

Alt yapı Şebekeleri Arasındaki Bağımlılıkların Deprem Sonrası Hasar ve Performans Tahmininde Kullanılmak Üzere Tanımlanması

Hüseyin Can ÜNEN¹, Muhammed ŞAHİN²

Özet

Geçmişte meydana gelen yıkıcı depremlerin ardından alt yapı şebekelerinde meydana gelecek hasarların da en az bina stoğunda meydana gelen hasarlar kadar ciddi sonuçlara neden olabileceği görülmüştür. Buna ek olarak alt yapı şebekelerinin her birini bağımsız sistemler olarak ele almak yerine birbirleriyle etkileşim içinde çalışan bir sistemler bütünü olarak düşünerek, modellerde sistemlerin birbirlerine karşı bağımlılıklarını da dikkate almak gerekmektedir. Çalışmada, alt yapı şebekelerinin deprem sonrası hasar ve performans tahmininde kullanılacak bir metodoloji için aynı bölgede yer alan elektrik, su, doğalgaz şebekelerinin arasındaki karşılıklı bağımlılıkların tanımlanmasında kullanılan mekansal yöntemler ele alınmaktadır.

Anahtar Sözcükler

Alt Yapı Sistemleri, Deprem, Afet Yönetimi, CBS, Ağ Analizi.

Abstract

Determination of Interdependencies Between Lifeline Networks For Seismic Damage And Performance Analyses

It's been observed that the infrastructural damage following the major earthquakes in the past would cause consequences as severe as the ones caused by structural damage. Additionally, interdependency between the infrastructure systems should be considered in the conducted studies following a system of interacting systems approach instead of modeling each infrastructure network independent to each other. This study provides a discussion on alternative spatial methodologies for the definition of infrastructural interdependencies between electric power, water, and natural gas networks in a region for utilization in seismic damage and performance analyses of lifeline utility.

Key Words

Infrastructure Systems, Earthquake, Disaster Management, GIS, Network Analysis.

1. Giriş

Deprem hasar analizi kavramı deyişinden çoğunlukla anlaşılabilir bina hasarıdır. İnsan hayatına doğrudan etkileri nedeniyle afet çalışmalarında üst yapı alt yapıdan daha çok ilgi çekmektedir. Fakat alt yapı sistemleri, gelişmiş kentsel toplumların işleyişi ve refahı açısından aynı derecede önem arz etmektedirler. Büyük depremlerin ardından yürütülen müdahale ve iyileştirme çalışmalarının sektöre uğramasına doğrudan ya

da dolaylı olarak neden olan alt yapı hasarlarına verilebilecek pek çok örnek bulunabilir.

1989 yılında A.B.D.'nin California eyaletinin San Francisco şehrinde gerçekleşen Loma Prieta Depremi, köprü ve viyadükler gibi pek çok ulaşım yapısında ciddi hasarlara neden olmuştur. Kentin marina bölgesinde hasar gören doğalgaz şebekesi yangınlara sebep olmuş, su şebekesindeki hasarın yol açtığı kesinti yüzünden yangın söndürme çalışmalarında sıkıntı meydana gelmiştir. Su şebekesinde tamir gerektiren toplam 1.200 sızıntı ve patlak meydana gelmiş, yoğunluk yüzünden telefon görüşmeleri yapılamamış, şehir genelinde yaşanan elektrik kesintisi nedeniyle şehirde yaşayanlar karanlıkta oturmuştur (SCHIFF, 1999). 1994 Northridge Depremi, Los Angeles şehrinin tamamında elektrik kesintisine sebep olmuş, su şebekesindeki hasar yüzünden şehirde çıkan yangınlara müdahalede yine yetersiz kalınmıştır. Su şebekesinin depremin merkez üssü ve çevresinde bulunan kısmında sızıntı ve patlakların neden olduğu 1.400 tamirat yapılmış, 151.000 doğalgaz abonesine hizmet verilememiştir (LUND, 1996). 1999 yılında Kocaeli ve Düzce'de gerçekleşen iki Marmara depremi de elektrik, ulaşım ve iletişim şebekelerinde ağır hasarlara yol açmış, Ankara-İstanbul otoyolunun yaklaşık 60 kilometrelik bir kısmının hasar görmesine neden olmuş, Tüpraş petrol rafinerisinde çıkan şiddetli yangınlar nedeniyle yerleşim yerlerinin tahliye edilmesini zorunlu kılmıştır. Bölgedeki elektrik şebekesine ait trafoların yüzde yedisine, yeraltı dağıtım hatlarının yüzde yirmibeşinde ağır hasar gözlemlenmiştir (ERDİK, 2000).

