TÜRKİYE İÇİN DEPREM RİSK ANALİZİ YAZILIMI GELİŞİMİ: HAZTURK

H. Karaman[1], H.C. Ünen[2] ve M. Şahin[3]
[1] *Y. Doçent, Geomatik Müh. Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul*
[2] *Araştırma Görevlisi, Geomatik Müh. Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul*
[3] *Profesör, Geomatik Müh. Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul*
karamanhi@itu.edu.tr, unen@itu.edu.tr, sahin@itu.edu.tr

ÖZET:

Deprem tehlikesi ve riski Türkiye ve özellikle İstanbul için önemli bir gündem oluşturmaktadır. Bu nedenle beklenen depreme, en iyi şekilde hazırlanmak için afetin hangi bölgeleri, hangi tipteki yapı ve altyapıları en çok etkileyeceği, 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. Bu tür bir yazılım ihtiyacı Türkiye için 2005 yılında karşılanmak üzere İTÜ tarafından başlatılan bir proje ile giderilmek istenmiş ve MAE-Center ortaklığında geliştirilen HAZTURK adlı yazılım ile ilk aşaması tamamlanmıştır. İlk aşamada deprem tehlike haritalarının üretilmesi, deprem sonrası yapısal hasarların ve ekonomik kayıpların tahmini, güçlendirme seçenekleri ve güçlendirme sonrası yapısal hasar ve ekonomik kayıp tahminleri, altyapı şebekelerindeki hasarların bağımsız ve karşılıklı bağımlılığa göre tahmini gibi önemli analizler tamamlanmıştır. İkinci aşamada ulaşım ağlarının deprem sonrası kullanılabilirlik analizleri geliştirilmektedir. Buna göre depremin ardından yardıma ihtiyaç duyulan bölgeye ulaşımın sağlanabilmesi kolaylaştırılacaktır. Böylece, depremin toplum üzerindeki fiziksel, sosyal ve ekonomik sonuçlarını tahmin ve analiz edilebilir.

ANAHTAR KELİMELER : HAZTURK, Afet yönetimi, Deprem kayıp analizi, Hasar tahmini, Coğrafi Bilgi Sistemi

1. HAZTURK YAZILIMININ ARKAPLANI

HAZTURK yazılımı, 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 çıkılırsa, Türkiye'de 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, kırılganlıklar 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 HAZTURK yazılımı, İstanbul ve Türkiye'ye özgü sismik kayıp analizi yapabilecek şekilde geliştirilmiştir.

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

1.1. Deprem Kayıp Analizinde Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanımı

Bilgisayar tabanlı sismik risk ve kayıp analizi sistemlerine duyulan ilgi ve ihtiyaç, deprem mühendisliği alanında giderek artan oranda yeni araştırmaların gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu tür sistemler, afet müdahale planlaması ve risk azaltıcı politikalarının belirlenmesi gibi önemli amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, sistemlerin doğruluk ve güvenilirlikleri, zarar azaltma planlarının başarısı için temel oluşturmaktadır. Sismik risk ve kayıp analizinin içeriğinde afetin büyüklüğü, hasar görebilirlik, kırılganlık, envanter ve entegre görselleştirme (kayıplar) bulunmaktadır. Afet, kuvvetli yer hareketi parametresi veya spektral tepki değerleriyle tanımlanmaktadır. Kırılganlık ise bir envanter biriminin hasar sınırına ulaşması veya aşmasının koşullu olasılığı olarak tanımlanmıştır. Envanter, kayıp tahmini sonuçlarını kullanacak olan karar mercilerine, ilgi unsurun bileşenlerinin konumsal ve karakteristik bilgilerini sunar. Entegre görselleştirme ise hesaplanan hasarı kayıp değerine çeviren fonksiyonların da kullanımıyla, afet, kırılganlık ve envanterin fiziksel ve ekonomik kayıpların belirlenmesinde ve kullanımında bu bileşenleri bağlayan bir iskelet işlevi görür (Karaman ve diğ., 2008). Tüm bu sistemlerin bir arada kullanılabilmesi için gerekli olan altyapı coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile sağlanabilmektedir. CBS kullanımı ya da entegre CBS sistemleri ile ilgili bölgeye ait hasar analizleri kayıp tahminleri ve karar destek analizleri yapılabilmektedir.

