

ZEYTİNBURNU İLÇESİ İÇİN DEPREM HASAR TAHMİNİ ÇALIŞMASI

H. Karaman

İTÜ, İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh.Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı Maslak İstanbul, hkaraman@ins.itu.edu.tr

ÖZET

İstanbul'da gerçekleşmesi beklenen depreme, en iyi şekilde hazırlanmak için afetin hangi bölgeleri, hangi tipteki yapıları en çok etkileyeceği ve bu afetin nasıl bir ekonomik bilanço çıkaracağını afet olmadan önce tahmin etmek gerekmektedir. Bu mekanizma dünya üzerinde deprem için sıklıkla kullanılmakta ve tatmin edici sonuçlar vermektedir. Hasar tahmini için en önemli bileşen, ilgili bölgedeki tüm olası senaryoları uygulayabilecek ve bu senaryoların ilgili bölge yapıları üzerindeki etkilerinin görülmesini sağlayacak ve bu etkilerin azaltılması için gerekli güçlendirmeleri önerecek bir yazılımlar bütünüdür. Çalışma kapsamında geliştirilen HAZTURK adlı yazılım depremin toplum üzerindeki fiziksel, sosyal ve ekonomik sonuçlarını tahmin ve analiz eder.

Anahtar Sözcükler: Afet Yönetimi, Deprem Kayıp Analizi, Coğrafi Bilgi Sistemi, Hasar Tahmini, Veri Formatı.

ABSTRACT

EARTHQUAKE LOSS ASSESSMENT STUDY FOR ZEYTİNBURNU DISTRICT

It should be estimated that which regions will be affected more, which structures will have more damage, and what will be the economic losses after the disaster, to be prepared as good as possible to the expected Istanbul Earthquake. This estimation will help on preparedness, mitigation, early and rapid response stages and recovery phases of the disaster management progress. This methodology is being used on all over the world and giving very convincing results on earthquake cases. The most important component for the loss estimation is a kind of software that can realize all possible earthquake scenarios for the region of interest and provide the results of those scenarios and offer reinforcements to mitigate the consequences of the disaster. The goal of this study is to introduce the current and updated risks because of the earthquake possibility in Istanbul and help the decision makers by developing a living system which, can be updated as the inventory of the region of interest and the methodology for the loss assessment updates itself. For this study, the damage and losses to be assessed can be listed for the buildings.

Keywords: Disaster Management, Earthquake Loss Assessment, Geographic Information System, Damage Estimation, Data Format.

1. GİRİŞ

Türkiye, dünyada deprem riskinin en yüksek olduğu ülkelerden biridir. Ne yazık ki, 1999'da meydana gelen iki büyük depremden önce bu konuda hiçbir önlem alınmamıştır. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremleri sırasıyla Kocaeli ve Düzce'de meydana gelmiş ve resmi olarak 18,000'den fazla ölüm ve 109,000'den fazla binanın yıkılmasına neden olmuştur (Bibbee ve diğ., 2000).

Gerçekleşen depremlerin zararı ve beklenen büyük İstanbul depreminin olası hasarı, zarar azaltma ve hazırlıklı olma konularında çeşitli çalışmaların da önünü açtı. Bu konudaki ilk çalışma Pacifik Consultants International ve OYO Corporation adlı kurumların JICA (Japan International Cooperation Agency) adıyla katıldığı ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi ile birlikte yürüttükleri "Türkiye Cumhuriyeti, İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması" adlı çalışmadır. İstanbul için yapılan diğer büyük kapsamlı çalışma ise Amerikan Kızılhaç (ARC) ve Türk Kızılay'ının işbirliği ile desteklenen ve Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Gözlemevi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERI) Deprem Mühendisliği Bölümü tarafından yürütülen, "İstanbul Metropolitan Bölgesi için Deprem Risk Değerlendirmesi" adlı çalışmadır.

Her iki çalışmada beklenen İstanbul depremi ile ilgili çok önemli veri ve bilgi kaynakları üretmiş ve daha sonra yapılabilecek çalışmalar için öncü olmuşlardır. Buna rağmen, yapılan iki çalışma da İstanbul'daki deprem riskini çalışmaların yapıldığı yıllardaki risk olarak belirlemiş fakat her geçen yıl büyük bir hızla büyüyen İstanbul gibi bir metropolün gelişim hızına ayak uydurabilecek esnekliğe sahip olamamıştır. Bu durum, bahsedilen çalışmalarla belirlenen risklerin ve kayıpların artık güncelliğini yitirmiş olduğu ve bu gibi büyük kapsamlı çalışmaların güncel verilerle yeni baştan yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Gerçekleştirilen çalışma bu gibi durumlarda, gerek değişen çalışma bölgesi ve envanterin değişiminden etkilenmeden gereken zamanda aynı çalışmaların tekrarlanabilmesi, gerekse yeni gelişen araştırma ve inceleme yöntemlerine bağlı

değerlendirme ve analiz sonuçlarında meydana gelebilecek farklılıkların belirlenebilmesi için yeni yöntemlerin çalışmaya kolayca eklenebilmesi açısından bir avantaj sağlamaktadır.

