BATI MARMARA BÖLGESİ İÇİN ALTERNATİF YÖNTEMLERLE DEPREM HASAR VE KAYIP TAHMİNİ ÇALIŞMALARI

A. Askan[1], B. Ugurhan[2], E.M. Ün[2] ve M.A. Erberik[1]

[1] *Doç. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[2] *Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
Email: altug@metu.edu.tr

ÖZET:

Sismik tehlikenin yüksek olduğu bölgelerde hasar ve kayıp tahmini çalışmaları deprem etkilerinin azaltılması ve afet yönetimi konuları için esas teşkil etmektedir. İlgili bölgedeki deprem tehlikesi ve bina stoğuna ait belirsizlikler, hasar tahmini çalışmalarının olasılıksal yöntemlerle ele alınmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, deprem hasarlarının belirlenmesi için potansiyel yer hareketlerini belirleme açısından farklılık gösteren iki yaklaşım sunulmaktadır. Birinci yaklaşımda, stokastik yer hareketi simülasyonları ile elde edilen deprem şiddet parametreleri, betonarme ve yığma binalar için hesaplanmış bina kırılganlık eğrileri ile birleştirilmiş ve ilgili bölgede hasar dağılım senaryoları oluşturulmuştur. İkinci yaklaşımda ise, potansiyel yer hareketleri olasılıksal sismik tehlike analizi ile hesaplanmış ve yine bina kırılganlık bilgileri ile birleştirilerek risk eğrileri oluşturulmuştur. Önerilen bu yöntemler, 1999 Düzce depremi (M_w=7.1) hasar verileri kullanılarak değerlendirilmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu sunumda, önerilen yaklaşımların limitasyonları ile İstanbul ili ve civarı için uygulaması tartışılacaktır.

ANAHTAR KELİMELER : Olasılıksal sismik tehlike analizi, kırılganlık eğrisi, yer hareketi simülasyonu, risk analizi

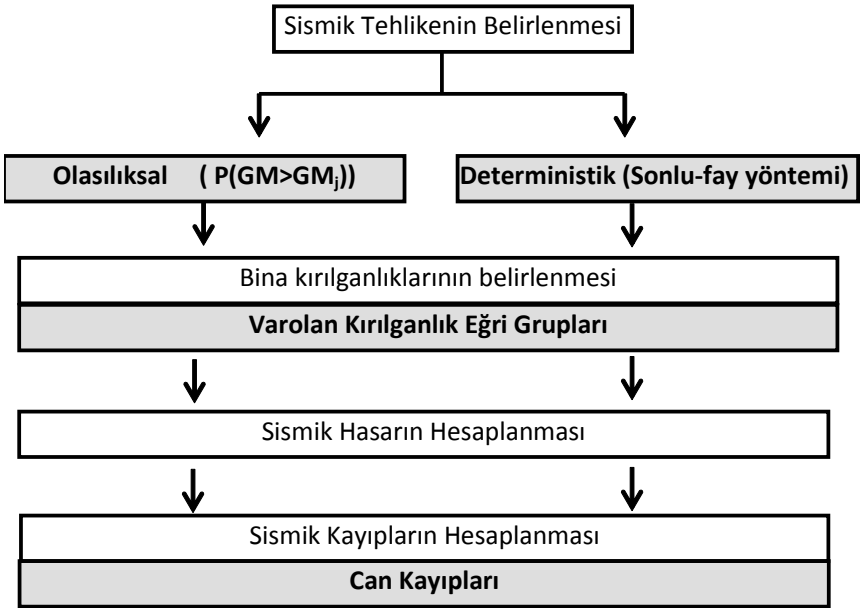
1. GİRİŞ

Sismik hasar ve kayıpların belirlenmesi, inşaat ve deprem mühendisliği, sismoloji, afet yönetimi gibi birçok farklı bilim dalının ortak ilgi alanındadır. Disiplinlerarası bir araştırma konusu olan hasar belirleme problemi, yine disiplinlerarası bir çerçevede çözülebilir. Olası gelecek depremlerde ortaya çıkacak hasarın belirlenmesi probleminde iki temel girdi bulunmaktadır: potansiyel yer hareketleri ve ilgili yapı stoğuna ait kırılganlık bilgileri. Bu girdilere bağlı olarak incelenen bölgede risk hesapları; hasar, can ve mal kayıpları türünden yapılabilmektedir. İçerdiği belirsizlikler sebebiyle ve tanımı gereği risk hesapları, olasılıksal olmalıdır. Ancak bazı durumlarda belirli deterministik senaryolar için de hasar oranları ve kayıplar hesaplanabilir. Bu çalışmada da hasar ve kayıp hesabında deterministik ve olasılıksal olarak iki alternatif yaklaşım göz önüne alınmıştır. Şekil 1, bu çalışmada önerilen risk analizi yöntemini bir akış şeması olarak ifade etmektedir. Bu akış şemasında önerilen adımlar Düzce il merkezi için gerçekleştirilmiş; elde edilen sonuçlar 12 Kasım 1999 Düzce depremi hasar verileri ile karşılaştırılarak önerilen alternatif yöntemler sınanmıştır.