Yakın zamanda şahit olduğumuz, 2010 yılı başında Haiti ve Şili'yi sarsan büyük depremler de alt yapı şebekelerinin işlevselliğinin müdahale ve iyileştirme çalışmaları için hayati öneme sahip olduğunu bir kez daha gözler önüne sermiştir. Haiti'de elektrik ve su gibi yaşamsal hizmetler neredeyse tamamen kullanılmaz duruma gelmiş, ayrıca ülke genelindeki ana ulaşım güzergahları kapanmıştır. Yakıt sıkıntısı nedeniyle jeneratörlerin de çalıştırılmaması sonucu kurtarma ekipmanları kullanılamamış, müdahale çalışmalarında büyük sıkıntılar yaşanmıştır. Üst yapıda ve alt yapıda meydana gelen büyük hasarların ülkenin ekonomik gelişimini olumsuz yönde etkileyeceği tahmin edilmektedir (TAFT-MORALES ve MARGESSON, 2010). 2010 Şili depreminde hasar gören yollar, havaalanları, barajlar, kanallar, köprüler ve su depolarının Şili hükümetine maliyetinin 1,2 milyar Amerikan doları olduğu tahmin edilmektedir. Deprem, ülkenin bazı kesimlerinde doğalgaz hizmetinin haftaları bulan sürelerde kesintiye uğramasına, ülke nüfusunun %93'ünün elektriğinin kesilmesine ve boru hatlarında yer yer onarılamaz seviyede hasarlara neden olmuştur. Yaşanan bu elektrik kesintisi ülkenin iletişim ve su şebekelerini olumsuz etkilemiş, su şebekesinin

¹ Araş. Gör., ² Prof. Dr., İTÜ, Geomatik Mühendisliği Bölümü. Maslak İstanbul

hasarlı kesimlerinin elektrik şebekesinden önce onarılmasına rağmen kesinti yüzünden yüksek rakımlı bölgelere su verilememiştir (ELNASHAI vd., 2010). Alt yapı sistemlerinde gerçekleşen bu hasarlar Şili'nin ekonomik durumunu kısa vadede risk altına sokmuş, uzun vadede ise ülkenin küresel ekonomik krizden kurtulma olasılığını önemli ölçüde düşürmüştür (BEITTEL ve MARGESSON, 2010).

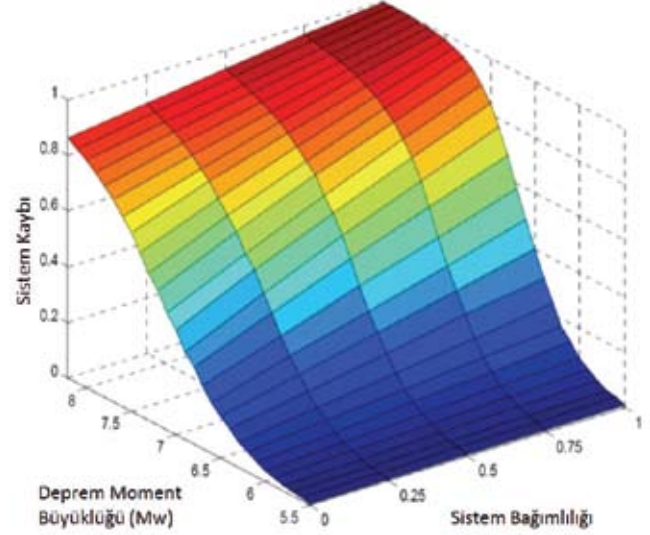
Yukarıda bahsi geçen olaylar, alt yapı sistemlerinin afet sonrası hizmet verilebilirliğinin ne kadar önemli olduğunu gözler önüne sermektedir. Örnekler ayrıca alt yapı şebekelerinin değişik şekillerde etkileşim içinde olduklarını ve bu etkileşimler sırasında tahmin edilmesi zor, karmaşık davranışlar sergilediğini de göstermektedir. Bu karmaşık yapılar, alt yapı ağlarının depremler sonrası hasar ve hizmet verilebilirlik/performans analizleri geliştirmeye çalışan araştırmacılara zorluklar sunmaktadır.