Dünyadaki önde gelen sismik kayıp analizi yazılımları sadece geliştirildikleri ülkelerde kullanılabilecek şekilde üretilmiş ve sınırlandırılmıştır. Bu tür yazılımları başka ülkelerde de kullanabilmek için büyük değişimlere gitmek gerekmektedir. HAZUS örneğinden yola çıkılacak olursa, Türkiye’de HAZUS yazılımını kullanmak için öncelikle, Türkiye’ye özgü verileri HAZUS’ta tanımlı ve zorunlu olan projeksiyon ve datuma dönüştürmek gerekmektedir. Bu dönüşüm sadece verileri Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.) sınırları içerisinde gösterebilmek içindir. Bundan sonra ise kuvvetli yer hareketi kayıtları, idari sınır ve yönetim birimleri, kırılgenlikler ve envanter formatlarındaki farklılıkları gidererek tamamını A.B.D. standartlarına çevirmek gerekmektedir. Tüm bu dönüşümlerin ardından elde edilecek kayıp tahminlerindeki belirsizlik oranı artmış olacak ve sonuçlar ise Türkiye için anlam ifade edemeyecek birimlerde derlenebilecektir. Buna bağlı olarak tahmin doğrulukları da istenilen hassasiyette olamayabilecektir. Bu nedenle çalışmada, İstanbul ve Türkiye’ye özgü sismik kayıp analizi yapabilecek bir yazılımın geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada kullanılan yöntem Mid-America Earthquake (MAE) Center tarafından geliştirilen Sonuç Bazlı Risk Yönetimi (CRM) modelidir. Çalışma, afet, envanter ve kırılgenlik olmak üzere üç ana konuya ayrılmış ve bu konulardan elde edilen sonuçlara göre deprem kayıp analizi çalışması hazırlanmıştır.

2. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE VERİLER

Kayıp tahmin sonuçları girdilere bağlı olduğundan, sonuçlarda maksimum güvenilirliğe ulaşabilmek için girdilerin de mümkün olan en yüksek kalitede olmaları gerekmektedir. Çalışma esnasında İstanbul’da en yüksek kalitedeki mevcut veri Zeytinburnu ilçesi verileridir. Çalışmanın amacı doğrultusunda, İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nden (İBB) elde edilen verilerle Zeytinburnu ilçesindeki binalar için kayıp analizi yapılmıştır. Bina özniteliklerindeki doğruluk da göz önüne alındığında bu seçim, binalar için kayıp analizinde en iyi sonuçları sunmaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan temel veriler Zeytinburnu ilçesi binalarını içermektedir. Bu veri İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nin (İBB) Kentsel Dönüşüm Projesi kapsamında üretilmiştir. Zeytinburnu ilçesi kayıp analizi için geliştirilen yazılım nokta tabanlı verilerle çalıştığı için, çalışma kapsamında geliştirilen yazılımda kullanılmak üzere, bina verileri poligonlardan noktaya çevrilmiştir. Elde edilen veriler oluşturulan 25 kişilik arazi ekibi tarafından yerinde incelenmiş ve gerekli güncellemeler yapılmıştır. Bu kapsamda, Zeytinburnu ilçesindeki binalara ait imar ve tapu kayıtları incelenmiştir. Ayrıca tüm binalar arazide FEMA (Federal Emergency Management Agency) tarafından Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılmakta olan HAZUS (Hazards United States) programına veri toplanması için geliştirilen Hızlı Görsel İnceleme (Rapid Visual Screening) (FEMA-154, 2002) metodu kullanılarak güncellenmiştir. Bu güncellemeler sonunda mevcut bina verisine ait daha fazla ve güncel öznitelikler eklenebilmiştir. Son olarak bina verileri için TABİS veri formatına uyan bir veri formatı geliştirilmiş ve bina veri setleri yeniden sınıflandırılmıştır. Yapılan arazi çalışması sonucu yaklaşık 14000 binaya ait bina inşaat yılı belirlenmiştir. Aynı arazi çalışmaları sonucu 17037 olan Zeytinburnu ilçesi bina sayısı, yeni eklenen binalar ile birlikte 17219’a çıkmıştır. En son yapılan arazi çalışmalarının ardından 15857 binaya ait bina yapım yılları gerek yapı ruhsatları gerekse arazi çalışmaları sonunda elde edilmiştir. Aynı arazi çalışmasında, daha önce yapılan kentsel dönüşüm projesinden elde edilen binaların 503 tanesinin yıkıldığı yerlerine 267 yeni binanın yapıldığı belirlenmiştir.