2. SİSMİK TEHLİKE, HASAR VE KAYIP MODELLERİ

Hasar ve kayıp analizlerinde, yapı stoğuna ait kırılganlıklar her durumda olasılıksal olarak ifade edildiğinden, yöntemi belirleyen ana unsur yer hareketlerinin hesaplanma biçimidir. Gelecek depremlerde ortaya çıkabilecek yer hareketleri temel olarak iki alternatif yöntemle göz önüne alınabilir. Bunlardan bir tanesi olasılıksal diğeri ise deterministik sismik tehlike hesaplarıdır. Olasılıksal sismik tehlike analizleri, bir bölgedeki tüm sismik

kaynakları ve muhtemel senaryoları göz önüne alarak, belirli bir zaman penceresi içinde, seçilen yer hareketi parametrelerinin aşılma olasılıklarının hesaplanmasını içerir (McGuire, 2004). Deterministik tehlike hesabı ise belirli bir kaynakta meydana geleceği varsayılan belli bir büyüklükteki senaryo deprem için yer hareketlerinin belirlenmesine dayanır. Literatürde ampirik yer hareketi denklemlerinden dalga denkleminin sayısal çözümlerine dek uzanan birçok farklı yöntemle deterministik senaryo hesapları yapılabilmektedir (Ör.: Festa vd., 2004; Zhao vd., 2007). Bu çalışmada, Düzce civarındaki aktif kaynaklar gözönüne alınarak hem olasılıksal sismik tehlike analizi yapılmış, hem de Düzce fayı temel alınarak stokastik sonlu-fay yöntemi ile deterministik yer hareketleri elde edilmiştir. Ardından, bu yer hareketleri Düzce ili için hazırlanmış olan kırılganlık eğrileri ile birleştirilerek hasar oranları hesaplanmıştır. Bu alternatif yöntemler sonraki alt bölümlerde ayrıntılı olarak sunulmuştur.



