, iyi organize edilmiş bir saha araştırmasıyla mevcut yiğma yapılarda gerekli analizlerin yapılarak, tarihi bölgelerdeki binalar için hızlı ve doğru karar verilmesini sağlayan bir öncelik stratejisi oluşturulmalıdır.

Bu çalışmada, RBTE-2013 yönetmeliğinin yiğma yapıların aşamalı değerlendirilmesi için verdiği esaslara dayanarak, İstanbul'un tarihi bölgelerinden Galata'daki yiğma yapıların, sismik açıdan birinci ve ikinci aşama değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde, söz konusu tarihi merkezdeki 213 adet yiğma bina için, hızlı taramayla toplanan saha verilerine dayanarak birinci aşama değerlendirme yöntemi tamamlanmış ve bölgesel risk dağılım haritası elde edilmiştir. Bu aşamada bölgedeki binaların sismik öncelik dağılımını anlamak için hesaplanan performans puanları esas alınmıştır. Elde edilen sonuçlar bölgedeki yiğma yapıların öncelikli risk düzeyini belirleyen ilk çalışmalardan biri olması açısından önem arz etmektedir.

Birinci aşama yöntemi esas alan bir diğer çalışmada, yiğma yapılarda cephedeki taşıyıcı duvarlarda bulunan pencere ve kapı türü boşlukların duvar sürekliliğini etkilediği; boşluk oranına bağlı hesaplanan duvar miktarı yetersizliği parametresinin yapının performans puanını önemli ölçüde değiştirdiği belirtilmektedir (Karaşin vd. 2016). Bu çalışmanın sonuçları incelendiğinde, benzer şekilde, görsel tarama sırasında tespit edilen duvar miktarı yetersizliğinin yapının depreme karşı zarar görebilirliğini ifade eden performans



Şekil 4. x ve y yönü duvarlar için kayma gerilmeleri kontrolü. A) YB-I; B) YB-II; C) YB-III.

puanında düşüşe sebep olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, düzenli ve düzensiz yığma duvarların deprem davranışı üzerine yapılan bir çalışmada, duvar düzleminde bulunan düzensiz boşlukların yapı sistemine ait yük akışını ve deprem performansını olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir (Siano vd. 2017).

Tarihi bölgelerde depreme karşı bölgesel risk dağılımını konu alan çalışmalarda elde edilen sonuçlar, asimetrik kat planına sahip yığma yapıların deprem güvenliğinin burulma etkisine bağlı olarak olumsuz yönde etkilendiğini göstermektedir (Bosco vd. 2015, Formisano vd. 2015, Jiménez vd. 2018). Benzer şekilde, bu çalışmada da planda düzensizlik olumsuzluk parametresinin bulunduğu yapılarda, deprem risk düzeyinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise, bölgedeki üç adet yığma bina örnek olarak alınarak, ikinci aşama değerlendirme yönteminin takip edilmesiyle, uygulamalı karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bu kısmında elde edilen sonuçlar, yığma yapıyı oluşturan duvarların kat planındaki yerleşiminin ve en kesit özelliklerinin değerlendirme yöntemdeki en belirleyici temel hesap parametreleri olduğunu açıkça göstermiştir.

Yapısal ön değerlendirme yaklaşımı olarak ikinci aşama değerlendirme yönteminde, hızlı tarama yöntemi ile karşılaştırıldığında incelenen yapı ile ilgili daha ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyulur. Yapıya ait geometrik bilgilerin ve malzeme özelliklerinin kullanıldığı yöntemin uygulanması ile deprem güvenliği açısından ayrıntılı analiz yöntemlerine göre daha hızlı çözüme ulaşılır. Bu sebeple, birinci adımda hızlı tarama tekniği ile deprem riski açısından öncelikli yapıların belirlenmesi ve ikinci aşama değerlendirme yönteminin riskli gruptaki binalarda uygulanması, afete hazırlık ve yapısal güçlendirme çalışmalarının planlanmasında önemli katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada çok sayıda tarihi yığma yapıya sahip Galata bölgesi için yerel ölçekte deprem riskine sahip binalar sınıflandırılarak elde edilen sonuçlar, deprem hasar senaryolarına doğrudan hizmet edebilir. Yine bu çalışmada elde edilen bölgesel sismik risk dağılım haritası göz önünde bulundurularak risk barındıran binaların daha ayrıntılı değerlendirmesi için başka çalışmalara bir temel sağlayabilir.