Veri sınıflandırması kavramı, verilerin programın kullanacağı veri setlerine göre, hangi veri setinde hangi formatta hangi verilerin bulundurulacağını ve kullanılacağını açıklar. Veri sınıflandırması sonucunda veriler, Afet, Bina, Jeoloji, Topografya, Sınır, Fay Hattı, Azalım ve Eşleme olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda veri setlerinin veri formatları ise sırasıyla, ASCII-raster (*.asc ya da *.txt) ve WGS84 datumunda açılabilir koordinatlarla, shape file (*.shp) ve WGS84 datumunda nokta veri tipi ile, shape file (*.shp) ve poligon veri tipi ile WGS84 datumunda, ASCII-raster (*.asc ya da *.txt) ve WGS84 datumunda açılabilir koordinatlarla sayısal yükseklik modeli olarak, shape file (*.shp) ve poligon veri tipi olarak WGS84 datumunda, shape file (*.shp) ve çizgi veri tipi olarak WGS84 datumunda, tablo olarak ve azalım ilişkileri ve eşitliklerinde kullanılan katsayıları içerecek şekilde ve eşleme veri seti için veri formatı ise XML formatında tanımlanmıştır. Eşleme veri seti kırılgenlik eğrileri için yapılmış bir sınıflandırma dosyalarıdır. Çalışma kapsamında geliştirilen veri sınıflandırma sistemi Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1: Veri sınıflandırma sistemi

Veri seti	Veri formatı	Veri tipi
Afet	ASCII Raster	ASCII metin dosyası
Bina	ArcGIS Shape file	Nokta
Jeoloji	ArcGIS Shape file	Poligon

Topografya	ASCII Raster	ASCII metin dosyası
Sınır	ArcGIS Shape file	Poligon
Azalım	Comma separated value	Tablo
Diğer	ArcGIS Shape file	Çizgi/Nokta/Poligon
Eşleme	XML	XML

3. AFET ÇALIŞMASI

Afet ya da deprem tehlike haritası olarak adlandırılan ve deprem anında ilgili bölgeyi etkileyecek deprem hareketi ya da sarsıntısını göstermek amacıyla kullanılan verileri elde etmek için çalışma bölgesi için kullanılabilir olan azalım ilişkileri incelenmiştir. Buna göre Tablo 2’de verilen azalım ilişkileri seçilmiş ve geliştirilen yazılıma eklenmiştir. Kayıp analizi, depremin büyüklüğü, deprem odağının analiz yapılan yere olan uzaklığı, zemin koşulları ve topografyaya bağlı olarak hesaplanan yersel ivme değerlerine dayanmaktadır. Kuvvetli zemin hareket kayıtlarının eksikliği nedeniyle, Türkiye için çok sayıda azalım ilişkisi bulunmamaktadır. Türkiye için hazırlanmış azalım ilişkilerinde iki tür yaklaşım bulunmaktadır. Bunların ilki, Kuzey Anadolu Fayı ve San Andreas Fayı’nın gösterdiği yapısal benzerlikler nedeniyle Kuzeybatı Amerika için geliştirilmiş ilişkilerin uyarlanmasıdır. İkinci yaklaşım ise yalnız Türkiye’ye ait ya da hem Türkiye hem de dünya çapındaki kuvvetli zemin hareket kayıtlarının kullanımıyla yeni azalım ilişkilerinin oluşturulmasıdır (Karaman, 2008).

Tablo 2: İstanbul için kullanılabilen azalım ilişkileri

Yazar	Yersel Hareket Parametresi	Mesafe Türü
Kalkan & Gülkan (2004)	PGA&PSA	Joyner ve Boore mesafesi
Özbey vd., (2004)	PGA&SA	Joyner ve Boore mesafesi
Ulusay vd., (2004)	PGA	Episantr mesafesi
Boore vd., (1997)	PGA&SA	Joyner ve Boore mesafesi
Sadigh vd., (1997)	PGA&SA	Joyner ve Boore mesafesi
Boore ve Atkinson (2006)	PGA, PGV, SA	Joyner ve Boore mesafesi
Campbell ve Bozorgnia (2006)	PGA, PGV, PGD, SA	Kırılma yüzeyine olan mesafe
Chiou ve Youngs (2006)	PGA&SA	Kırılma yüzeyine olan mesafe

Next Generation Attenuation Model (NGA) olarak adlandırılan ve Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER Center) tarafından gerçekleştirilen yeni nesil azalım modellerinden Türkiye ve özellikle İstanbul için kullanılabilir olan azalım ilişkileri de sisteme eklenmiştir. Bu yeni nesil azalım ilişkileri günümüzde kuvvetli yer hareketlerini en iyi tahmin edebilen modellerdir. Bu modellerin önemi, oluşturulurken kullanılan kuvvetli yer hareketi veritabanından kaynaklanmaktadır.

Sıvılaşma olasılığını da hesaba katmak için gerekli veri JICA (2002) çalışması sonucu elde edilen veri setinden alınmıştır.