2. Karşılıklı Bağımlılık

Alt yapı 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 alt yapı 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, alt yapı alanında çalışan uzmanlarca önerilmektedir (O'ROURKE, 1994). RINALDI vd. (2001), alt yapı şebekelerinde karşılıklı bağımlılığı şu şekilde tanımlamıştır: "İki alt yapı sistemi arasındaki, bir sistemin durumunun diğer sisteme bağlı ya da o sistemle ilişkili olduğu çift yönlü etkileşim." Aynı çalışmada alt yapı sistemleri arasındaki bağımlılıkların modellenmesi amacıyla kavramsal bir yapı da önerilmektedir. Kullanılan yaklaşım, alt yapı şebekelerini çevreden yalıtılmış ve dışarıya bağımsız sistemler olarak ele almamayı gerektirmektedir. Bağımsız sistem kavramı yerine birbirleriyle etkileşim içerisinde olan sistemlerden oluşan bir üst-sistem yaklaşımı, alt yapı şebekelerinin gerçek davranışlarının daha doğru modellenmesine yardımcı olmaktadır.

Alt yapı ağlarının deprem sonrası performans analizi çalışmalarına örnek olarak DUENAS-OSORIO (2005) tarafından geliştirilen model verilebilir. Bu modelde, CBS ortamında topolojik olarak modellenen alt yapı ağlarının hizmet verilebilirliğini inceleyen üç performans ölçütü öne sürülmektedir: verimlilik, bağlantı kaybı ve akım düşüşü. Sistem verimliliği, topolojik ağ üzerindeki arz ve talep düğümleri arasındaki fiziksel uzaklıklar ve bu düğümler arasındaki akımın kolaylığının ölçütüdür. Bağlantı kaybı, arz ve talep düğümlerini birbirlerine bağlayan yolların varlığıyla ilintili olup, her bir talep düğümüyle bağlantısı olan arz düğümlerinin afet sonrası ne oranda azaldığının ölçütüdür. Son olarak akım düşüşü, afet sonrası talebin hangi oranda karşılanabileceğinin

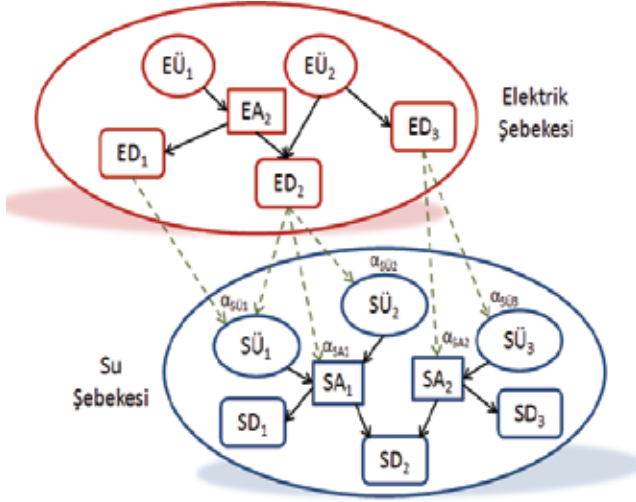
ölçütü olup afetin alt yapı sisteminin kullanıcıları üzerindeki etkisini belirtmektedir. KIM (2007), bahsedilen çalışma temel olmak üzere, su ve doğalgaz şebekelerinin elektrikle bağımlı olarak afet sonrası karşılıklı bağımlı performansını tahmin edecek bir analiz yöntemi geliştirmiştir. Oluşturulan yöntem, karşılıklı bağımlı kayıp modeli ve karşılıklı bağımlı hasarın olasılıksal modelinde iyileştirmeler içermektedir. KIM (2007), çalışmasında ayrıca sistem bağımlılığının afet sonrası performans üzerinde etkisini de inceleyerek sistem bağımlılığı arttıkça performansın düştüğünü göstermiştir (Şekil 1).



Şekil 1: Sistem bağımlılığının alt yapı şebekelerinin sismik performansına etkisi (KIM, 2007).

