

Zeytinburnu ilçesi için deprem hasar tahmini çalışması

Himmet KARAMAN*, Muhammed ŞAHİN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

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. Çalışmanın amacı, İstanbul için deprem nedeniyle olası mevcut ve güncellenen riskleri ortaya koymak ve karar vericilere riski ortadan kaldırmak ya da azaltmak için geliştirilecekleri zarar azaltma stratejilerinde yardımcı olabilecek güncellenen veri ve yöntemlere göre kendini yenileyebilen bir yazılım geliştirmektir. HAZUS ve MAEviz Amerika'da ulusal düzeyde kullanılan programlardır ve doğal afetlerin insan yaşamına uzun dönem sosyal ve ekonomik etkilerini azaltmada etkin bir rol oynamaktadırlar. Çalışma kapsamında geliştirilen HAZTURK adlı yazılım da bu sistemler gibi depremin toplum üzerindeki fiziksel, sosyal ve ekonomik sonuçlarını tahmin ve analiz eder. Çalışma kapsamında yapılan uygulamada pilot bölge olarak Zeytinburnu ilçesi seçilmiş ve mevcut bina verileri kullanılarak deprem hasar analizi yapılmıştır. Oluşturulan envanterin hasar görülebilirlikleri (kırılabilirlik) saha çalışmaları ile parametrik kırılabilirlik metodu kullanılarak belirlenmiş ve oluşturulan hasar tahmin yazılımı kullanılarak tüm bina verilerine ait olası deprem sonrası yapısal ve ekonomik kayıplar belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem hasar tahmini, coğrafi bilgi sistemleri, afet yönetimi, risk yönetimi.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Himmet KARAMAN. karamanhi@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 67 83.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "İstanbul için sonuç bazlı risk yönetimi ve deprem kayıp tahmini analizi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 06.11.2008 tarihinde dergiye ulaşılmış, 17.11.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.09.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Earthquake loss assessment study for Zeytinburnu district

Extended abstract

After the 1999 earthquakes hit Kocaeli and Düzce, several seismic loss assessment studies were performed for the city of Istanbul; many of them were carried out by the most important academicians in Turkey. However, due to the rapid changes in the exposed inventory of the city, those studies were losing accuracy. This paper presents a seismic loss assessment system that can easily reanalyze earthquake scenarios including updates in the exposed inventory. This software can be used by the government decision makers and disaster management agencies. In the analysis described in this paper, the inventory data for the Zeytinburnu District is updated and visualized by using the rapid visual screening of buildings. Results from a loss assessment for the Zeytinburnu District are presented and compared with the results from previous studies. The loss assessment analysis for this study provide estimates of building damage, retrofit cost and economic loss.

The increasing interest in computer-based seismic risk and loss assessment systems imposes new research requirements on the earthquake engineering community. Such systems are being used for the important purposes of disaster response planning and formulating risk reduction policies. Their accuracy and reliability are therefore fundamental to the success of these mitigation measures. The ingredients of seismic loss assessment are hazard, vulnerability or fragility, inventory and integrated visualization (losses). Assessment of the effects of such an earthquake in Istanbul to the buildings, substructures and transportation networks will help excessively in the preparation stage before the disaster. It is obvious that the expected earthquake for the Istanbul will cause inescapable and irreversible consequences for human life and economy of the country. That is why, 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 earthquake. This kind of estimation will help on preparedness for the earthquake, mitigation, early and rapid response stages after the disaster, and recovery phases of the disaster management progress. This estimation 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 the affects of those scenarios on the region and offer reinforcements to mitigate the consequences of the disaster.

This study based on MAEViz, a multipurpose risk assessment tool recognized by FEMA and supported by NSF in the United States and HAZUS, FEMA's multi-hazard risk assessment tool. This new tool for Turkey comprehensively addresses all aspects of risk assessment and provides "out of the box" analysis. In this study, Zeytinburnu district was chosen as the pilot region and following the development of the system, applied for the Istanbul. 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. By this way it can help the decision makers on eliminating or reducing the risks. In the loss assessment process, the accuracy of the estimation is directly connected to the accuracy and the correctness of the inventory. That is why; the inventory for such an assessment study must be accurate and current. For this study, the damage and losses to be assessed can be listed for the buildings.

The first step of the study was to establish an up-to-date and accurate dataset for a region like Istanbul having an outdated and limited data on buildings and perform loss estimation over the established inventory. That is why the Zeytinburnu district was chosen as the pilot study region. The fragilities of this inventory were determined by field surveying and the parametrized fragility method. Loss estimation on the building and utility network data were made using HAZTURK, the developed loss estimation software to determine the post-earthquake structural damage and economic losses. The most important aspect of the software is to enable all possible earthquake scenarios to be analyzed having tools and menus in Turkish. HAZTURK is specifically designed to meet the needs of practitioners and researchers in Turkey with a user-friendly system.

