SİSMİK HASAR OLASILIKLARININ ALTERNATİF YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ: MARMARA BÖLGESİ İÇİN BİR UYGULAMA

M. Bilal[1], M.A. Erberik[2] ve A. Askan[2]

[1] *Doktora öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[2] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
Email: altug@metu.edu.tr

ÖZET:

Depremler yüksek hasar potansiyeli taşıyan doğal afetlerdir. Ancak bu afetlerden doğacak kayıpları çeşitli önlemler ile azaltmak mümkündür. Sismik kayıpların azaltılması, olası hasarların tanımlanması ve belirli bir mertebe derecesinde belirlenmesi ile başlar. Tüm dünyada hem tasarım biçimleri hem yapım kusurları bölgesel özellikler gösterdiği için, hasar belirlemeleri bölgesel düzeyde gerçekleştirilmelidir. Hasar olasılıklarının elde edilmesinde ampirik, analitik ve hibrid yaklaşımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Ampirik yöntemde hasar oranları, depremler sonrasında toparlanan hasar veritabanlarından çıkarılmaktadır. Analitik yöntem ise temel olarak yapıların detaylı olarak modellenmesine ve dayanım ile sismik kuvvet parametrelerini esas alan güvenirlik analizlerine dayanır.

Bu çalışmada, önce betonarme ve yığma yapılar için bölgesel ampirik Hasar Olasılık Matrisleri (HOM) oluşturulmuştur. Girdi verisi olarak 17 Ağustos 1999 Kocaeli (Mw=7.4) depreminin detaylı hasar veritabanı kullanılmıştır. Hasar olasılık matrisleri Sakarya, Bolu ve Kocaeli'ndeki betonarme ve yığma yapılar için hesaplanmıştır. İl merkezlerinde elde edilen ortalama hasar oranları, aynı tip yapı sınıfları için çıkarılmış olan analitik kırılganlık eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar bir çok yapı sınıfı ve bölge için aynı büyüklük mertebesinde bulunmuştur; olmadığı durumlarda ise farklar açıklanmıştır. Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre, hasar olasılıkları alternatif yöntemlerle elde edilmeli ve mümkün olduğu durumlarda hibrid hasar modelleri kurulmalıdır.

ANAHTAR KELİMELER: Hasar Olasılık Matrisleri (HOM), kırılganlık eğrileri, betonarme yapılar, yığma binalar, hasar oranları.

1. GİRİŞ

Depremler yüksek hasar potansiyeli taşıyan doğal afetlerdir. Günümüzde sismik hasarların azaltılması için tüm dünyada çeşitli önlemler alınmaktadır. Hasar azaltma konusundaki ilk adım, farklı seviyedeki deprem etkileri altında oluşabilecek potansiyel hasarların belirlenmesidir. Hasar oranlarının belirlenmesi, içerdiği farklı türde belirsizliklerden ötürü doğal olarak olasılıksal bir çerçevede ele alınması gereken bir problemdir. Sismik hasar oranları belirlemede kullanılan en yaygın yaklaşım yapı kırılganlık eğrileridir. Kırılganlık, bir sistemin farklı deprem etki seviyeleri altında belirli limit durumlara gelme olasılığını ifade eder (Kafalı ve Grigouri, 2004). Yapı kırılganlıkları, çoğunlukla kümülatif hasar olasılığı bilgisi içeren sürekli eğrilerle ya da farklı hasar durumlarına ait tekil bilgi içeren hasar olasılık matrisleri ile ifade edilir. Hasar olasılık matrisleri doğrudan ortalama hasar oranları ve kayıpları ifade edebildikleri için deprem mühendisliğinden sigorta sektörüne uzanan birçok alanda kullanılmaktadırlar.

Hasar olasılıklarının belirlenmesi için kullanılan dört temel yaklaşım: ampirik, analitik, subjektif ve hibrid yaklaşımlardır. Ampirik metot, depremlerden sonra elde edilen verilerin istatistik analizlerinden hasar oranlarını belirlemeye dayanır. Bu yaklaşım, doğrudan sahadan alınan verilere dayandığı için bir çok durumda gerçekçi sonuçlar vermektedir ancak bu yöntemin doğruluğu depremler sonrası toplanan verinin miktarı ve kalitesine bağlıdır. Analitik yöntem, temelde yapıların farklı yer hareketleri altında dinamik tepkilerinin modellenmesine dayanır. Bu yöntemin doğruluğu ise kullanılan modelin ve analiz yönteminin detayları ile sınırlıdır. Subjektif metot, uzmanların görüşlerine dayanan ve çoğunlukla anketler yoluyla toplanan hasar olasılıklarını içerir. Hibrid yöntem ise ampirik, analitik ve subjektif yöntemlerin farklı deprem seviyeleri ya da yapı tipleri için kombinasyonundan oluşan bir yaklaşımdır.