Şekil 1. Bu çalışmada önerilen alternatif yöntemlere ait akış şeması

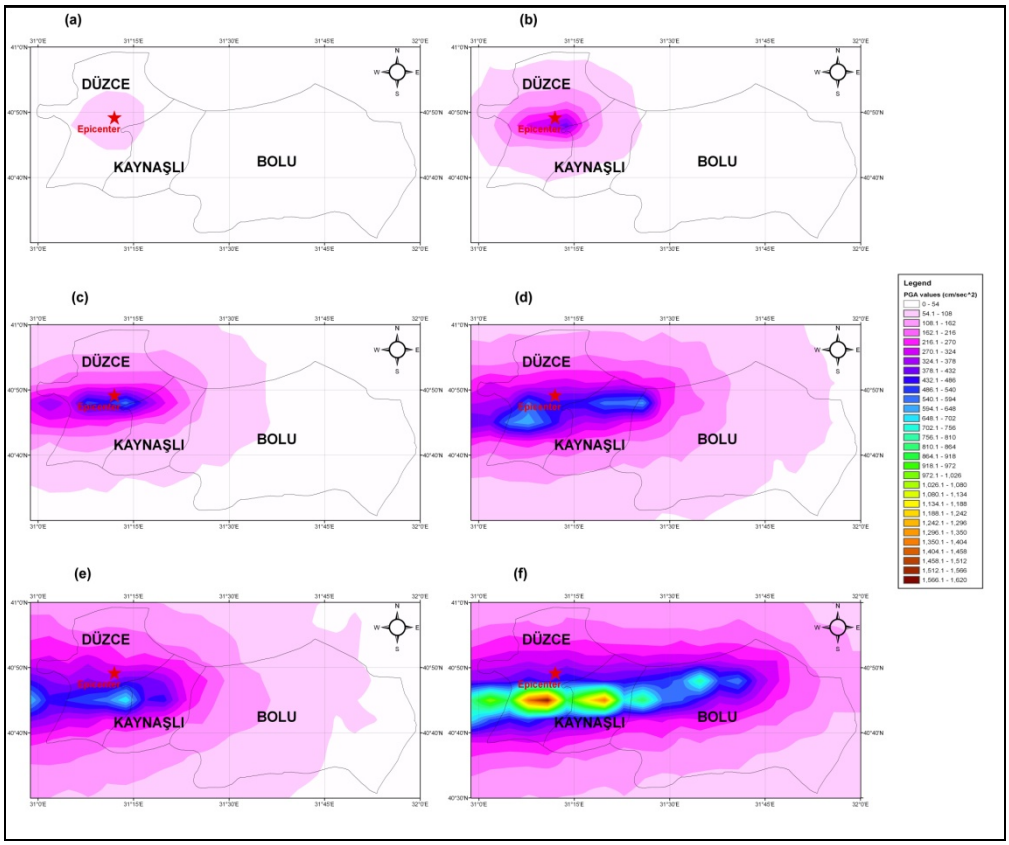
2.1. Deterministik Sismik Risk Modeli

Bu çalışmada, deterministik deprem senaryolarındaki yer hareketleri için sonlu-fay yöntemi kullanılmıştır. Stokastik sonlu-fay yönteminde dikdörtgen olduğu varsayılan fay düzlemi alt-faylara bölünmekte, her bir alt-fay stokastik bir nokta-kaynak olarak modellenmektedir (Boore, 1983). Stokastik nokta-kaynak modelinde, kaynaktan belirli bir mesafe uzakta bulunan herhangi bir gözlem noktasındaki S-dalgasına ait Fourier büyüklük spektrumu frekans uzayında kaynak, yayılım ve saha filtre fonksiyonlarının çarpımı olarak ifade edilmektedir:

$$A(w)=S(w)P(w)D(w) \quad (1)$$

Bu denklemde, w açısal frekans, $S(w)$ kaynak spektrumu, $P(w)$ yayılma etkilerini içeren filtre ve $D(w)$ kappa zemin faktörünü ve zemin büyütme faktörlerini içeren saha filtresidir (Anderson ve Hough, 1984 ; Boore, 2003). Stokastik sonlu-fay yönteminde, bu deterministik spektrum rassal faz açıları ile birleştirilerek yüksek frekanslı yer hareketleri simüle edilmektedir. Belirli bir faya ait deterministik sismik tehlikeyi hesaplamakta kullanılan bu yöntemi tanımlamak için (yüksek frekans faz açılarının rassal olduğu kabulünden ötürü) "stokastik" terimi kullanılmaktadır. Bu yöntemde fay düzlemi üzerinde odakta başlayan yırtılma tüm alt-fayların merkezine eriştikçe o alt-fay da kırılmış olur ve her bir alt-fayın katkısı ortaya çıkan yer hareketine uygun zaman gecikmesi

göz önüne alınarak dahil edilir. Stokastik sonlu-fay yönteminde en hassas olan aşama model girdi parametrelerinin belirlenmesidir. Kaynak, yayılım ve saha parametrelerinin doğruluğu, ortaya çıkan sonuçları doğrudan etkilemektedir. Düzce fayı ve bölgesel parametreleri için detaylı incelemeler güncel bir çalışmada ele alınmıştır; detaylı bilgi için ilgili çalışmaya bakılmalıdır (Ugurhan ve Askan, 2010). Özetle, Düzce fayı üzerinde deterministik simülasyon ile elde edilen yer hareketleri, 1999 Düzce depremindeki yer hareketi kayıtları ile doğrulanmış; daha sonra doğrulanan parametrelerle farklı büyüklükler için senaryo deprem hesapları yapılmıştır. Deprem büyüklüğü-fay boyutları ilişkisi olarak Wells ve Coppersmith (1994)'te tanımlanan bağıntılar kullanılmış; tüm senaryo depremlerin odak noktasının Düzce 1999 depremi odak noktasıyla aynı olduğu varsayılmıştır (Ugurhan vd., 2011). Bu senaryo hesaplamaları sonunda elde edilen sentetik yer hareketinin bölgesel dağılımları, farklı büyüklükler için Şekil 2'de maksimum yer ivmesi (MYİ) cinsinden verilmiştir. Aynı hesaplar maksimum yer hızı (MYH) cinsinden de yapılmış ve Bölüm 3'te sunulan kırılganlık eğrileri ile birleştirilerek, incelenen bölgede farklı büyüklüklerdeki depremlerde beklenen hasar dağılımları belirlenmiştir (Ugurhan vd., 2011). Yer kısıtlamasından ötürü, Bölüm 4'te yalnızca Düzce 1999 depremine ait hasar dağılımları sunulmuştur.