2. HAZTURK İLK AŞAMA

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 kullanılabilecek olan azalım ilişkileri incelenmiş ve Tablo 1'de verilen azalım ilişkileri yazılıma eklenmiştir. Kayıp analizi, depremin büyüklüğü, merkez üssünün 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. Buna rağmen 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 Türkiye'de ilk kez HAZTURK yazılımında 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. (Karaman, 2008). Ek olarak sıvılaşmanın etkisi de kullanıcı talebine bağlı olarak mevcut analiz metotları kullanılarak analiz edilebilmektedir.

Tablo 1. Sistemde bulunan İstanbul için kullanılabilen azalım ilişkileri (Karaman, 2008)

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

Yine Türkiye'de ilk kez bir yazılım ile afet analizinde topografyanın ivme yükseltme değerini hesaplamak üzere kullanılmaktadır. 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 (2001) sismik yönetmeliğinde verilen ve bugüne kadar yapılan çalışmalarda uygulanabilirliği tespit edilen topografik yükseltme etkisi çalışmada kullanılmıştır.

Geliştirilen 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. Senaryo tanımını takiben yapısal hasar ve güçlendirme analizleri gerçekleştirilir. 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 kırılganlık eğrileri ile eşleştirilerek hesaplanmıştır. Kırılganlık eğrilerinin üretilmesinde parametrik kırılganlık metodu kullanılmış ve metot için İstanbul ilindeki 7 farklı binaya ait itme analizi sonuçları ve Marmara ile San Andreas bölgelerine ait seçilmiş kuvvetli yer hareketi kayıtları, tek serbestlik dereceli modellere uygulanmıştır. Yapısal özelliklerdeki belirsizliklerin modellenmesi için monte carlo simülasyonu, genelleştirilmiş tek serbestlik dereceli yapısal sistemlerin oluşturulabilmesi için itme analizleri, rijitlik ve dayanım ile tepki veritabanının oluşturulması, süneklik ile limit durumlarının tanımlanması gerçekleştirilmiştir (Karaman, 2008). Hasar olasılığının hesaplanması için eşitlik (1) kullanılmıştır.

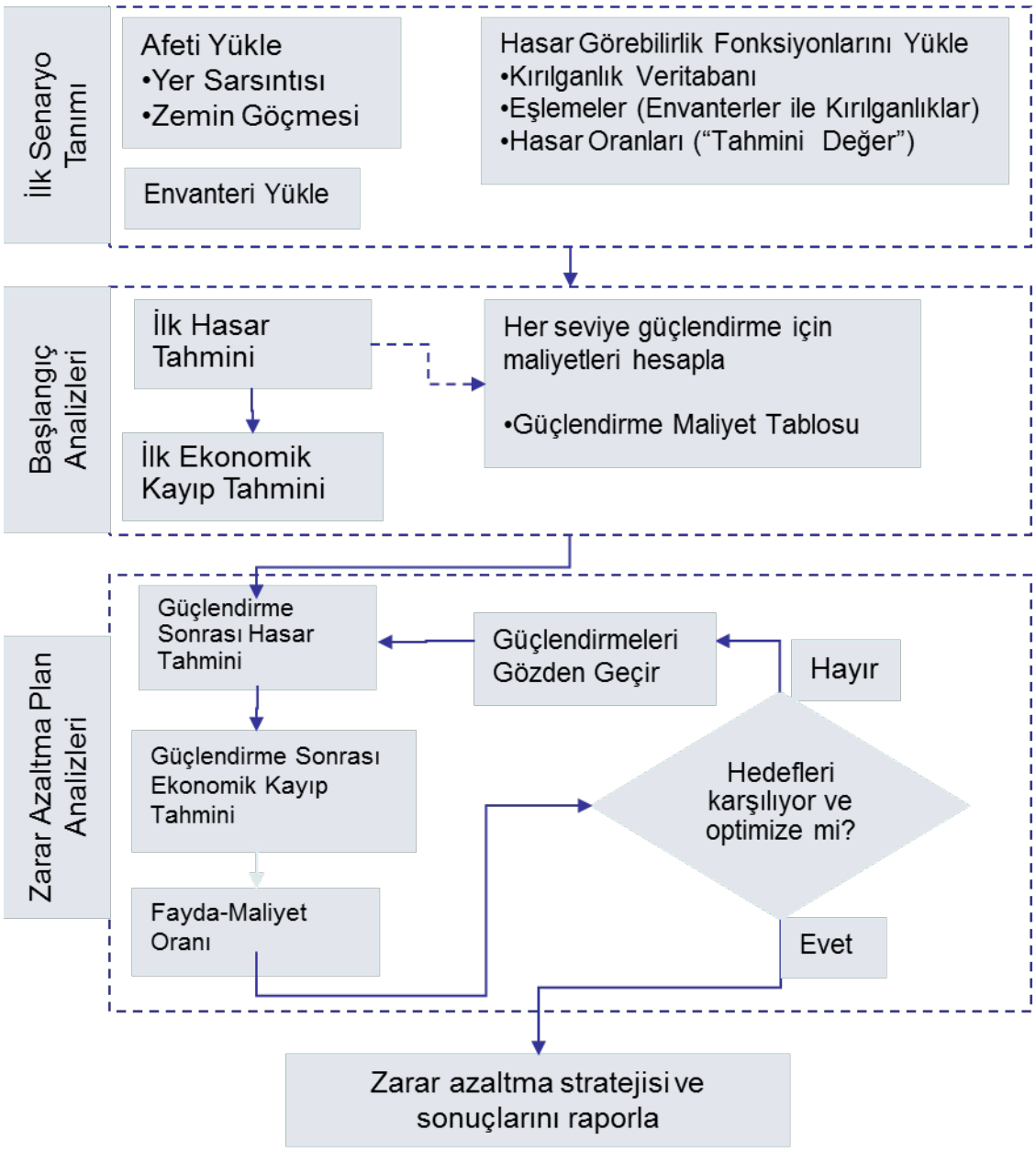
$$P(LS_i \mid S_a) = \Phi\left(\frac{\ln S_a - \lambda_i}{\beta}\right) \qquad (1)$$