Farklı çalışmalarda yukarıda tarif edilmiş olan alternatif yaklaşımlar kullanılsa da, yöntemlerin detaylı karşılaştırması hala üzerinde çalışılması gereken bir problemdir. Bu çalışmada, ampirik ve analitik yaklaşımlar Türkiye'den elde edilmiş hasar verileri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, öncelikle 17 Ağustos 1999 hasar veritabanı kullanılarak bölgesel hasar olasılık matrisleri oluşturulmuş; bu matrisler analitik yöntemle elde edilen hasar olasılıkları ile karşılaştırılmıştır. Bu ve benzeri çalışmalar, bölgesel tehlike ve risklerin gerçekçi olarak değerlendirilmesini sağlayacakları için deprem zararlarını azaltma açısından önem taşımaktadırlar.

2. YÖNTEM

Bu kısımda, söz konusu çalışmada sunulan hasar oranlarını hesaplamak için kullanılmış olan ampirik ve analitik yöntemler açıklanacaktır. Yöntemler açıklanmadan önce, hasar olasılık matrisleri kısaca sunulmuştur.

2.1. Hasar Olasılık Matrisleri

Hasar Olasılık Matrisleri (HOM), ilk kez Whitman (1973) tarafından 1971 San Fernando depreminden sonra çok katlı yapılardaki hasar oranlarını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu matrisin bir elemanı Pr(HD,I), herhangi bir deprem şiddetine (I) maruz kalan yapı tipinde belirli bir Hasar Durumu (HD)'nun meydana gelme olasılığını ifade eder. Bu matrislerde herhangi bir şiddet (I) kolonunun altındaki olasılıkların toplamı doğal olarak 1.0 değerine eşittir. Tablo 1, örnek bir hasar olasılık matrisini göstermektedir.

Tablo 1. Örnek bir hasar olasılık matrisi

Hasar Durumu (HD)	**Merkezi Hasar Oranı (%)**	**MMI=V**	**MMI=VI**	**MMI=VII**	**MMI=VIII**	**MMI=IX**
Hasarsız	0	**Hasar Olasılıkları, Pr(HD,I)**				
Az Hasarlı	5					
Orta Hasarlı	30					
Ağır Hasarlı	70					
Yıkık	100					

Bu matrislerde yer alan hasar durumları (HD) mühendisler ya da araştırmacılar tarafından belirlenen farklı hasar seviyelerinin sözlü ifadeleridir. Hasar durumlarını sayısal olarak ifade etmek için kullanılabilecek hasar oranı (HO) ise herhangi bir yapının tamir masrafının yapının yeniden inşaa masrafına oranıdır ve değeri 0%-100% arasında değişir. Ancak pratikte yalnızca birkaç tane ayrı grup hasar durumu olduğu için her hasar durumunu yaklaşık olarak tek bir rakamla göstermek amacıyla Merkezi Hasar Oranları (MHO) tanımlanmıştır. Şekil 1'deki merkezi hasar oranları Gürpınar vd. (1978)'den alınmıştır.

Bazı durumlarda tüm matrisi kullanmak yerine, belirli bir deprem şiddeti altında yapıların durumunu tek bir hasar oranı ile göstermek gereklidir. Bu amaçla, Ortalama Hasar Oranı (OHO) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$OHO\ (I) = \sum_{HD} \Pr(HD, I) * MHO(HD) \tag{1}$$

Bu denklemde OHO(I): Deprem şiddeti I'ya karşılık gelen Ortalama Hasar Oranı'nı,
Pr(HD,I): İncelenen yapı grubunda I şiddetinde bir deprem etkisi altında HD hasar durumunun gözlemlenme olasılığını,
MHO(HD): Hasar durumu HD'ye karşılık gelen Merkezi Hasar Oranını ifade etmektedir. Literatürdeki hasar olasılık matrislerinin birçoğunda deprem etkileri değiştirilmiş Mercalli şiddet ölçeği (MMI) cinsinden ifade edilmiştir. Bu çalışmada da benzer biçimde MMI temel deprem şiddet birimi olarak kullanılmıştır.