Eğim verisi afet analizinde topografyanın ivme yükseltme değerini hesaplamak üzere kullanılır. Eğimin deprem ivmesine etkisi 1970’li yıllardan beri incelenmektedir. Kanyonlarda, tepelerde, sırtlarda ve uçurumlarda olduğu gibi düz olmayan yer yüzeylerinin sismik etkilerinin yapılar için zararlı olduğu, 1978 Miyagiken-oki, 1985 Şili, 1978, Güney Almanya, 1987 Whittier Narrows, 1980 Irpinia, 1999 Eje Cafetero-Colombia, 1971 San Fernando, 1983 Coalinga ve benzeri birçok depremde görülmüştür. Buna göre depremlerde en ağır hasarlar uçurumların ve sırtların tepelerinin ya da kanyon ve tepelerin zirvelerinin yakınlarında oluşmuştur (Gazetas, 2002). Çalışmada hazırlanan yazılım büyük boyutlu verilerle yapılan analizleri içerdiğinden topografyanın deprem ivmesi üzerindeki etkisinin minimum işlemci ihtiyacı ile çalışması en uygun çözümü sunmaktadır. Bu nedenle günümüzde Avrupa’da da kullanılan Eurocode 8 sismik yönetmeliğinde verilen ve bugüne kadar yapılan çalışmalarda uygulanabilirliği tespit edilen topografik yükseltme etkisi çalışmada kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan eğim verisi geliştirilen program kullanılarak elde edilmiştir. Verinin elde edilmesi için gerekli olan İstanbul’a ait sayısal yükseklik modeli yine İBB’den elde edilmiştir.

4. DEPREM HASAR ANALİZİ

4.1. Deprem Senaryosu

Çalışma kapsamında oluşturulan HAZTURK programını kullanarak deprem senaryo analizi gerçekleştirilmesi sekiz ön tanımlı ve ayarlanabilir azalım ilişkisi ayrı ayrı ya da yine ön tanımlı ağırlıklar kullanılarak birlikte gerçekleştirilebilir. Makalede sunulan çalışma kapsamında yapılan analizde JICA (2002) çalışmasında önerilen dört modelden biri ve en olası deprem senaryosu olarak sunulan Model A kullanılmıştır. Bu senaryoya göre; Model A, fay hattının doğu bölümündeki kırılmadır. Bu parça 120 km uzunluğunda olup, 1999 depreminde kırılan hattın batı kısmından Silivri hattına kadardır. Bu model, sismik hareketin batıya yönelmesi nedeniyle, 4 deprem senaryosu arasında en olası görülmüştür. Moment büyüklüğünün (M_w) 7.5 olacağı öngörülmektedir (JICA, 2002). Analizlerde kullanılan deprem kaynak mekanizmaları Sato vd., (2004) çalışması baz alınarak belirlenmiştir. Bu konuda daha detaylı bilgi için ilgili yayınların incelenmesi önerilir.

4.2. Analiz Girdileri

Bu bölümde verilen analiz sonuçları PEER Center tarafından 2006 yılında aralarında Türkiye’de gerçekleşen son depremlerin de bulunduğu kuvvetli yer hareketleri veritabanı kullanılarak yürütülen NGA Modelleri projesi kapsamında Dr. David M. Boore ve Dr. Kennet Atkinson tarafından geliştirilen, Boore and Atkinson, (2006) NGA azalım ilişkileri ile Boore vd., (1997), Özbey vd., (2004) ve Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkileri kullanılarak üretilmiştir. Her bir azalım ilişkisinin vereceği sonuçlar birbirinden farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar kullanılan kuvvetli yer hareketleri kayıtları, mesafe türleri, kaynak mekanizmaları ve metodolojilerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle hasar durumu ile ilgili karara varılmadan önce bölge için kullanılacak tüm azalım ilişkileri ile yapılan analiz sonuçlarının incelenip karşılaştırılması gerekmektedir.

Binalarda oluşabilecek hasar olasılıkları veri setindeki her binanın, bina kat sayısı, yapım yılı, yapı tipi ve binaya denk gelen konumda tahmin edilen deprem ivmesi ilgili kırılma eğrileri ile eşleştirilerek hesaplanmıştır. Hasar olasılığının hesaplanması için eşitlik (1) kullanılmıştır.

$$P(LS_i | S_a) = \Phi\left(\frac{\ln S_a - \lambda_i}{\beta}\right) \quad (1)$$

Eşitlikte S_a spektral ivme talebini, Φ standart normal kümülatif dağılım fonksiyonunu, LS_i inci limit durumundaki eşik değerini ve λ ile β ise her bir kırılma eğrisi için özel olarak belirlenmiştir. β çeşitli belirsizlikleri temsil etmektedir. Hasar olasılıkları her bir limit durumun aşılma olasılıklarından elde edilir. Acil kullanım, can güvenliği ve göçük önleme, sapma limitleri; ilk akma, plastik deformasyon başlangıcı ve güç azalımı gibi limit durumları tarafından tanımlanan teker hasar limitlerinin aşılma olasılığı için hesaplanır. Kullanılan hasar durumları Az, Orta, Ağır Hasar ve Yıkık olarak adlandırılmıştır. Hasara ait ortalama ve standart dağılımı elde etmek için hasar olasılıkları ağırlıklandırılmıştır (Elnashai vd., 2008).