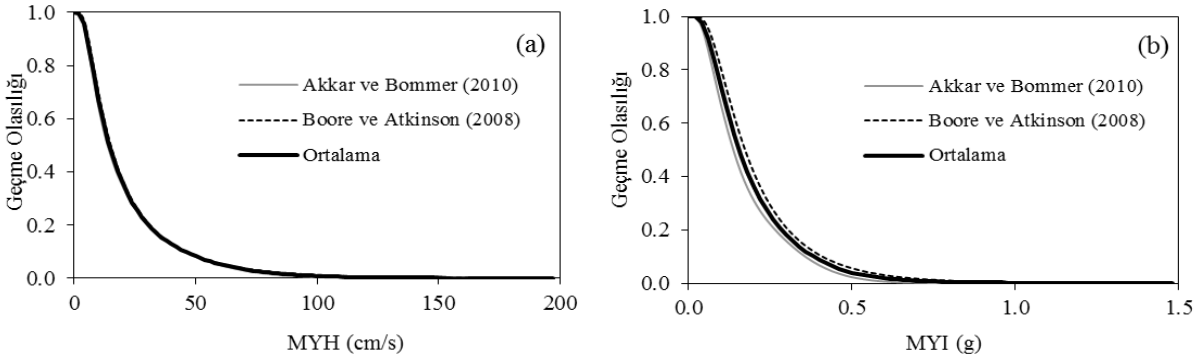


Şekil 2. Düzce fayı üzerinde farklı magnitüdlü senaryo depremlerdeki MYİ dağılımları (a) M_w=5.5 (b) M_w=6.0 (c) M_w=6.5 (d) M_w=7.0 (e) M_w=7.1 (f) M_w=7.5

2.2. Olasılıksal Sismik Risk Modeli

Olasılıksal modelde üç temel aşama vardır: olasılıksal sismik tehlike analizi (OSTA), kırılganlık eğrileri ve can kaybı modellemesi. OSTA sonucu elde edilen belirli bir yer hareketi parametresini aşma olasılığı, kırılganlık eğrileri ile birleştirilerek hasar oranları hesaplanır. Daha sonra, yıkılan bina sayısına bağlı olarak can kayıpları elde edilir. OSTA ve can kaybı modelleri bir sonraki kısımda, kırılganlık eğrileri ise Bölüm 3'te sunulmuştur.

i. Olasılıksal Sismik Tehlike Modeli: Olasılıksal sismik tehlike analizleri, deprem katalogunun seçilmesi, sismik kaynakların belirlenmesi, sismik kaynakların aktivitelerinin hesaplanması, yer hareketi parametlerinin belirlenmesi, algoritmanın kurulması ve zaman-oluşum denklemlerinin seçilmesi olmak üzere altı adımdan oluşmaktadır. Bu çalışmada Düzce il merkezi için deprem katalogu Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstütüsü'nden (http://www.koeri.boun.edu.tr) alınmıştır. Depremlerin zaman içindeki oluş dağılımları için kullanılacak olan Poisson modeli olaylar arası bağımsızlık koşulu gerektirir. Depremler arasındaki bağımsızlık, Deniz (2006) tarafından önerilen tablolar kullanılarak, öncü ve artçı şokların deprem katalogundan çıkarılmasıyla sağlanmıştır. Bu çalışmada, Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı'nda (http://daphne.deprem.gov.tr) belirlenmiş olan sismik kaynaklar kullanılmıştır. Bu sismik kaynakların aktiviteleri, Gutenberg-Richter (1956) tarafından önerilen üstel fonksyonlar ile hesaplanmıştır. Yer hareketi tehmin denklemi olarak Akkar ve Bommer (2010) ve Boore vd. (2008) tarafından önerilen denklemler seçilmiş, her iki denkleme de öznel olarak % 50 ağırlık verilerek ortalamaları alınmıştır. Sismik tehlike analizleri SEISRISK III (Bender ve Perkins, 1987) programı kullanılarak gerçekleştirilmiş, ve depremlerin zaman içindeki oluş dağılımlarını göstermek amacıyla hafızasız Poisson denklemi uygun görülmüştür. Şekil 3 Düzce il merkezi için hesaplanan 50 yıllık olasılıksal sismik tehlike eğrilerini göstermektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, farklı yer hareketi tahmin denklemleri benzer sonuçlar vermiş olup, sismik tehlike eğrilerinin seçilen yer hareketi tahmin denklemlerine hassas olmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. Düzce il merkezi için maksimum yer hızı ve maksimum yer ivmesi cinsinden 50 yıllık sismik tehlike eğrileri

Elde edilen olasılıksal sismik tehlike analizi sonuçları Bölüm 3'te sunulan kırılganlık eğrileri ile birleştirilip hasar oranları elde edilmiştir. Hasar oranlarına bağlı olarak ise bir sonraki kısımda sunulan yöntemle can kaybı tahminleri yapılmıştır.