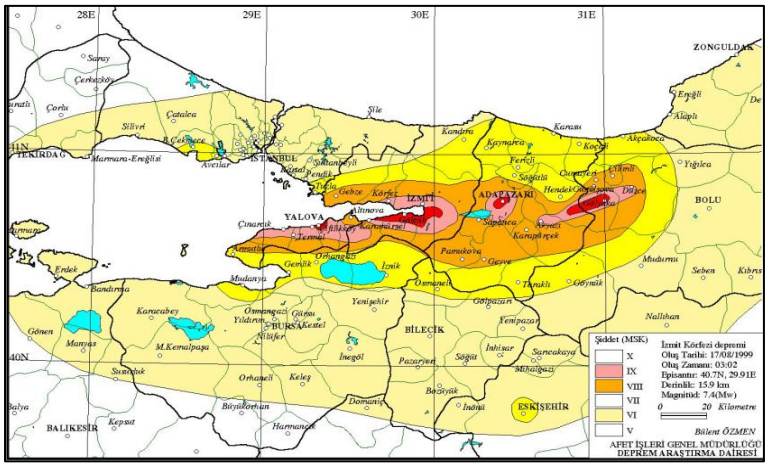
2.2. Hasar Olasılık Matrisleri için Ampirik Yöntem

Ampirik yaklaşımda, hasar olasılık matrisinin elemanları, incelenen hasar veritabanındaki farklı hasar durumlarının frekans analizi ile elde edilir. Tablo 1'de sunulan HOM'un her bir elemanı Pr(HD,I), ampirik yöntemde aşağıdaki gibi hesaplanır (Whitman, 1973):

$$\Pr(\mathrm{HD}, \mathrm{I}) = \frac{\mathrm{N}(\mathrm{HD}, \mathrm{I})}{\mathrm{N}(\mathrm{I})} \tag{2}$$

Bu denklemde N(I), I şiddetinde deprem etkilerine maruz kalmış toplam yapı sayısını, N(HD,I) ise bu etkiler altında HD hasar durumunda bulunan yapı sayısını ifade etmektedir.

Bu çalışmada ampirik yöntemle bölgesel hasar olasılık matrislerinin elde edilmesinde veri olarak 17 Ağustos 1999 Kocaeli (Mw=7.4) depreminin hasar veritabanı kullanılmıştır. Bu yıkıcı deprem, Marmara bölgesinde büyük can ve mal kaybına yol açmış; çeşitli il merkezlerinde yapı hasarlarına sebep olmuştur. Ampirik hasar olasılıkları elde edilirken öncelikle 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin eşşiddet haritası (Şekil 1) incelenmiş; depremin birbirine yakın şehirlerde dahi farklı şiddetlerde hissedildiği gözlemlenmiştir. Buradan yola çıkarak şehir bazında hasar olasılık matrisleri oluşturulmuştur.



Şekil 1. 17 Ağustos 1999 Kocaeli (Mw=7.4) depremi eşşiddet haritası (Özmen, 1999)

Şehir bazında HOMlar oluşturulurken mülga Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün hasar tespit formları kullanılmıştır. Hasar tespitleri bina değil konut bazında yapıldığından, konut-bina çevriminden doğacak ekstra belirsizliklerden kaçınmak amacıyla bu çalışmadaki hasar olasılıkları da konut bazında hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında oluşturulan elektronik hasar veritabanı, Kocaeli, Sakarya ve Bolu illerinde toplamda yaklaşık olarak 170,000 konuta ait hasar bilgisi içermektedir. Hasar formlarında binalar, yapı türleri açısından üç ayrı kategoride toplanmıştır: A (yığma), B (çerçeve) ve C (karma) tip yapıları temsil etmektedir. Bu yapı tipleri de kendi içlerinde alt gruplara bölünmüştür ancak hasar formlarının tümünde alt sınıflarla ilgili bilgi olmadığı için, olası belirsizlikleri önelemek amacıyla bu çalışmada yalnızca 2 ayrı grup yapı incelenmiştir: betonarme çerçeve tipi yapılar ve yığma yapılar. Tablo 2-4, sırasıyla Kocaeli, Sakarya ve Bolu il merkezlerinde oluşturulan hasar olasılık matrislerini, her ilde incelenen toplam konut sayısını, o ilde hissedilen MMI cinsinden şiddet ve OHO değeri ile birlikte sunmaktadır.