4.3. Analiz Sonuçları

Zeytinburnu ilçesi binaları için Boore ve Atkinson (2006) azalım ilişkisi kullanılarak yapılan deprem hasar analizi sonuçları Tablo 3’te, detaylı olarak, Boore vd., (1997), Özbey vd., (2004) ve Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkileri ile elde edilen binalara ait deprem hasar tahmini sonuçları ise Tablo 4’te özet olarak verilmektedir. Buna göre Tablo 4’teki sonuçlar karşılaştırıldığında, sadece Türkiye’deki kuvvetli yer hareketleri kayıtları kullanılarak üretilen Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisinin kullanımı ile elde edilen hasar tahminlerinde ortalama bina hasar oranları ve yıkık bina oranları daha fazla çıkmaktadır. Fakat yine benzer bir yöntemle üretilen Özbey vd., (2004) azalım ilişkisi yeni nesil azalım ilişkileri ile tahmin edilen hasarlı bina oranları ile çok yakın sonuçlar vermektedir. Geçmiş hasar tahmin çalışmalarında en çok kullanılan Boore vd., (1997) azalım ilişkisi kullanıldığında ise diğer iki sonucun ortalama değerlerine çok yakın değerlere sahip hasar oranları elde edilmiştir (Karaman, 2008).

Tablo 3: HAZTURK bina hasar tahmini sonuçları

Boore ve Atkinson (2006)		Az hasarlı	Orta hasarlı	Ağır hasarlı	Yıkık	Ortalama hasar
Yapı tipi	Bina sayısı	%	%	%	%	%
C1	7355	44.12	40.91	12.19	2.78	15.77
C2	6860	53.35	37.55	7.10	2.00	11.79

C3	6	34.62	32.92	25.36	7.10	25.61
PC1	75	36.63	37.53	20.89	4.95	21.94
PC2	222	43.85	34.88	19.12	2.15	18.08
RM	150	46.51	33.62	17.68	2.19	17.14
S1	10	53.11	33.39	10.64	2.86	36.78
S3	13	26.45	39.29	28.70	5.56	48.20
URM	2499	29.24	33.03	24.19	13.53	52.59
W1	21	47.12	40.37	9.64	3.87	31.52
W2	8	66.60	28.09	4.90	0.41	20.31
Tümü	17219	43.78	35.60	16.40	4.22	18.55

Tablo 4: Farklı azalım ilişkilerine göre Mw 7.5 deprem bina hasarları karşılaştırması

HAZTURK	Az hasarlı	Orta hasarlı	Ağır hasarlı	Yıkık	Ortalama hasar
Azalım ilişkileri	%	%	%	%	%
Boore ve Atkinson (2006)	43.78	35.60	16.40	4.22	18.55
Özbey vd., (2004)	43.69	35.02	16.63	4.66	18.99
Boore vd., (1997)	36.12	36.99	20.14	6.75	23.06
Kalkan ve Gülkan (2004)	30.91	37.69	22.74	8.66	26.29

Çalışma kapsamında JICA (2004) çalışmasında en kötü ihtimal olarak önerilen Model C adlı deprem senaryosu da kullanılmış böylece iki farklı senaryo için oluşabilecek bina hasarlarının da karşılaştırılması sağlanmıştır. Model C'ye göre elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: 7.5 ve 7.7 Mw deprem senaryolarına göre deprem bina hasarlarının karşılaştırılması

Mw 7.5	Az hasarlı	Orta hasarlı	Ağır hasarlı	Yıkık	Ortalama hasar
Azalım ilişkileri	%	%	%	%	%
Boore ve Atkinson (2006)	43.78	35.60	16.40	4.22	18.55
Boore vd., (1997)	36.12	36.99	20.14	6.75	23.06
Mw 7.7	Az hasarlı	Orta hasarlı	Ağır hasarlı	Yıkık	Ortalama hasar
Azalım ilişkileri	%	%	%	%	%
Boore ve Atkinson (2006)	20.32	36.68	28.45	14.55	34.53
Boore vd., (1997)	35.83	37.05	20.28	6.84	23.23

5. DİĞER DEPREM HASAR ANALİZİ ÇALIŞMALARI

Çalışma kapsamında geliştirilen yazılımın elde ettiği sonuçlar geliştirilen yazılımda kullanılan metodolojinin kabul edilebilirliğini anlamak amacıyla daha önce yapılan çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Zeytinburnu İlçesi için Deprem Hasar Tahmini Çalışması

5.1. JICA (2002) Çalışması

Zeytinburnu ilçesi için yapılan ilk çalışma 2002 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi için The Pacific Consultants International and OYO Corporation tarafından Japan International Cooperation Agency (JICA, 2002) adıyla gerçekleştirilmiştir. Bu deprem senaryolarından Model A ve Model C'ye bağlı Zeytinburnu ilçesi için analiz sonuçları Tablo 6'da verilmektedir.