Yöntem, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde halen yürütülmekte olan "Seismic Performance Analysis of Interdependent Utility Network Systems" başlıklı doktora çalışmasında ele alınmıştır (ÜNEN, 2011). Yöntemin uygulaması, hasar analizi ve bağımlılık modellerinde gerçekleştirilen iyileştirmelerin ardından A.B.D.'ye bağlı St.Louis ve Memphis şehirlerinin alt yapı şebekelerinin analizinde kullanılmıştır. 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. 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 elektrik 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. KİM (2007) bu durumun, bir üretim düğümünden dışarı doğru hiçbir işleyen bağlantı olmaması ya da dağıtım düğümüne dışarıdan gelen işleyen bağlantı olmaması durumunda gerçekleşebileceğini ifade etmektedir.



Şekil 2: Şebeke bağımlılıklarının açıklanması için örnek bir yapı (ÜNEN, 2011).

3. Şebeke Bağımlılıklarının Tanımlanması

A.B.D.'de gerçekleştirilen çalışmalar sırasında, karşılıklı bağımlılık modelinde kullanılmak üzere su ve doğalgaz şebeke elemanlarının elektrik şebekesine bağımlılıkları incelenmiştir. Bu amaçla A.B.D.'de çeşitli şehirlerin alt yapı şebekelerinde çalışan uzmanlara gönderilmek üzere bir anket oluşturulmuştur (Şekil 3).

Ankette su ve doğalgaz şebekelerinde bulunan elemanlar listelenip elektrik kullanıp kullanmadıkları, kullanıyorlarsa şebeke elemanının çalışabilmesi için ne kadar önemli olduğu ve şebeke elemanında genelde kesintisiz güç kaynağı kullanılıp kullanılmadığı sorulmuştur. Anket geri dönüşleri

incelendiğinde, ilk bakışta su şebeke elemanlarının elektriğe doğal gaz şebeke elemanlarına kıyasla daha fazla bağımlı oldukları görülmektedir. Anketlerdeki geri dönüşlere göre hazırlanan, şebeke elemanlarının elektriğe bağımlılık dereceleri Tablo 1'de verilmiştir. Bağımlılık derecelerinin belirlenmesinde jeneratörün varlığıyla ilgili 3 durum göz önüne alınmıştır.

Tablo 1: Su ve doğalgaz şebeke dağıtım elemanlarının elektrik şebekesine olan bağımlılıkları.

Şebeke Elemanı	Bağımlılık Derecesi		
	Jeneratör: Var	Jeneratör: Yok	Jeneratör: Bilinmiyor
Su Şebekesi			
Su Kuyusu	0,25	1,00	0,50
Su Pompa İstasyonu	0,25	1,00	0,50
Su Tankı	0,25	1,00	0,50
Otomatik Vana	-	1,00	-
Doğalgaz Şebekesi			
Dağıtım İstasyonu	0,25	1,00	0,5
Basınç Regülatörü	-	0,25	-
Otomatik Vana	-	1,00	-

4. Hizmet Bölgelerinin Belirlenmesi

Su ve doğalgaz şebeke elemanlarının, elektrik şebekesi elemanlarına bağımlılıklarını tanımlamak için ideal yöntem, gerçek şebeke dağıtım bilgisini kullanmaktır. Belirli bölgelerin belirli elektrik dağıtım düğümleri tarafından beslenmesine dayanarak, her bir dağıtım düğümünün erişim bölgesi içerisinde kalan, hizmet vermek için elektriğe ihtiyaç duyan her şebeke elemanı o dağıtım düğümüne bağımlı olarak eşlenecektir. Şebekelere ait erişim ve hizmet bölge bilgilerinin yokluğunda ise çeşitli yaklaşımlar kullanılarak şebeke bağımlılıkları tanımlanabilir. Bu amaçla, çalışmada iki yöntem ele alınmıştır. Bunlardan ilki sistem elemanları arasındaki bağımlılıkların mekansal yakınlık yöntemi, ikincisi ise topolojik olarak modellenen dağıtım şebekesi üzerinde ağ analizleri kullanarak yakınlık belirleme yöntemidir.