Keywords: Earthquake loss assessment, geographic information systems, disaster management, risk management.

Giriş

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 18000'den fazla ölüm ve 109,000'den fazla binanın yıkılmasına neden olmuştur (Bibbee vd., 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 Öleme/Azaltma Temel Planı Çalışması" adlı çalışmadır. İstanbul için yapılan diğer büyük kapsamlı çalışma ise Amerikan Kızıllaç (ARC) ve Türk Kızıllaç'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 kullanılacak 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, kırılmalıklar 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 kırılmalıklık olmak üzere üç ana konuya ayrılmış ve bu konulardan elde edilen sonuçlara göre deprem kayıp analizi çalışması hazırlanmıştır.

Çalışma bölgesi ve veriler

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 Büyük-

şehir 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 poligondan 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 sayı-

sı, 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 bulunulacağını 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 açısız 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 açısız 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 kırılma 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

Afet çalışması

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. 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.

Kırılma eğrileri

Yapılarda deprem nedeniyle oluşabilecek hasarların tahmin edilebilmesi için ilgili yapının deprem nedeniyle oluşacak etkiye verebileceği tepkinin modellenmesi gerekmektedir. Kırılma eğrisi ya da hasar görebilirlik olarak adlandırılan bu fonksiyonlar, sarsıntı şiddeti, sistem talebi ve aynı sistemin tepki sınırını aşmasının şartlı olasılıkları arasındaki ilişkiler olarak tanımlanırlar.

Tablo 2. İstanbul için kullanılabilir azalım ilişkileri

Yazar	Yersel Hareket Parametresi	Mesafe Türü
Kalkan ve Gülkan (2004)	PGA&PSA	Joyner ve Boore mesafesi
Özbey ve diğerleri (2004)	PGA&SA	Joyner ve Boore mesafesi
Ulusay ve diğerleri (2004)	PGA	Episantr mesafesi
Boore ve diğerleri (1997)	PGA&SA	Joyner ve Boore mesafesi
Sadigh ve diğerleri (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

Tez çalışmasında İstanbul binaları için kırılabilirlik eğrilerinin üretilmesi amacıyla Parametrik Kırılabilirlik Metodu (PFM) adında, yakın zamanda Jeong ve Elnashai (2006) tarafından önerilen yeni bir kırılabilirlik ilişki sınıfı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda, kayıp analizinin yürütüleceği belirli senaryo için idealize edilmiş sistemler bir dizi yer hareketleri kümesiyle analiz edilmektedir. Tepki verisi, rijitlik, dayanım ve süneklik bilgileri bilinen herhangi bir sistem için ileri aşamalarda da çıkarımlara olanak verecek şekilde depolanmaktadır. Diğer bir deyişle; rijitlik, dayanım ve süneklik miktarları bilindiği takdirde, daha ileri simülasyonlara gerek duyulmadan analitik tabanlı olasılıksal kırılabilirlik ilişkileri türetilebilmektedir. Tamamen tutarlı ve sabit güvenilirlikte hasar analizi yapmaya elverişli olduğu için bölgesel kayıp analiz çalışmalarında kullanıma uygundur (Elnashai, 2007).

Çalışma kapsamında parametrik kırılabilirliklerin türetilmesi için HAZUS'ta (FEMA, 1999) bulunan itme eğrileri ve limit durumları kullanılmıştır. HAZUS'taki ilişkiler bir dizayn spektrumundan türetilen tek bir talep noktası kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kırılabilirlikler ise inelastik dinamik analiz talep noktalarını kullanmakta oldukları için daha üstündürler. Sonuçta elde edilen ilişkiler Sabit Kırılabilirlik ilişkileri olarak tanımlanmıştır.

Kırılabilirlik eğrilerinin oluşturulması için kullanılan Parametrik Kırılabilirlik Metodu'na gerekli olan girdilerden biri de kuvvetli yer hareketi kayıtlarıdır. Bu kayıtların güvenilir ve kırılabilirlik eğrisi belirlenecek bölgenin yer hareketlerini iyi bir şekilde temsil etmesi çok önemlidir. Bu nedenle PFM'de kullanılacak kuvvetli yer hareketi kayıtları günümüzde en organize ve gelişmiş kayıtları bulduran ve bu kayıtlar hakkında en detaylı meta verileri sunan veri tabanı olan NGA kuvvetli yer hareketi veri tabanı temel alınmıştır. 16 tanesi Kuzey Anadolu Fayının Batısında meydana gelen 26 tanesi ise San Andreas Fayından olan toplam 42 kuvvetli yer hareketi kaydı analize dâhil edilmiştir (Karaman vd., 2008).

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 görülmektedir. Moment büyüklüğünün (Mw) 7.5 olacağı öngörülmektedir (JICA, 2002). Analizlerde kullanılan deprem kaynak mekanizmaları Sato ve diğerleri (2004) çalışması baz alınarak belirlenmiştir. Bu konuda daha detaylı bilgi için ilgili yayınların incelenmesi önerilir.