ii. Can Kaybı Tahmini Modeli: Depremlerin en önemli kayıp göstergelerinden biri depremden sonra meydana gelen can kayıplarıdır. Bu çalışmada, Coburn ve Spence'in (2002) can kaybı modeli, Türkiye'ye uyarlanarak kullanılmış ve 50 yıllık zaman penceresi içinde beklenen ortalama can kayıpları hesaplanmıştır. Söz konusu model, yalnızca yıkılan binalardaki can kayıplarını göz önüne almaktadır. Yıkılan bina sayısını aşağıda tanımlanan bir grup *M* sabitleri ile çarparak ortalama can kaybını belirlemek mümkündür (Denklem 2).

$$C = D * (M_1 \times M_2 \times M_3 \times (M_4 + (1 - M_4) \times M_5)) \times M_6 \quad (2)$$

Denklem 2'de, *D* parametresi yıkılan bina sayısıdır ve kırılganlık eğrileri kullanılarak hesaplanmıştır. M_1 parametresi binanda ikamet eden kişi sayısına, M_2 parametresi deprem anında bina içinde bulunan kişi sayısının, binada ikamet eden kişi sayısına oranına, M_3 parametresi enkaz altında kalan kişi sayısının, deprem anında bina içinde bulunan kişi sayısına oranına, M_4 ve M_5 parametreleri sırasıyla enkaz altında olup deprem anında ve daha sonra hayatını kaybeden kişi sayısının, enkaz altında kalan kişi sayısına oranına, M_6 parametresi ise yıkılan bina sayısının, kırılganlık eğrilerinde belirlenen üçüncü hasar bölgesindeki tüm binaların sayısına oranına karşılık gelmektedir. *M* parametrelerinin detaylı hesapları Ün vd. (2011)'de mevcuttur.

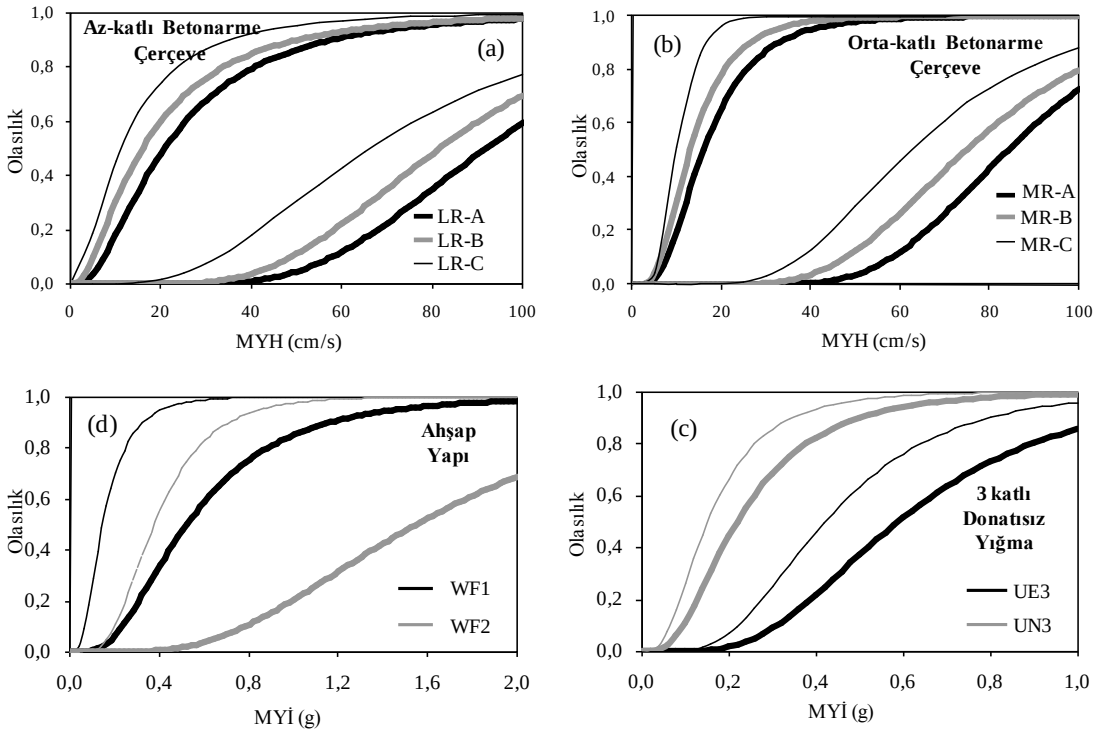
Bu olasılıksal modelleme sonucunda, Düzce ili merkezinde, 50 yıllık zaman penceresi içinde ortaya çıkabilecek can kayıpları ve hasar oranları belirlenmiş; yine 1999 Düzce depreminde ortaya çıkan hasar oranları ve can kayıpları da hesaplanmıştır. Bu sonuçlar deterministik yöntem ve verilerle karşılaştırmalı olarak Bölüm 4'te sunulmuştur.