4. Kaynaklar

- Achs, G., Adam C. 2012.** Rapid seismic evaluation of historic brick-masonry buildings in Vienna (Austria) based on visual screening. *B. Earthq. Eng.*, 10(6):1833–56. doi:10.1007/s10518-012-9376-5.
- AFAD. Türkiye deprem haritaları interaktif web uygulaması 2020.** <https://tdth.afad.gov.tr/>
- Aldemir, A., Guvenir, E., Sahmaran, M. 2020.** Rapid screening method for the determination of regional risk distribution of masonry structures. *Struct. Saf.*, 85(April): 101959. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2020.101959>
- Batur, A. 2007.** Galata and Pera 1 A short history, urban development architecture and today. *ARI Bulletin of the Istanbul Technical University*, 55(1):1–10.
- Bosco, M., Ferrara, GAF., Ghersi, A., Marinoc, EM., Rossi, PP. 2015.** Seismic assessment of existing R.C. framed structures with in-plan irregularity by nonlinear static methods. *Earthq. Struct.*, 8: 401–422. <https://doi.org/10.12989/eas.2015.8.2.401>
- Brando, G., De Matteis, G., Spacone, E. 2017.** Predictive model for the seismic vulnerability assessment of small historic centres: Application to the inner Abruzzi Region in Italy. *Eng. Struct.*, 153: 81–96. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.10.013>
- Brando, G., Cocco, G., Mazzanti, C., Peruch, M., Spacone, E., Alfaro, C., Tarque, N. 2019.** Structural Survey and Empirical Seismic Vulnerability Assessment of Dwellings in the Historical Centre of Cusco, Peru. *Int. J. Archit Herit*, 00(00): 1–29. <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1685022>
- Chieffo, N., Clementi, F., Formisano, A., Lenci, S. 2019.** Comparative fragility methods for seismic assessment of masonry buildings located in Muccia (Italy). *J. Build. Eng.*, 25(April). <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100813>
- D'Ayala, DF., Paganoni S. 2011.** Assessment and analysis of damage in L'Aquila Historic City Centre after 6th April 2009, *B. Earthq. Eng.*, 9(1):81–104. doi:10.1007/s10518-010-9224-4.
- DBYBHY, 2007.** Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik. Ankara, Türkiye.
- FEMA P-154 2015.** Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazard: A handbook.
- Ferreira, TM., Mendes, N., Silva, R. 2019.** Multiscale seismic vulnerability assessment and retrofit of existing masonry buildings. *Bldg.*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/buildings9040091>
- Formisano, A., Florio G., Landolfo R., Mazzolani, FM. 2015.** Numerical Calibration of an Easy Method for Seismic Behaviour Assessment on Large Scale of Masonry Building Aggregates. *Adv. Eng. Softw.*, 80(C):116–38. doi:10.1016/j.advengsoft.2014.09.013.

- Goded, T., Lewis, A., & Stirling, M. 2018.** Seismic vulnerability scenarios of Unreinforced Masonry churches in New Zealand. *B. Earthq. Eng.*, 16(9): 3957–3999. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0351-7>
- Guardiola-Víllora, A., Basset-Salom, L. 2019.** Earthquake risk scenarios of the Ciutat Vella District in Valencia, Spain. *B. Earthq. Eng.*, 18(3): 1-40. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00745-7>
- Hannewald, P., Michel, C., Lestuzzi, P., Crowley, H., Pinguet, J., Fäh, D. 2020.** Development and validation of simplified mechanics-based capacity curves for scenario-based risk assessment of school buildings in Basel. *Eng. Struct.*, 209(February), 110290. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110290>
- Japan International Cooperation Agency (JICA) 2002.** Istanbul Metropolitan Municipality (IMM) 2002. The study on a disaster prevention/mitigation basic plan in İstanbul including seismic microzonation in the Republic of Turkey. Final Report.
- Jiménez, B., Pelà, L., Hurtado, M. 2018.** Building survey forms for heterogeneous urban areas in seismically hazardous zones. Application to the historical center of Valparaíso, Chile. *Int. J. Archit Herit*, 12(7–8): 1076–1111. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1503370>
- JPDPA 2001.** Seismic evaluation and retrofit. The Japan Building Disaster Prevention Association, Tokyo.
- Karaşin, İB., Eren B., Işık E. 2016.** Mevcut bir yiğma yapının farklı hızlı değerlendirme yöntemleri ile değerlendirilmesi, *DUFED*, 5(2): 70-76.
- NRC/IRC 1992.** Manual for screening of buildings for seismic investigation. National Research Council of Canada, Institute for Research in Construction, Ottawa.
- NZSEE 2006.** Assessment and improvement of the structural performance of buildings in earthquakes, New Zealand Society for Earthquake Engineering, Wellington, New Zealand.
- Öncel, AD. 2010.** Apartman: Galata'da Yeni Bir Konut Tipi. Kitap Yayınevi. İstanbul, 422 s.
- RBTE 2013.** Riskli yapıların tespit edilmesine ilişkin esaslar. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Siano, R., Sepe V., Camata G., Spacone, E., Roca, P., Pelà L. 2017.** Analysis of the performance in the linear field of equivalent-frame models for regular and irregular masonry walls. *Eng. Struct.* 145:190–210. doi:10.1016/j.engstruct.2017.05.017.
- Vatan, M., Arun G. 2013.** K Vatan ve Arun, Anıtsal yiğma binalarda ön-değerlendirme yöntemine dayalı risk tespiti. *Megaron*, 2(7): 82-93.
- Zucconi, M., Ferlito, R., Sorrentino, L. 2018.** Simplified survey form of unreinforced masonry buildings calibrated on data from the 2009 L'Aquila earthquake. *B. Earthq. Eng.*, 16: 2877-2911. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0283-7>