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 kırılganlık 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). Kırılganlık ilişkileri maliyet fonksiyonları ile eşleştirilmişlerdir. Bu sayede yapılardaki hasarlar ekonomik olarak da tanımlanabilmektedir. Yazılıma dışarıdan da kırılganlık ilişkileri yüklemek ve analizleri bunlara göre gerçekleştirmek mümkündür.

Güçlendirme analizleri ile binaların yönetmeliklerdeki farklı güçlendirme seçeneklerine göre güçlendirilmesi durumunda oluşacak maliyet tahmini, binalara güçlendirme sonrasında atanacak kırılganlık eğrilerinin belirlenmesi, güçlendirilmiş binaların belirlenen deprem senaryosunda alacakları yapısal hasar ve ekonomik kaybın tahmini ve bunların kullanılarak yapılan fayda maliyet analizi gerçekleştirilebilmektedir (Karaman, 2008).

İlk aşama altyapı hasarı analizinde gömülü boru hatlarında depremi takiben meydana gelebilecek hasar tahmin edilmektedir. Hasar tahmini altyapı boru hatları için geliştirilmiş olan kırılganlık eğrileri, Peak Ground Velocity (Maksimum Zemin Hızı) birimiyle tehlike haritası, boru materyali, boru birleşim tipi, boru çapı ve parça

uzunluğu ile mevcut zemin türü bilinerek yapılabilir. İşlem girdilerin kullanılarak kilometre başına tamir oranının hesaplanması ile sonuçlanır. Her parça için verilen tamir oranı (*RR*) parça uzunluğu ile çarpılarak gerekli tahmine ulaşılır. Sistemde üç ayrı analizden elde edilen ve gömülü boru hatları çeşitlerine göre değişen O'Rourke, M and Ayala (1993), O'Rourke,T and Jeon (1999) ve Eidinger (2001) kırılganlık eğrilerini kullanılmaktadır (Karaman, 2008). HAZTURK yazılımına ait ilk aşama analizlerine ait akış şeması Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. HAZTURK ilk aşama analiz akış diyagramı