3. KIRILGANLIK EĞRİLERİ

Bu çalışmada, seçilmiş olan bölgede yer alan ve konut amaçlı kullanılan betonarme çerçeve, donatısız yığma ve ahşap yapı türleri dikkate alınmıştır. Çelik yapılar, hem sayı olarak az oldukları için hem de sanayi amaçlı olarak kullanıldıkları için değerlendirmenin dışında tutulmuşlardır. Türkiye'deki betonarme çerçeve ve donatısız yığma türleri içeren yapı stokunun kırılganlık özelliklerini belirleyen çalışmalar mevcuttur. Bunlar arasından bu çalışmada kullanılmak üzere seçilenler; Erberik (2008a) ve Erberik (2008b)'dir. İncelenen bölgedeki yapı stokunun önemli bir yüzdesini oluşturan Türk ahşap yapıların kırılganlık özellikleri için ise herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu sebepten dolayı, Türkiye'deki ahşap yapı özellikleri ile benzerlikler içeren uluslararası bir çalışmadan (Gençtürk vd., 2008) faydalanılmıştır.

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 ve bu sınıflara ait kırılganlık eğrileri Şekil 4'te verilmektedir. "LR" VE "MR" kısaltmaları "az-katlı" ve "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 üç katlı kentsel yığma yapılara (UE3, UN3) ait kırılganlık eğrileri örnek olarak Şekil 4'te verilmektedir. Ahşap yapılar (WF kısaltması ile temsil edilmektedir) için seçilmiş olan kırılganlık eğrileri ise bölgedeki binaları temsil ettiği düşünülen 1-2 katlı mühendislik hizmeti görmemiş veya az da olsa görmüş konut yapılara aittir (bakınız Şekil 4). Her üç 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.

Bölgedeki yapı stokunun kırılganlık özelliklerini belirlemek için o bölgedeki yapıların sayıları ve türleri ile ilgili bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Bu çalışmada, Düzce il merkezi ile ilgili olarak gereken envanter bilgileri Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TUİK) elde edilmiştir. Elde edilen bilgiler kullanılarak veritabanındaki binaların kırılganlık setleri sınıfları ile eşleştirilmesi sonucu Tablo 1'de verilen dağılım elde edilmiştir.



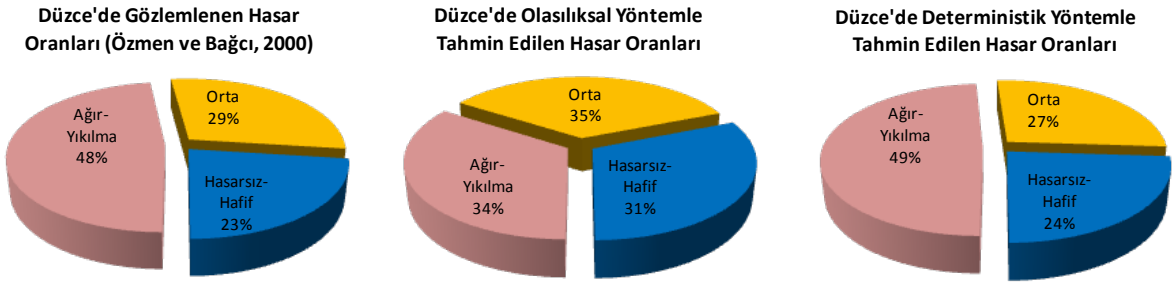
Şekil 4. a) Az-katlı betonarme çerçeve, b) orta-katlı betonarme çerçeve, c) donatısız yığma, d) ahşap yapılar için kırılganlık eğrileri

Tablo 1. Düzce il merkezindeki yapı stoğunun bina türlerine ve bu tanımlara karşılık gelen kırılganlık sınıflarına göre dağılımı

Yapı Tipi	Karşılık gelen kırılganlık alt sınıfları ve bu alt sınıflara atanan bina sayıları				
Betonarme Çerçeve					
Alçak katlı	*LR-A*	*LR-B*	*LR-C*		
Bina sayısı	328	1,762	3,453		
Orta katlı	*MR-A*	*MR-B*	*MR-C*		
Bina sayısı	94	332	674		
Yığma Çerçeve					
Kentsel ve mühendislik hizmeti görmüş	*UE1*	*UE2*	*UE3*	*UE4*	*UE5*
Bina sayısı	461	336	21	4	2
Kentsel fakat mühendislik hizmeti görmemiş	*UN1*	*UN2*	*UN3*	*UN4*	*UN5*
Bina sayısı	331	178	12	3	2
Ahşap Çerçeve					
Mevcut binalar	*WF1*		*WF2*		
Bina sayısı	313		155		