5.2. KOERI (2003) Çalışması

İstanbul ili tamamına yönelik bir diğer deprem risk değerlendirme çalışması ise Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından gerçekleştirilen "Earthquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitan Area" adlı çalışmadır. (KOERI, 2003) Bu çalışmaya ait sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

5.3. Küçükçoban (2004) Çalışması

Zeytinburnu ilçesini de kapsayan bir diğer çalışma ise Küçükçoban (2004)'ın yapmış olduğu tez çalışmadır. Bu çalışma JICA (2002) çalışması verileri ve İ.B.B.'den elde edilen verilerin istatistikî olarak güncellenmesi üzerine yapılmıştır. Bu çalışmada deprem senaryosu JICA (2002) çalışmasında önerilen Model A olarak seçilmiş ve Tablo 6'daki sonuçlar elde edilmiştir.

5.4. Yakut vd., (2006) Çalışması

Zeytinburnu ilçesi için son deprem sonrası bina hasarı tahmini çalışması ise Yakut ve diğ. (2006) tarafından yapılmıştır. Bu çalışma, Türkiye'deki az ve orta katlı betonarme yapılar için spektral yer değiştirme kullanılarak elde edilen hasar indisi yardımıyla sismik performans değerlendirmesi yöntemi sunmaktadır. Çalışmada bir ila yedi katlı toplam 3036 bina için moment büyüklüğü 7.5 olan bir senaryo deprem kullanılmıştır. Çalışma sonuçları Tablo 6'da verilmektedir.

5.5. Griffiths vd., (2007) Çalışması

Griffiths vd. (2007)'nin Zeytinburnu için yaptığı çalışma ise Düzce ve Zeytinburnu'ndaki binaların zarar görülebilirlik indislerinin karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Bu çalışmada detaylı ya da sayısal olarak hasar tahmin sonuçları verilmemiş ancak, iki bölgedeki sismik benzerliklere dayanılarak olası bir depremde İstanbul'un güney kısmındaki binaların %40'lık bir kısmının yıkılacağı ya da ağır hasar alacağı tahmin edilmiştir.

5.6. BİMTAŞ (2007) Çalışması

Zeytinburnu İlçesi Kentsel Dönüşüm Projesi kapsamında İstanbul Büyükşehir Belediyesi şirketi BİMTAŞ tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Zeytinburnu'ndaki bina envanteri toplanmış ve bu envanter toplama esnasında binalar için görsel inceleme ve uzman görüşüne dayalı bir değerlendirme sonucu hasar tahmini yapılmıştır. Tahmin sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

5.7. Bal vd., (2008) Çalışması

Bal vd. (2008)'nin İstanbul için yaptığı çalışma, İtalya'da ROSE School tarafından geliştirilen DBELA adlı yazılımın, olası 7.5 Mw büyüklüğünde bir deprem sonrası binalarda meydana gelebilecek hasarların tahminini sunmaktadır. Çalışma sonuçları Tablo 6'da verilmektedir.

5.8. Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması

Yapılan tüm çalışmalarda kullanılan yöntemler ve algoritmaların farklılıklarına dayanan sonuç farkları bulunmaktadır. Bu gibi çalışmalarda önemli olan yöntem ve senaryoların değişmesi durumunda hızlıca analizi tekrarlayabilmektir. Yapılan eski çalışmalarda sunulan çalışma sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6: Farklı çalışmalar ve azalım ilişkileri ile 7.5 moment büyüklüğündeki deprem senaryosu sonuçlarının karşılaştırması

JICA (2002) Mw 7.5 <i>Boore et al., (1997)</i>	<i>H+M+P</i>	<i>H+M</i>	<i>H</i>	<i>H: Ağır Hasar</i> <i>M: Orta Hasar</i>
	61.2	34.0	16.6	
KOERI (2003) Mw 7.5 <i>Spectral Displacement Based</i>	----	<i>Orta Hasar</i>	<i>Ağır Hasar</i>	<i>Yıkık</i>
		26.45	9.14	4.72