Tablo 2. Kocaeli ili için hesaplanan ampirik hasar olasılık matrisi (MMI=IX)

	MHO (%)	**Yığma Yapılar**	**Betonarme Yapılar**
Hasarsız	0	0.70	0.16
Az Hasarlı	5	0.12	0.30
Orta Hasarlı	30	0.08	0.29
Ağır Hasarlı+Yıkık	85	0.10	0.25
OHO (%)		11.50	31.75
Toplam konut sayısı		14,086	25,351

Tablo 3. Sakarya ili için hesaplanan ampirik hasar olasılık matrisi (MMI=X)

	MHO (%)	**Yığma Yapılar**	**Betonarme Yapılar**
Hasarsız	0	0.81	0.12
Az Hasarlı	5	0.08	0.22
Orta Hasarlı	30	0.04	0.25
Ağır Hasarlı+Yıkık	85	0.07	0.41
OHO (%)		7.55	43.28
Toplam konut sayısı		78,444	22,463

Tablo 4. Bolu ili için hesaplanan ampirik hasar olasılık matrisi (MMI=VII)

	MHO (%)	**Yığma Yapılar**	**Betonarme Yapılar**
Hasarsız	0	0.86	0.20
Az Hasarlı	5	0.06	0.17
Orta Hasarlı	30	0.03	0.36
Ağır Hasarlı+Yıkık	85	0.05	0.27
OHO (%)		5.50	34.60
Toplam konut sayısı		12,661	7,814

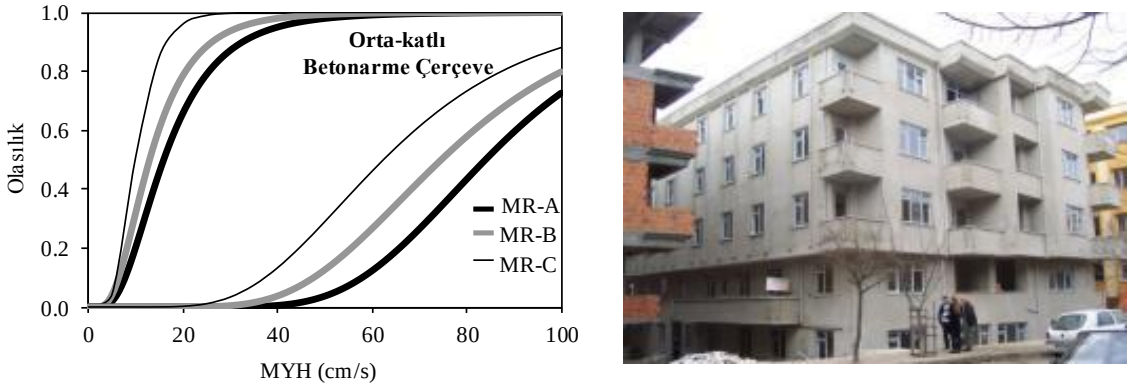
Tablo 2-4'ten görüldüğü gibi Sakarya'daki betonarme yapılar için ortalama hasar oranı,Kocaeli ve Bolu'daki değerlerden büyük çıkmıştır. Öte yandan, yığma yapılar için ortalama hasar oranı Kocaeli'nde en yüksek değeri almıştır. Yığma yapılarla ilgili bu gözlem beklenmektedir çünkü Kocaeli deprem merkezine en yakın il merkezidir. Ancak betonarme yapılardaki ortalama hasarın Sakarya'da Kocaeli'nden daha büyük çıkması ilginç bir sonuçtur ve şöyle açıklanabilir: iki ildeki betonarme yapı özelliklerinin genelde benzer olduğu varsayılırsa, farkın zemin koşullarından kaynaklandığı düşünülebilir. Sakarya'daki zemin koşullarının Kocaeli'ndeki koşullardan daha kötü olduğu; hatta deprem sırasında yer yer sıvılaşma görüldüğü bilinmektedir. Lokal zemin koşullarından ötürü betonarme binalardaki ortalama hasarın Sakarya'da daha büyük olduğu düşünülebilir.

Elde edilmiş olan ampirik hasar olasılıkları Bölüm 3'te analitik yaklaşımdan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