4. HASAR VE KAYIP TAHMİN SONUÇLARI

Bu çalışmada önerilen alternatif yöntemleri birbirleriyle ve varolan veriler ile karşılaştırıp sınamak için deterministik ve olasılıksal modeller kullanılarak 1999 Düzce depreminde ortaya çıkması beklenen hasar oranları hesaplanmıştır. Olasılıksal modelde, tek senaryo olarak Düzce fayının (Mw=7.1) kırılması göz önüne alınmıştır. Şekil 5 deterministik ve olasılıksal yöntemlerle elde edilen hasar dağılımlarını deprem sonrası bölgeden toplanmış olan veriler (Özmen ve Bağcı, 2000) ile karşılaştırmalı olarak göstermektedir. 1999 Kasım depremi sonrası Düzce'deki hasar dağılımı hesaplanırken bina kırılganlık özellikleri için Tablo 1'deki değerleri kullanmak yanıltıcı olur. Çünkü Kasım depremi ve buna bağlı hasar dağılımı oldukça özeldir, çünkü bölge üç ay önce çok büyük başka bir depreme maruz kalmış (17 Ağustos depremi) ve binalar bu deprem dolayısıyla zaten zayıflamış veya hasar görmüştür. Bu sebepten dolayı hasar tahmini yapılırken binaların hepsinin olması gerekenden daha düşük performans göstereceği varsayılarak depremden hemen önce betonarme binaların LR-C ve MR-C, yığma binaların UN1-5 ve ahşap binaların WF1 sınıfında olduğu kabulü yapılmıştır.



Şekil 5. Düzce il merkezinde gözlemlenen hasar oranlarının bu çalışmada sunulan deterministik ve olasılıksal modellerle belirlenen hasar oranları ile karşılaştırılması

Bu çalışmada önerilen modeller ile 1999 Düzce depremine ait can kayıpları da hesaplanmıştır. Tablo 2'de bu sonuçlar hasar oranları ile birlikte sunulmaktadır. Bu sonuçlar hakkındaki değerlendirmeler bir sonraki bölümde sunulmuştur.

5. DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, alternatif yöntemlerle 1999 Düzce depreminde Düzce il merkezinde ortaya çıkan hasar dağılımları ve can kayıpları hesaplanmış; elde edilen sonuçlar verilerle karşılaştırılmıştır. Hem olasılıksal hem de deterministik yöntemle elde edilen hasar oranları, gözlemlenen hasar oranlarıyla aynı mertebededir. Deterministik yöntemle elde edilen hasar oranları, gözlemlere daha yakındır. Bunun nedeni, deterministik yöntemde daha ayrıntılı fay ve dalga yayılım modellemesi yapılmış olmasıdır. Buradan yola çıkarak, ilerde yapılacak hasar belirleme çalışmalarında, veri ve sismik model parametresi mevcut olan durumlarda, belirli bir senaryo deprem söz konusu olduğunda deterministik sismik model kullanılması önerilebilir. Diğer yandan, ilgili bir bölge civarındaki tüm sismik kaynakların etkisini belirli bir zaman aralığında gözönüne alabilmek için ise mutlaka olasılıksal tehlike ve risk modelleri kullanılmalıdır. Gözlemlenen can kayıpları (469), hem olasılıksal yöntemle (722) hem de deterministik yöntemle (1040) elde edilen can kayıplarından daha düşüktür. Bunun olası nedenlerinden birisi 1999 Düzce depreminden üç ay önce meydana gelen Kocaeli depremi sonrasında Düzce'deki birçok konutun boşalmış olması; dolayısıyla bölgedeki nüfusun 1999 Düzce depremi sırasında azalmış olmasıdır. Olasılıksal yöntemle 50 yıllık bir zaman aralığında Düzce'de beklenen can kaybı ise 211

olarak belirlenmiştir (Ün vd., 2011). Bu değerin gözlemlenen değerden düşük olma nedeni, olasılıksal modelde seçilen bir zaman aralığında belirleme yapmak için ilgili bölgedeki tüm faylar ve her birinin kırılma olasılıklarının hesaba katılıyor olmasıdır.

Özetle, elde edilen hasar ve can kayıpları genel olarak gözlemlerle uyuşmaktadır. Elbette, daha fazla veri ve model parametresi hesaba katarak, önerilen bu modelleri geliştirmek mümkündür. Yine, bu çalışmada önerilen modellerin başka deprem verileri ile sınanması gereklidir. Bu çalışmada sunulan modeller ve benzerleri, geliştirilerek İstanbul başta olmak üzere sismik tehlikesi yüksek olan birçok bölgede sistematik olarak uygulanmalı; ülke genelinde alternatif çözünürlükler ile sismik risk hesapları yapılmalıdır.