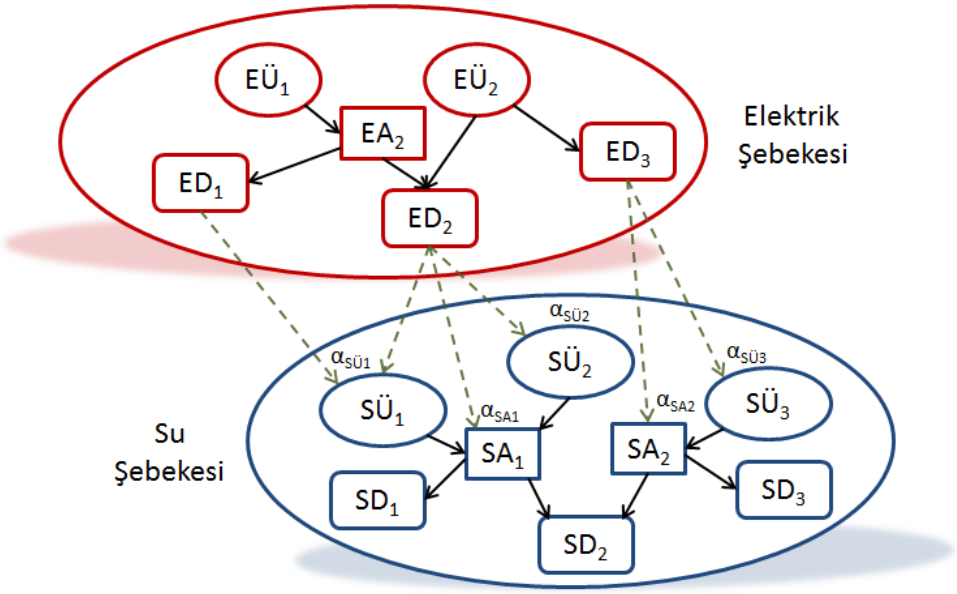
3. HAZTURK İKİNCİ AŞAMA

HAZTURK yazılımının geliştirilmesindeki ikinci aşama olarak tüm altyapı şebekelerinin karşılıklı bağımlılıkları dikkate alınarak deprem sonrası hasar ve kullanılabilirliklerinin tahmini gerçekleştirilmiştir. Deprem hasar analizi kavramı deyişinden çoğunlukla anlaşılan bina hasarıdır. İnsan hayatına doğrudan etkileri nedeniyle afet çalışmalarında üstyapı altyapıdan daha çok ilgi çekmektedir. Fakat altyapı sistemleri, gelişmiş kentsel toplumların işleyişi ve refahı açısından aynı derecede önem arz etmektedirler. Büyük depremlerin ardından yürütülen müdahale ve iyileştirme çalışmalarının sekteye uğramasına doğrudan ya da dolaylı olarak neden olan altyapı hasarlarına verilebilecek pek çok örnek bulunabilir. Altyapı ağlarının yıkıcı depremlerin ardından uğradığı yapısal hasarlar ve meydana gelen kesintiler nedeniyle, hem afete maruz kalan nüfusun hayatta kalabilmek adına günlük yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi, hem de depremin hemen ardından çalışmalarına başlayan acil müdahale birimlerinin yardım ve kurtarma faaliyetlerini etkin bir biçimde yerine getirebilmeleri için gerekli olan su, elektrik, doğalgaz ve iletişim gibi temel hizmetler kesintiye uğrayabilmektedir. Altyapı sistemleri, modern toplumların işleyişi için temel yapı taşı işlevi görmektedirler; ve bu sistemlerde meydana gelebilecek hasar ve arızalar, olası depremlerin ardından hayatta kalma, müdahale ve yeniden yapılanma çalışmalarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Aşağıda, yakın tarihte meydana gelen depremlerin ardından, altyapı sistemlerinde meydana gelen hasarlar ve topluma etkilerine değinilmektedir. 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge, 1999 Marmara, 2010 Haiti ve Şili, 2011 Japonya depremleri, altyapı şebekelerinin işlevselliğinin müdahale ve iyileştirme çalışmaları için hayati öneme sahip olduğunu bir kez daha gözler önüne sermektedir.