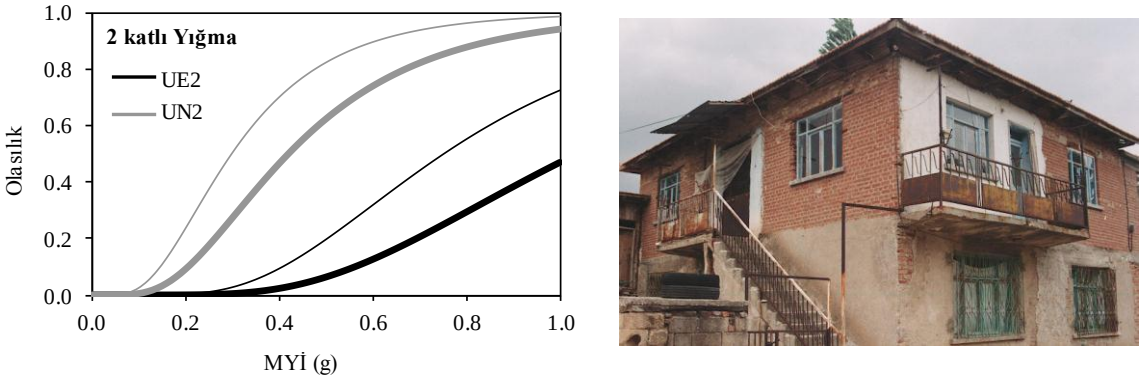
2.3. Hasar Olasılık Matrisleri için Analitik Yöntem

Hasar olasılık matrislerinin analitik yöntemle elde edilmesi için ilk önce söz konusu yapı türüne ait kırılganlık eğrileri değişik analiz yöntemleri kullanılarak elde edilir ve sonra kırılganlık eğrilerinden elde edilmiş bilgi belirli deprem etki seviyeleri için hasar olasılıklarına dönüştürülür. Kırılganlık eğrilerinin elde edilmesi için değişik analiz yöntemleri kullanmak mümkündür. Statik yöntemler uygulaması kolay ama yaklaşık sonuçlar veren yöntemlerdir. Dinamik yöntemlerin ise uygulaması daha zordur ama daha gerçekçi sonuçlar verirler. Buna ek olarak davranış açısından doğrusal analiz ve doğrusal olmayan analiz yaklaşımları da mevcuttur. Kırılganlık eğrilerinin yapısal hasar ile ilişkili olduğu düşünülürse, doğrusal olmayan davranışı göz önüme alan analitik modellerin kullanılması daha doğru olur. Kırılganlık eğrilerinin türetilmesinde son zamanlarda araştırmacıların en çok kullanmış oldukları analitik yöntemler doğrusal olmayan statik (itme analizi) ve dinamik analizlerdir. Ayrıca idealize edilmiş yapıyı tek serbestlik derecesine ya da çok serbestlik derecesine gore modellemek mümkündür. Tek serbestlik derecesine göre modellenmiş eşdeğer yapının analizlerini doğrusal olmayan dinamik yöntemle yapmak bile çok fazla yük getirmez. Ancak aynı yorumları çok serbestlik derecesine gore modellenmiş yapılar için yapmak mümkün değildir.

Bu çalışmada, ampirik yöntemin sonuçları ile karşılaştırmak amacıyla yığma ve betonarme çerçeve yapılar için daha önce yukarıda bahsedilen analitik yöntemler kullanılarak türetilmiş kırılganlık eğrileri kullanılmıştır (Erberik 2008a, 2008b). Bu çalışmalarda elde edilmiş eğriler Türkiye'deki yığma ve betonarme çerçeve yapıların genel özelliklerini yansıtmaktadır ve deprem sonrası gerçek hasar verisi ile karşılaştırılmak suretiyle teyit edilmişlerdir. Betonarme çerçeveli yapılar "az katlı" (1-3 kat) ve "orta katlı" (4-9 kat) olarak sınıflandırılmıştır. Bu yapılar ayrıca performans seviyelerine ve mevcut yönetmeliklere uygunluklarına göre "yüksek", "orta" ve "düşük" olarak da sınıflandırılmaktadır. Böylece bu tür yapılar için altı alt sınıf mevcuttur. Betonarme çerçeveli yapılara ait tipik kırılganlık eğrileri Şekil 2'de verilmektedir. Şekildeki "MR" kısaltması "orta-katlı" binaları, "A", "B" ve "C" kısaltmaları ise performans açısından yüksek, orta ve düşük binaları temsil etmektedir. Yığma yapılar ise "kentsel ve mühendislik hizmeti görmüş", "kentsel fakat mühendislik hizmeti görmemiş" ve "kırsal" yapılar olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflara ait kısaltmalar sırasıyla "UE", "UN" ve "RN"'dir. Buna ek olarak, kat sayısı da yığma binaların performansını belirleyen bir yapısal parametre olarak sınıflandırmada kullanılmıştır. Mühendislik hizmeti görmüş ve görmemiş iki katlı kentsel yığma yapılara (UE2, UN2) ait kırılganlık eğrileri örnek olarak Şekil 3'te verilmektedir. Her iki bina türünün eşbiçimliliğini ve harmonizasyonunu sağlamak için iki farklı performans (hasar) limiti seçilmiştir. Alt limit (LS1), az hasar (ya da hasarsızlık) ile orta (ya da yaygın) hasar arasındadır. Üst limit ise (LS2) orta (ya da yaygın) hasar ile ağır hasar (ya da göçme) arasındadır.