Tablo 2. Alternatif yöntemlerle Düzce il merkezinde belirlenen hasar oranları ve can kayıpları

	Düzce'de Gözlemlenen Hasar Oranları ve Can Kaybı (Özmen ve Bağcı, 2000)			
	Hasar Oranları (%)			Can Kaybı
	Ağır-Yıkılma	Orta	Hasarsız-Hafif	
Toplam	48	29	23	469
	Düzce'de Deterministik Yöntemlerle Tahmin Edilen Hasar Oranları ve Can Kaybı			
	Hasar Oranları (%)			Can Kaybı
	Ağır-Yıkılma	Orta	Hasarsız-Hafif	
Betonarme	53	28	19	1010
Yığma	33	16	51	30
Ahşap	-	-	-	-
Toplam	49	27	24	1040
	Düzce'de Olasılıksal Yöntemlerle Tahmin Edilen Hasar Oranları ve Can Kaybı			
	Hasar Oranları (%)			Can Kaybı
	Ağır-Yıkılma	Orta	Hasarsız-Hafif	
Betonarme	37	36	27	638
Yığma	23	18	59	72
Ahşap	20	59	21	12
Toplam	34	35	31	722

KAYNAKLAR

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstütüsü http://www.koeri.boun.edu.tr [son erişim: 18 Kasım 2010].

Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı http://daphne.deprem.gov.tr [son erişim: 3Aralık 2010]

Akkar S, Bommer JJ. Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East, *Seismological Research Letters* 2010; **81**(2):195-206. DOI: 10.1785/gssrl.81.2.195.

Anderson, J., and S. Hough (1984). A model for the shape of the Fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequencies, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **74**, 1969–1993.

Bender B. and Perkins DM. SEISRISK III: a computer program for seismic hazard estimation. Washington DC, 1987, 48s.

Boore, D. M. (1983). Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *Bull. Seism. Soc. Am.* **73**, 1865-1894.

Boore, D. M. (2003). Simulation of ground motion using the stochastic method, *Pure and Applied Geophysics* **160**, 635—675.

Boore DM, Atkinson GM. Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01s and 10.0 s, *Earthquake Spectra* 2008; 24(1): DOI: 99-138. 10.1193/2830434.

Coburn A, Spence R. Earthquake Protection. Wiley: John Wiley and Sons, LTD, 2002; İkinci baskı.

Deniz A. (2006). Estimation of Earthquake Insurance Premium Rates Based on Stochastic Methods. Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara Turkiye.

Erberik, M.A. (2008a). Fragility-based assessment of typical mid-rise and low-rise RC buildings in Turkey, Engineering Structures; 30(5):1360-1374.

Erberik, M.A. (2008b). Generation of fragility curves for Turkish masonry buildings considering in-plane failure modes, Earthquake Eng. and Structural Dynamics; 37(3): 387-405.

Festa, G., A. Zollo, G. Manfredi, M. Polese, and E. Cosenza (2004). Simulation of earthquake ground motion and effects on engineering structures during the phase of an active volcano, Bull. Seismol. Soc. Am. **94**, 2213–221.

Gencturk B, Elnashai A.S, Song J. (2008). Fragility Relationships for Populations of Woodframe Structures Based on Inelastic Response, Journal of Earthquake Engineering 2008; 12(S2):119-128.

Gutenberg B. ve C.F. Richter (1956). Magnitude and energy of earthquakes, *Annali fi Geofisica*; **9(1)**.

McGuire, R. (2004). Seismic Hazard and Risk Analysis, Earthquake Engineering Research Institute, MNO-10, 240 sayfa.

Özmen, B. ve G. Bağcı (2000). 12 Kasım 1999 Düzce Depremi Raporu, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Aralık, Ankara.

B. Ugurhan ve A. Askan (2010). Stochastic Strong Ground Motion Simulation of the 12 November 1999 Düzce (Turkey) Earthquake Using a Dynamic Corner Frequency Approach, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **100 (4)**, 1498-1512.

B. Ugurhan, A. Askan ve M.A. Erberik (2011). A Methodology for Seismic Loss Estimation in Urban Regions Based on Ground Motion Simulations, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **101 (2)**, 710-725.

Ün E.M., Erberik M.A., ve Askan A. (2011). An Integrated Seismic Loss Estimation Methodology: A Case Study in Northwestern Turkey, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* (değerlendirmede).

Wells, D. ve K. Coppersmith (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **84**, 974–1002.

Zhao, Z., Z. Zhao, J. Xu, R. Kubota, ve L. Liu (2007). Strong ground motion simulation for seismic hazard assessment in an urban area, *J. Geophys. Eng.* **4**, 308–316.