3.1. Karşılıklı Bağımlılık

Altyapı şebekelerinde kullanılan kontrol sistemlerinde otomasyonun gelişen teknolojiyle artmasıyla birlikte şebekelerin sistemik davranışlarındaki karmaşıklık çoğalmış ve oluşan kesintiler eskiye kıyasla daha ciddi ve büyük çaplı olmaya başlamıştır (Heller 2002). Aynı şekilde, ilerleyen teknolojiyle paralel olarak artan bilgisayarların hesaplama kabiliyeti de daha büyük altyapı ağlarının, daha büyük veri tabanlarının ve farklı sistemler arasındaki karmaşık etkileşimlerin modellenmesini mümkün kılmıştır. Sistem analizinde karşılıklı bağımlılık modellerinin kullanımı, deprem sonrası sistem performansının tahmin ve değerlendirmesinde daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu bakış açısına sahip bir analizde coğrafi bilgi sistemleri, bilgi teknolojileri ve uzaktan algılama uygulamalarının kullanılması, altyapı alanında çalışan uzmanlarca önerilmektedir (O'Rourke 1994). Rinaldi ve dig. (2001), altyapı şebekelerinde karşılıklı bağımlılığı şu şekilde tanımlamıştır: "İki altyapı sistemi arasındaki, bir sistemin durumunun diğer sisteme bağlı ya da o sistemle ilişkili olduğu çift yönlü etkileşim."

Altyapı ağlarının deprem sonrası performans analizini gerçekleştirmek üzere, Duenas-Osorio (2005) tarafından geliştirilen topolojik olarak modellenen ağların hizmet verebilirliğini inceleyen çalışmayı temel alan, Kim (2007) tarafından oluşturulan bir yöntem kullanılmaktadır. Yöntemde kullanılan olasılık modeli, çeşitli elemanları aynı bölgedeki elektrik şebekesinin elemanlarına bağımlı olan bir su şebekesi örneğiyle açıklanabilir (Şekil 2). Elektrik şebekesi üretim düğümleri ($EÜ_i$), ara düğümler (EA_i) ve dağıtım düğümlerinden (ED_i) oluşmaktadır. Su şebekesi de, benzer şekilde, üretim düğümleri ($SÜ_i$), ara düğümler (SA_i) ve dağıtım düğümlerinden (SD_i) oluşmaktadır. İki şebeke elemanları arasındaki bağımlılıklar da oklarla, bağımlılık dereceleri ise α ile gösterilmektedir. Şekildeki yapıya dayanarak, su şebekesindeki bazı elemanların elektrikle çalıştığını ve elektrik şebekesindeki dağıtım düğümlerine bağımlı oldukları görülebilir.