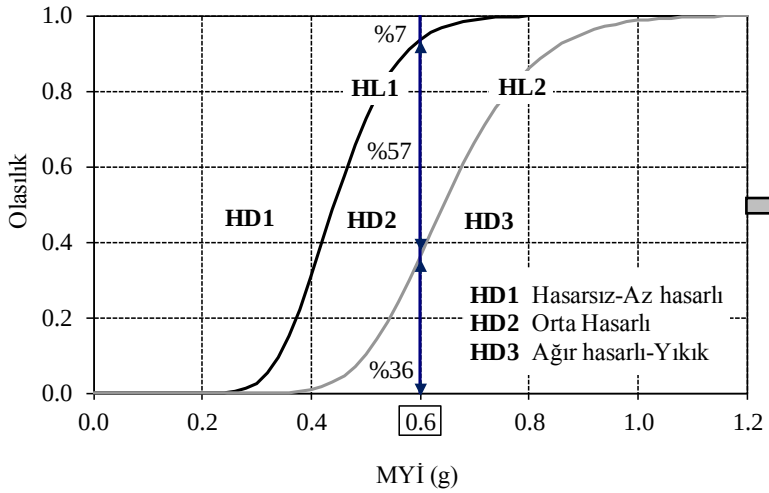


Şekil 2. 17 Orta katlı betonarme çerçeve yapılara ait kırılganlık eğrisi setleri (Erberik 2008b)



Şekil 3. 17 İki katlı kentsel yığma yapılara ait kırılganlık eğrisi setleri (Erberik 2008a)

Kırılganlık eğrilerinden elde edilen veriler basit grafiksel yöntemler kullanılarak hasar olasılık matrislerine dönüştürülebilir. Şekil 4'teki örnekte verilmiş olan kırılganlık eğrileri, iki farklı hasar limitinin (HL1,HL2) herhangi bir deprem şiddet parametresi (bu örnekte MYİ kullanılmıştır) cinsinden aşılma olasılığını ifade etmektedir. Kırılganlık eğrileri tarafından bölünmüş alanlar ise üç farklı hasar durumuna karşılık gelmektedir (HD1, HD2, HD3). Herhangi bir deprem şiddeti seviyesindeki (bu örnekte MYİ=0.6g) hasar olasılıklarını elde etmek için Şekil 4'te görüldüğü gibi düşey eksene parallel bir çizgi çekilmesi gerekmektedir. Bu düşey çizgi binanın söz konusu maksimum yer ivmesi altında değişik hasar bölgelerinde bulunma olasılığını vermektedir. Şekil 4'teki örnekte MYİ=0.6g için hasar olmaması (ya da az olması) ihtimali %7, orta hasar olması ihtimali %57 ve ağır hasar olması (ya da göçme) ihtimali ise %36'dır. Bu veriler, hasar olasılık matrisinin bir kolonunu oluşturmaktadır. Farklı deprem şiddetlerinde aynı aşamaların tekrarlanması sonucu hasar olasılık matrisinin tümünü oluşturmak mümkündür.



Hasar Durumu (HD)	....	MYİ=0.6g	....
Hasarsız-Az hasar	....	0.07	....
Orta hasar	....	0.57	....
Ağır hasar-Yıkık	....	0.36	....

Şekil 4. Kırılganlık eğrilerindeki verinin grafiksel yolla hasar olasılık matrisine dönüştürülmesi

3. ALTERNATİF YÖNTEMLERLE ELDE EDİLEN SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Önceki kısımda açıklandığı gibi analitik yöntemle farklı yapı tipleri ve detaylı alt sınıflar için hasar olasılıkları elde etmek mümkündür. Bu çalışmada ampirik hasar olasılık matrisleriyle karşılaştırma yapabilmek için Kocaeli, Sakarya ve Bolu il merkezlerindeki gerçek yapı stoğuna en yakın yapı sınıfları için çıkarılmış kırılganlık eğrilerini kullanılmıştır. Kat sayısı, kırılganlık eğrilerinde bir girdi parameterisidir; bu amaçla her bir il merkezindeki etkin kat sayısı TÜİK (2000) verilerine göre belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, çalışılan il merkezlerindeki yapı stoğunun genel durumu göz önüne alınınca mühendislik hizmeti görmemiş yapılar için elde edilmiş kırılganlık eğrileri kullanılmıştır.