<i>Intensity Based</i>			<i>Ağır Hasar</i>	<i>Onarılamayacak Hasar</i>
			10.43	5.5
Kucukcoban (2004) Mw 7.5	<i>Az Hasar</i>	<i>Orta Hasar</i>	<i>Ağır Hasar</i>	----
<i>IBB-New</i>	0.02	82.79	17.20	
<i>JICA-New</i>	0.00	3.57	96.43	
<i>JICA-Check</i>	0.00	17.90	82.10	
Yakut <i>et al.</i> , (2006)	<i>Az Riskli</i>	<i>Orta Riskli</i>	<i>Yüksek Riskli</i>	----
<i>Damage Indexes</i>	10	21	69	
BİMTAŞ (2007)	<i>Kısmi Hasar</i>	<i>Orta Hasar</i>	<i>Ağır Hasar</i>	----
<i>Judgmental</i>	53.0	31.2	15.8	
Bal vd., (2008)	----	<i>Orta Hasar</i>	<i>Ağır Hasar</i>	<i>Yıkık</i>
<i>Boore et al.</i> , (1997)		27.24	11.05	6.37
HAZTURK (2008) Mw 7.5	<i>Az Hasar</i>	<i>Orta Hasar</i>	<i>Ağır Hasar</i>	<i>Yıkık</i>
<i>Boore and Atkinson (2006)</i>	43.78	35.60	16.40	4.22
<i>Ozbey et al.</i> , (2004)	43.69	35.02	16.63	4.66
<i>Boore et al.</i> , (1997)	36.12	36.99	20.14	6.75
<i>Kalkan & Gulkan (2004)</i>	30.91	37.69	22.74	8.66

6. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında geliştirilen program kullanıcıya deprem senaryosu, hasar ve kayıp analizleri, güçlendirme alternatifleri ve karar destek analizlerinde geniş kapsamlı seçenekler sunmakta ve değişik yaklaşımlarda değerlendirmeler için sonuçlar üretebilmektedir. Bu bağlamda bu çalışmada verilen sonuçlar yine verilen yaklaşımların ortalaması olarak dikkate alınmalı ve programın mutlak sonuçları olarak görülmemelidir (Karaman, 2008).

Bina hasar tahmini sonuçlarına göre, donatısız taşıyıcı dolgu duvarlı yığma (URM) yapılar hem Zeytinburnu ilçesinde hem de İstanbul ili genelinde, Zeytinburnu için %13.53 ve İstanbul için %30.65 yıkık bina oranı ile depreme karşı en dayanıksız yapılar olarak belirlenmiştir. İkinci en dayanıksız yapı türü ise donatısız dolgu duvarlı betonarme çerçevesi yapılar (C3) olarak görülmektedir. Yine sonuçlardan gözlenene göre 1 ila 3 kat arasındaki yapılar deprem karşısında diğer yapılara göre daha fazla hasar görebilirliğe sahip olduğu fark edilmektedir. Genel olarak 1976'dan önce inşa edilen yapıların % 40 ortalama hasar ile 1999'dan sonra inşa edilenlere göre (% 25 ortalama hasar oranı) daha dayanıksız olduğu ortaya çıkmıştır. Buna göre 1999 depremlerinden sonra inşaat kalitesinde bir artış ya da inşaat sektöründe bir bilinçlenme olduğu sonuçları çıkarılabilir (Karaman, 2008).

Veri setlerindeki ve metodolojilerdeki farklılıklara rağmen tez çalışması kapsamında Zeytinburnu ve İstanbul için yapılan deprem hasar tahmini, daha önce yapılmış olan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılabilir çıkmıştır. KOERI (2003) çalışmasının yıkık bina oranları ile tez çalışmasında elde edilen yıkık bina oranları birbirine çok yakın çıkmıştır. Yıkık bina oranlarının bulunmadığı JICA (2002) çalışmasıyla yapılan karşılaştırmalarda, aynı azalım ilişkileri kullanıldığında aynı deprem senaryoları için sunulan tez çalışması sonuçları ve JICA (2002) çalışması sonuçları birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu da göstermektedir ki yapılan tez çalışmasının amacı olan güvenilir bir hasar tahmin sistemi, yaşayan ve ölçeklenebilir bir sistem olarak geliştirilebilmiştir (Karaman, 2008).