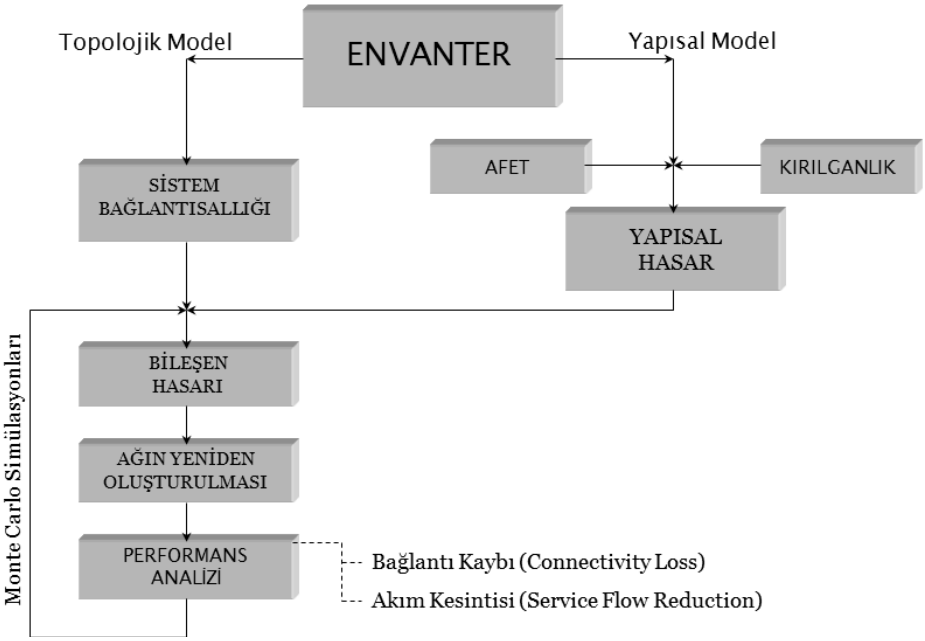


Şekil 2. Şebeke bağımlılıklarının açıklanması için örnek bir yapı

Su şebekesindeki bir elemanın kaybı, modelde iki ana nedene dayanmaktadır: deprem hasarına bağlı kayıp veya elektrik kesintisine bağlı kayıp. Elektrik kesintisi de, söz konusu su şebekesi elemanının bağımlı olduğu elektrik dağıtım düğümünün gördüğü deprem hasarı dolayısıyla veya elekrik dağıtım düğümünün kendisine elektrik sağlayan üretim düğümleriyle olan bağlantısının kaybolması sonucu olabilir. Bahsi geçen bu üç durumdan birinin gerçekleşmesi, söz konusu su şebekesi elemanının kaybı anlamına gelmektedir. Buna ek olarak, şebeke elemanı depremden hasar görmemiş ve bağımlı olduğu şebeke elemanından hizmet alabiliyor durumda olsa bile, şebekeyle bağlantısı kesilmesi durumunda servis göremeyecektir. Bu durum, bir üretim düğümünden dışarı doğru hiçbir işleyen bağlantı olmaması ya da dağıtım düğümüne dışarıdan gelen işleyen bağlantı olmaması durumunda gerçekleşebilir (Kim, 2007).

3.2. Sismik Performans Analizi

Karşılıklı Bağımlı Ağ Analizi yöntemi, çeşitli farklı mekanizmalar aracılığıyla birbiriyle etkileşim içerisinde olan şebekelerin modellenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Modelde, mekansal yakınlık yöntemiyle belirlenen farklı seviyelerde karşılıklı bağımlılıklar tanımlanmış topolojik ağlardan oluşmaktadır. Analiz, altyapı şebekelerinin hem yapısal hem de topolojik olarak modellenmesini gerektirmektedir. Analizlerin gerçekleştirilmesi, envanter, kırılganlık, ve afet veri setleri arasındaki eşleştirmelerin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan veri setlerinde anahtar konumda bulunan belirli öznitelik değerlerinin girilmesi gerekmektedir. Karşılıklı bağımlı sismik performans analiz yönteminin genel yapısı Şekil 3'te gösterilmektedir. Yöntem, yapısal ve topolojik olmak üzere iki modele bölünerek incelenebilir. Yapısal modelde afet, kırılganlık ve envanter bilgileri kullanılarak deprem hasarı hesaplanmaktadır. Topolojik modelde ise, yapısal hasar tahmin değerlerine bağlı olarak şebekelerin deprem sonrası çalışır durumda kalan kısımları, ve şebekenin afet sonrası hizmet verebilirlik durumu modellenmektedir. Analizi gerçekleştirilecek envanter verisi, iki modele de uygun bir veri yapısına sahip olmalıdır.



Şekil 3. Karşılıklı bağımlı sismik ağ performans analizi akış şeması

Yapısal modelde gerçekleştirilen hasar analizi, belirlenen senaryo depreminin oluşturacağı yer hareketleri ve zemin sıvılaşması sonucunda gerçekleşmesi beklenen yapısal hasar hesaplanmaktadır. Topolojik modeldeyse altyapı sistemleri akım ve topolojik bağlantı ilişkilerine göre incelenmektedir. Şebeke elemanlarının kaybı, yürütülen her simülasyon içinde deprem hasarı ve karşılıklı bağımlılık etkileri göz önüne alınarak belirlenmektedir. Sistemlerdeki olası akım ve bağlantı kayıplarını hesaplamak için sistemlerin deprem sonrası işler durumda olan elemanları belirlenerek topolojik ağlar yeniden yapılandırılmaktadır. Bu işlem, Monte Carlo simülasyonları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Topolojik analizler, sistemlerdeki akım ve bağlantı kayıplarını hesaplayarak şebekelerin sunduğu hizmetlerden faydalanan nüfusun ne derecede etkilenebileceği hakkında fikir vermektedir.

Karşılıklı bağımlı analiz aracında, MAE Center ve İTÜ tarafından gerçekleştirilen ortak çalışmaların ürünü olarak çeşitli güncelleme ve iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. İyileştirilmiş yöntem, FEMA (Amerikan Federal Acil Durum Yönetim Kurumu) ve US Army Corps of Engineers tarafından desteklenen "New Madrid Seismic Zone Catastrophic Earthquake Response Planning Project" adlı proje kapsamında Memphis ve St. Louis şehirlerinin altyapı şebekelerinin sismik analizinde kullanılmıştır (Elnashai et al. 2010). Yöntemdeki belli başlı eklenti ve iyileştirmeler şu şekilde sıralanabilir: zemin sıvılaşması kaynaklı gömülü boru hasar analizi, karşılıklı bağımlı modele doğalgaz şebekelerinin de eklenmesi, ve sistem bağımlılıklarını modellendiği homojen bağımlılık modeli yerine, sistem içerisindeki tüm bağımlılıkların ayrı ayrı değerlendirildiğiheterojen bir bağımlılık modelinin oluşturulması.