Analiz sonuçları

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 ve Atkinson (2006), NGA azalım ilişkileri ile Boore ve diğerleri (1997), Özbey ve diğerleri (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, yapıım 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).

Zeytinburnu ilçesi binaları için Boore ve Atkinson (2006) azalım ilişkisi kullanılarak yapılan deprem hasar analizi sonuçları Tablo 3'te, detaylı olarak, Boore ve diğerleri (1997), Özbey ve diğerleri (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 ve diğerleri (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 ve diğerleri (1997) azalım ilişkisi kullanıldığında ise diğer iki sonucun ortalama değerlerine çok yakın değerlere sahip hasar oranları elde edilmiştir.

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.

Daha önce yapılan çalışmalar

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

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 ve diğerleri (2004)	43.69	35.02	16.63	4.66	18.99
Boore ve diğerleri (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

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.

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.

Küçükçoban (2004) çalışması

Zeytinburnu ilçesini de kapsayan bir diğer çalışma ise Küçükçoban (2004)'in 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.

Yakut ve diğerleri (2006) çalışması

Zeytinburnu ilçesi için son deprem sonrası bina hasarı tahmini çalışması ise Yakut ve diğerleri (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 değerlendirme 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.

İstanbul deprem master planı (2003)

Binalar için hasar sonucu veren diğer bir çalışma ise yine İstanbul Büyükşehir Belediyesi için Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi tarafından gerçekleştirilen İstanbul Deprem Master Planı'dır. (İDMP, 2003) Bu senaryo JICA (2002) çalışmasının Model A adlı en olasılıklı senaryosunu kullanmıştır. Çalışmaya ait tahmin sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Griffiths ve diğerleri (2007) çalışması

Griffiths ve diğerleri (2007)'nin Zeytinburnu için yaptığı çalışma ise Düzce ve Zeytinburnu'ndaki binaların zarar görebilirlik indislerinin

Tablo 5. Model A ve Model C'ye göre deprem bina hasarlarının karşılaştırması

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 ve diğerleri (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 ve diğerleri (1997)	35.83	37.05	20.28	6.84	23.23

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

HAZTURK	Az hasar	Orta hasar	Ağır hasar	Yıkık	Ortalama
Boore ve Atkinson (2006)	43.78	35.60	16.40	4.22	18.55
Ozbey ve diğerleri (2004)	43.69	35.02	16.63	4.66	18.99
Boore ve diğerleri (1997)	36.12	36.99	20.14	6.75	23.06
Kalkan ve Gulkan (2004)	30.91	37.69	22.74	8.66	26.29
JICA (2002)	H+M+P 61.2	H+M 34.0	H 16.6	H: Ağır hasar M: Orta hasar P: Kısmi hasar	
KOERI (2003)	---	Orta hasar	Ağır hasar	Yıkık	---
Spektral Yer Değiştirme		26.5	9.1	4.7	
Deprem Şiddetine Göre			10.43	5.5	
Yakut ve diğerleri (2006)	Az risk 10	Orta risk 21	Yüksek risk 69	---	---
İDMP (2003)	---	---	Ağır hasarlı bina oranı 13.22		
Küçükçoban (2004)	Az hasar	Orta hasar	Ağır hasar		
JICA-Check	0.00	17.90	82.10		
JICA-New	0.00	3.57	96.43		
IBB-New	0.02	82.79	17.20		

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.

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.

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 değerlendirilmeler için sonuçlar üretebilmektedir. Bu bağlamda bu çalışmada verilen sonuçlar yine verilen yaklaşımların ortalaması olarak dikkate alınmalı ve programın mutlak sonuçları olarak görülmemelidir.

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 çerçeveli 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 edilenle-

re 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 çıkartılabilir.

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.

Kaynaklar

- 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 Cooperation and Development, Economics Department Working Papers No. 247, June 26, Paris.
- Boore, D. M. ve 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*, **68**, 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*, **12**, 2, 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. ve Psarropoulos, P.N., (2002). Topography and soil effects in the Ms 5.9 Parnitha (Athens) Earthquake: The case of Adames, *Natural Hazards*, **27**, 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*, **20**, 1, 63-75.
- Istanbul Metropolitan Municipality Construction Directorate Geotechnical and Earthquake Investigation Department, (2003). Earthquake Master Plan for Istanbul, Technical Report, Istanbul.
- Jeong, S-H. ve Elnashai, A.S., (2006). New three-dimensional damage index for RC buildings with planar irregularities, *Journal of Structural Engineering*, **132**, 9, 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*, **20**, 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*, **12**, 2, 187-198.
- 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*, **24**, 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*, **68**, 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*, **74**, 265-291.
- Yakut, A., Özcebe, C., Yüçemen, M.S., (2006). Seismic vulnerability assessment using regional empirical data, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **35**, 1187-1202.