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Prof. Dr. Muhammed Şahin yürütücülüğündeki TÜBİTAK 104Y254 numaralı proje ile desteklenmiştir. Aynı zamanda doktora danışmanım olan Muhammed Şahin'e sonsuz desteklerinden ötürü minnettarım. Çalışmaya destek veren diğer kurum olan İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü'ne katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Çalışma, Amerika Birleşik Devletleri'nde merkezi University of Illinois at Urbana-Champaign'de bulunan Mid-America Earthquake Center ortaklığıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, çalışmamın inşaat mühendisliği alanında yardımcı olan yapısal mühendislik anabilim dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Amr S. Elnashai'ye teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Bal, I. E., Crowley, H., Pinho, R. 2008. *Displacement-based earthquake loss assessment for an earthquake scenario in Istanbul*, Journal of Earthquake Engineering, sayı: 12, sayfa: 12-22.
- Bibbee, A., Gonenc, R., Jacobs, S., Konvitz, J., Price, R. 2000. *Economic Effects of the 1999 Turkish Earthquakes: An Interim Report*, Technical Report, Organization for Economic Co-operation and Development, Economics Department Working Papers No. 247, 26 Haziran, Paris.
- Boore, D. M. and Atkinson, G. M., 2006. *Provisional Empirical Ground-Motion Model for the Average Horizontal Component of PGA, PGV and SA at Spectral Periods of 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1, 2, 3, 4 and 5 Seconds*, NGA Technical Report Version 1.70, PEER Center, Berkeley.
- Boore, D. M., Joyner, W.B., Fumal, T.E., 1997. *Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work*, Seismological Research Letters, sayı: 68, sayfa: 128-153.
- Campbell, K.W. ve Bozorgnia, Y. 2006. *Ground Motion Model for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and SA at Selected Spectral Periods Ranging from 0.01-10.0 Seconds*, NGA Technical Report Version 1.1, PEER Center, Berkeley.
- Chiou, B.S.-J. ve Youngs, R.R. 2006. *PEER-NGA Empirical Ground Motion Model for the Average Horizontal Component of Peak Acceleration and Pseudo-Spectral Acceleration for Spectral Periods of 0.01 to 10 Seconds*, Interim Report for USGS Review.
- Chiou, B.S.-J. 2003. *New Hazard Assessment Product: Next Generation of Attenuation Model (NGA)*, 2003 PEER Annual Meeting, Palm Springs, U.S.
- Elnashai, A.S., 2007. Kişisel Görüşme.
- Elnashai, A. S., Hampton, S., Karaman, H., Lee, J.S., McLaren, T., Myers, J., Navarro, C., Sahin, M., Spencer, B., Tolbert, N. 2008. *Overview of Applications of MAEviz-Istanbul – HAZTURK-2007*, Journal of Earthquake Engineering, sayı: 12, sayfa: 100-108.
- Federal Emergency Management Agency. 1999. *HAZUS Earthquake Loss Estimation Methodology: User's Manual*, Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA-154). 2002. *Rapid Visual Screening of the Buildings for Potential Seismic Hazards Handbook*, Earthquake Hazard Reduction Series.
- Gazetas, G., Kallou, P.V., and Psarropoulos, P.N., 2002. *Topography and Soil Effects in the Ms 5.9 Parnitha (Athens) Earthquake: The Case of Adames*, Natural Hazards, sayı: 27, sayfa: 133-169.
- Griffiths, J. H. P., Irfanoglu, A., Pujol, S., 2007. *Istanbul at the Threshold: An Evaluation of the Seismic Risk in Istanbul*, Earthquake Spectra, sayı: 20, sayfa: 63-75.
- Jeong, S-H. ve Elnashai, A. S. 2006. *New three-dimensional damage index for RC buildings with planar irregularities*, Journal of Structural Engineering, sayı: 132, sayfa: 1482-1490.
- Japan International Cooperation Agency (JICA) and Istanbul Metropolitan Municipality (IMM). 2002. *The Study on A Disaster Prevention/Mitigation Basic Plan in Istanbul including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey*, Final Report, Istanbul.
- Kalkan, E. ve Gülkan, P. 2004. *Empirical Attenuation Equations for Vertical Ground Motion in Turkey*, Earthquake Spectra, sayı: 20, sayfa: 853-822.
- Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI). 2003. *Earthquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitan Area, Bogazici University, Department of Earthquake Engineering*, Final Report, Istanbul.
- Karaman, H., Sahin, M., Elnashai, A.S., Pineda, O. 2008. *Loss Assessment Study for Zeytinburnu District of Istanbul Using MAEviz-ISTANBUL (HAZTURK)*, Journal of Earthquake Engineering, sayı: 12, sayfa: 187-198.
- Karaman, H., 2008. *Sonuç Bazlı Risk Yönetimi ve Deprem Kayıp Tahmini Analizi*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Küçükçoban, S., 2004. *Development of a Software for Seismic Damage Estimation: Case Studies*, Doktora Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ozbey, C., Sari, A., Manuel, L., Erdik, M., Fahjan, Y., 2004. *An empirical attenuation relationship for Northwestern Turkey ground motion using a random effects approach*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, sayı: 24, sayfa: 115-125.
- Sadigh, K., Chang, C.Y., Egan, J.A., Makdisi, F., Youngs, R.R., 1997. *Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data*, Seismological Research Letters, sayı: 68, sayfa: 180-189.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., 2004. *An Attenuation Relation Based on Turkish Strong Motion Data and Iso-acceleration Map of Turkey*, Engineering Geology, sayı: 74, sayfa: 265-291.
- Yakut, A., Özcebe, C., Yücemem, M.S., 2006. *Seismic Vulnerability Assessment Using Regional Empirical Data*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, sayı: 35, sayfa: 1187-1202