4. HAZTURK ÜÇÜNCÜ AŞAMA VE SONUÇLAR

HAZTURK yazılımı gelişiminde üçüncü aşamanın amacı deprem sonrası ulaşım ağlarının kullanılabilirlik analizi algoritmasının geliştirilmesidir. Bu kapsamda ilgili afet bölgesindeki ulaştırma yapılarının deprem sonrasında köprü, viyadük ve geçit yıkılması, yol çökmesi, bina enkazı engeli gibi farklı olasılıkların göz önüne alınmasıyla ilgili afet bölgesine ulaşımda kullanılabilecek ulaşım ağlarının depremin hemen sonrasında ve takip eden afet yönetimi süreci içerisinde kullanılabilirliklerinin analiz ve tahmininin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu kapsamda yürütülen çalışmalar devam etmekte ve tamamlanmasının ardından HAZTURK yazılımına entegre edilmesi planlanmaktadır.

Bugüne kadar HAZTURK yazılımı için tamamlanan ve planlanan çalışmalar, ülkemizde deprem tehlike ve risk analizinde hissedilen eksiklikleri tek bir çatı içerisinde, bölgesel kapsamda değil, tek tek her yapı ve bileşen için ve her bileşenin birbirleri ile bağlılıkları da göz önüne alınarak, gidermektedir. Geliştirme aşamalarının sonuncusu ve en önemlisi ise bu tür yazılımların kullanımının yaygınlaştırılmasıdır. A.B.D. örneği göz önüne alındığında, HAZUS yazılımının ülke çapındaki yaygın kullanımı sayesinde eksiklikleri görülmüş ve giderilebilmiştir.

KAYNAKLAR

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.

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.

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*, PEER Center, Berkeley.

Duenas-Osorio, L. (2005). Interdependent Response Of Networked Systems To Natural Hazards And Intentional Disruptions. Doktora Tezi, Georgia Institute of Technology, A.B.D.

Eidinger, J. (2001). Seismic Fragility Formulations for Water Systems, sponsored by the American Lifelines Alliance, G&E Engineering Systems Inc., <http://homepage.mac.com/eidinger>.

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.

Elnashai, Amr S, Cleveland, L., Jefferson, T., and Harrald, J. (2010). Impact of New Madrid Seismic Zone Earthquakes on the Central USA. Urbana, IL. http://hdl.handle.net/2142/14810.

Eurocode 8, (2001). Design of structures for earthquake resistance. Part 5: Foundations, retaining works and geotechnical aspects. Draft No 4. Doc CEN/TC250/SC8/N288, CEN, Brussels, 2001.

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*, **27**, 133-169.

Heller, M. (2002). Interdependencies in Civil Infrastructure Systems. In *Reports on Leading-Edge Engineering from the March 2002 NAE Symposium on Frontiers of Engineering*, 47-55. Washington, DC: National Academy of Engineering.

Kalkan, E. ve Gülkan, P. (2004). Emprical Attenuation Equations for Vertical Ground Motion in Turkey. *Earthquake Spectra*, **20**, 853-822.

Karaman, H., (2008). Sonuç Bazlı Risk Yönetimi ve Deprem Kayıp Tahmini Analizi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

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.

Kim, Y. S. (2007). Seismic Loss Estimation And Mitigation of Critical Urban Infrastructure. Doktora Tezi, Civil and Environmental Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, A.B.D.

O'Rouke, M. J., and Ayala, G., (1993). Pipeline Damage due to Wave Propagation. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, **119:9**, 1490-1498.

O'Rourke, T D. (1994). Lifeline Engineering Integrates Infrastructure. *Civil Engineering*, **64:1**, 6.

O'Rourke, T. D., and Jeon, S-S., (1999). Factors Affecting the Earthquake Damage of Water Distribution Systems, *TCLEE Monograph*, **16**, ASCE.

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.

Rinaldi, S M, Peerenboom, J.P., and Kelly, T.K. (2001). Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine*, **21:6**, 11-25.

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.