Şekil 2 ve 3'te görüldüğü gibi Erberik (2008a) ve (2008b), yığma ve betonarme yapıların kırılganlık eğrilerinde deprem etkilerini maksimum yer ivmesi (MYİ) ve maksimum yer hızı (MYH) ile ifade etmektedir. MMI cinsinden ifade edilmiş olan ampirik hasar olasılıkları ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla Kocaeli, Sakarya ve Bolu il merkezlerindeki yer hareketi istasyonlarında 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sırasında ölçülmüş olan MYİ ve MYH değerlerine karşılık gelen kümülatif olasılıklardan tekil hasar olasılıklarına geçilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta yığma yapılar için çıkarılmış analitik eğrilerde hasar olasılık matrislerinden farklı sayıda hasar durumuna karşılık gelen limit durum sayısı olmasıdır. Birebir karşılaştırma yapabilmek için hasar olasılık matrislerinde ilgili hasar olasılıkları bir araya getirilmiş ve merkezi hasar oranlarının da ortalaması alınmıştır. Tablo 5-10'da sırasıyla Kocaeli, Sakarya ve Bolu'daki yığma ve betonarme yapılar için ampirik ve analitik hasar olasılık matrisleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.Kocaeli'ndeki yığma yapılar için hasar olasılıklarının karşılaştırılması (MMI=IX)

	MHO(%)	**Analitik Yaklaşım**	**Ampirik Yaklaşım**
Hasarsız+Az Hasarlı	2.5	0.90	0.82
Orta Hasarlı	30	0.08	0.08
Ağır Hasarlı+yıkık	85	0.03	0.10
OHO (%)		6.89	12.95

Tablo 6.Kocaeli'ndeki betonarme yapılar için hasar olasılıklarının karşılaştırılması (MMI=IX)

	MHO(%)	**Analitik Yaklaşım**	**Ampirik Yaklaşım**
Hasarsız+Az Hasarlı	2.5	0.15	0.46
Orta Hasarlı	30	0.85	0.29
Ağır Hasarlı+yıkık	85	0.00	0.25
OHO (%)		25.9	31.1

Tablo 7. Sakarya'daki yığma yapılar için hasar olasılıklarının karşılaştırılması (MMI=X)

	MHO(%)	**Analitik Yaklaşım**	**Ampirik Yaklaşım**
Hasarsız+Az Hasarlı	2.5	0.75	0.89
Orta Hasarlı	30	0.16	0.04
Ağır Hasarlı+yıkık	85	0.09	0.07
OHO (%)		14.60	9.38

Tablo 8. Sakarya'daki betonarme yapılar için hasar olasılıklarının karşılaştırılması (MMI=X)

	MHO(%)	**Analitik Yaklaşım**	**Ampirik Yaklaşım**
Hasarsız+Az Hasarlı	2.5	0.03	0.34
Orta Hasarlı	30	0.58	0.25
Ağır Hasarlı+yıkık	85	0.39	0.41
OHO (%)		50.8	43.2

Tablo 9. Bolu'daki yığma yapılar için hasar olasılıklarının karşılaştırılması (MMI=VII)

	MHO(%)	**Analitik Yaklaşım**	**Ampirik Yaklaşım**
Hasarsız+Az Hasarlı	2.5	0.91	0.92
Orta Hasarlı	30	0.06	0.03
Ağır Hasarlı+yıkık	85	0.02	0.05
OHO (%)		6.15	7.45

Tablo 10. Bolu'daki betonarme yapılar için hasar olasılıklarının karşılaştırılması (MMI=VII)

	MHO(%)	**Analitik Yaklaşım**	**Ampirik Yaklaşım**
Hasarsız+Az Hasarlı	2.5	0.46	0.37
Orta Hasarlı	30	0.53	0.36
Ağır Hasarlı+yıkık	85	0.01	0.27
OHO (%)		17.9	34.67

Tablolarda sunulan karşılaştırmalara göre yığma yapılar için analitik ve ampirik yaklaşımlarla elde edilmiş olan hasar olasılıkları her üç bölge için de birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Ancak aynı gözlemi betonarme yapılar için yapmak mümkün değildir. Analitik ve ampirik hasar olasılıkları betonarme yapılar için genellikle farklı değerlere sahiptir. Ancak farklı yaklaşımlarla elde edilmiş olan ortalama hasar oranları iki tip yapi için de mertebe olarak yakındır.

Analitik ve ampirik yaklaşımların arasındaki farklar aslında çok şaşırtıcı değildir. Her iki yöntem de kendi içinde pek çok belirsizlik barındırmaktadır. Ampirik yaklaşımda elde edilen değerler, saha verisinin nasıl toplandığıyla yakından ilişkilidir, çünkü very toplama işi doğası gereği öznel bir yaklaşımdır. Saha verisi, belirli kurallar ve sınırlamalar dahilinde toplandığı zaman anlamlı bir hale gelmektedir. Örneğin Türkiye'de hasar tespit formları bina için değil, konut için hazırlanmaktadır. Bu yaklaşım dolayısıyla binaya ait hasar bilgisine ve daha genelinde bina stokunun hasar dağılımına ulaşmak için bazı varsayımlar kullanmak gerekmektedir. Ayrıca hasar verisini toplarken binaların bölgesel dağılımını da dikkate almak gereklidir. İncelenen afet sahasında hukuki sebeplerden dolayı sadece hasarlı binaların yoğun olduğu bölgelerden veri toplayıp daha az hasarlı binaların bulunduğu bölgeleri göz ardı etmek bu veriyi kullanan araştırmacıları yanıltıcı sonuçlara sürükleyebilir.

Analitik yaklaşım da ise kullanılan analiz metodunun ve idealize edilmiş analitik yapı modelinin sonuçlar üzerindeki etkisi büyüktür. Örneğin bu çalışmada, yığma binalar için kırılganlık eğrileri üç boyutlu yapı modelleri kullanılarak türetilmiştir. Öte taraftan betonarme binalar için eşdeğer tek dereceli sistem modelleri kullanılmıştır. Eşdeğer modeller sayesinde hesaplama açısından bir kolaylık sağlanmış ancak kullanılan basitleştirmeler yüzünden sonuçların gerçeğe uygunluğu açısından ödün verilmiştir. Ancak hesaplama kolaylığı ile gerçeğe uygunluk arasındaki bu ödünleşme, araştırmacının her zaman yüzleşmek durumunda olduğu bir ikilemdir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, ülkemizde birinci derece deprem bölgesinde yeralan 3 ayrı il merkezinde betonarme ve yığma yapılarda 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde görülmüş olan hasar oran dağılımları analitik kırılganlık eğrilerinden bulunan olasılıklar ile karşılaştırılmıştır.

Kocaeli, Sakarya ve Bolu için analitik ve ampirik yaklaşımlarla elde edilmiş hasar olasılıklarının karşılaştırılması sonucu bazı durumlarda yakın sonuçlar elde edildiği, bazı durumlarda ise sonuçların farklı olduğu gözlenmiştir. Özellikle basitleştirilmiş eşdeğer tek dereceli sistem modellerinin kullanıldığı betonarme binalarda, analitik yöntemler sonucu elde edilen hasar olasılıkları ampirik yaklaşımla elde edilenlerden farklıdır. Bu tür farklılıkların oluşması beklenmektedir, çünkü her iki yaklaşım da kendi içinde pek çok basitleştirme ve varsayım içermektedir. Ancak tüm durumlarda ortalama hasar oranları aynı büyüklük mertebesinde bulunmuştur. Bu durum ileride her iki yaklaşımın birarada kullanılması açısından ümit verici bir durumdur. Bir başka deyişle, bu çalışmada elde edilen bulgular ışığında hasar olasılıkları alternatif yöntemlerle elde edilmeli ve mümkün olduğu durumlarda hibrid hasar olasılık modelleri kurulmalıdır.

KAYNAKLAR

Erberik, M.A. (2008a). Generation of fragility curves for Turkish masonry buildings considering in-plane failure modes, Earthquake Eng. and Str. Dyn. 37, 387-405.

Erberik, M.A. (2008b). Fragility-based assessment of typical mid-rise and low-rise RC buildings in Turkey, Engineering Structures 30, 1360-1374.

Gürpınar, A., Abalı, M., Yücemen, M. S., Yeşilçay, Y., (1978). Zorunlu Deprem Sigortası Uygunluğu, *Deprem Mühendisliği Araştırma Enstitüsü,* **78-05**, Orta DoğuTeknik Üniversitesi, Ankara.

Kafalı, C. and Grigouri, M., (2004). Seismic Fragility Analysis, *Proceedings of the 9th ASCE Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability*, Rome, Italy, 19-23 June, 2005.

Özmen, B., (1999). Iso-intensity map of İzmit Earthquake, Earthquake Research Department, General Directorate of Disaster Affairs, Ankara.

Whitman, R.V., (1973). Damage Probability Matrices for Prototype Buildings, *Structures Publication*, **380**, MIT, Boston.