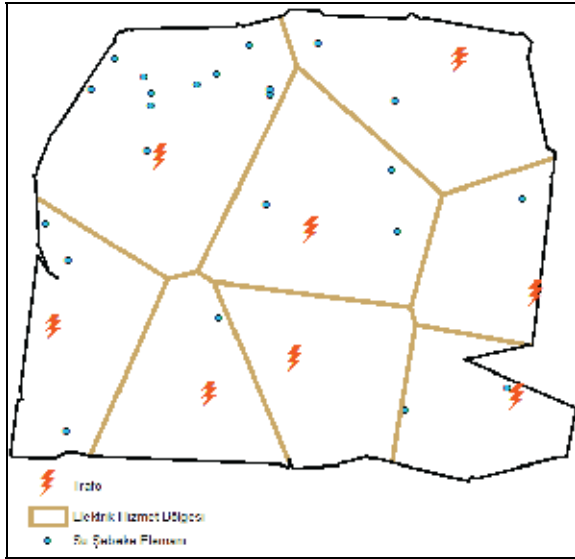
Natural Gas Network Facility	Does it use electric power?	Is electric power crucial for operation?	Backup power availability
Gate Stations / Plants	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> UPS
Regulator Stations	<input checked="" type="checkbox"/> Not all	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Valves	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Station Valving	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Automatic Valves	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> UPS at Gates
Water Network Facility	Does it use electric power?	Is electric power crucial for operation?	Backup power availability
Processing Plants	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> some
Wells	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> some
Pumping Stations	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> some
Booster Stations	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> some
Automatic Valves	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Şekil 3: Şebeke bağımlılıklarının belirlenmesi için hazırlanan anketin geri dönüşlerinden bir örnek (ÜNEN, 2011).

Makaleye konu olan doktora çalışmasında (ÜNEN, 2011) kullanılan St.Louis ve Memphis'e ait alt yapı şebeke verileri, veri sahibi ilgili şirketlerin gizlilik ilkeleri doğrultusunda okuyucuyla paylaşılammaktadır. Bu nedenle, şebekeler arasındaki bağımlılıkların tanımlanması için kullanılan her iki yöntem de, topolojik olarak modellenmiş hayali birer elektrik ve su şebekesi üzerinde incelenmiştir. Yöntemler sonucunda, elektrik şebekelerindeki dağıtım düğümlerinin erişim bölgeleri yaklaşık olarak elde edilmektedir.

4.1 Mekansal Yakınlık Yöntemi

Şebeke elemanları arasındaki bağımlılıkların mekansal yakınlıklara göre tayin edilmesi Voronoi diyagramları kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntemde, elektrikle çalışan her bir şebeke elemanı, kendisine mekansal olarak en yakında olan elektrik dağıtım düğümüne bağımlı olarak tanımlanır. Bağımlılık derecesi olarak da, şebeke elemanının türüne göre Tablo 1'de tanımlanan bağımlılık değerlerinden biri atanır. Şekil 4'te, bir bölgeye ait örnek elektrik dağıtım şebekesinin dağıtım düğümleri (trafo), ve düğümlerin Voronoi diyagramları kullanarak oluşturulmuş erişim bölgeleri verilmiştir. Su şebekesi içerisinde elektrikle ihtiyaç duyan her düğüm, içerisinde bulunduğu alanın ait olduğu elektrik dağıtım düğümüne bağımlı olarak modellenir. Şekilde gösterilen analiz, ArcGIS 10 yazılımı kullanarak yapılmış olup, yöntem, Voronoi diyagramlarının üretilebileceği herhangi bir CBS yazılımı kullanılarak tekrarlanabilir.

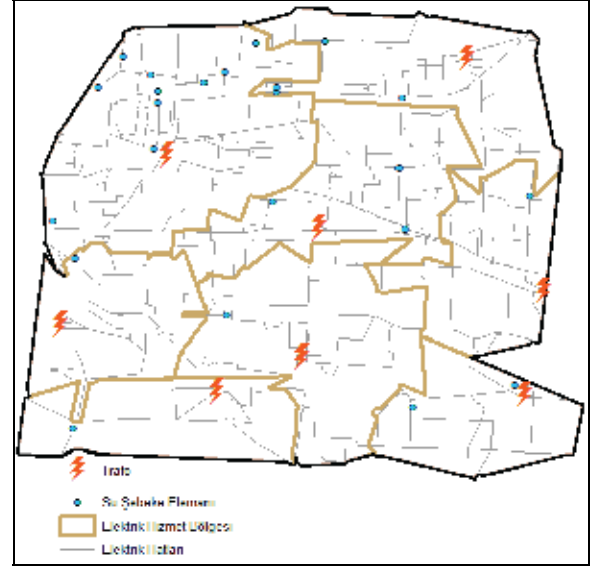


Şekil 4: Şebeke elemanlarının bağımlılıklarının mekansal yakınlıklara göre belirlenmesi.

4.2 Topolojik Ağ Üzerindeki Uzaklık

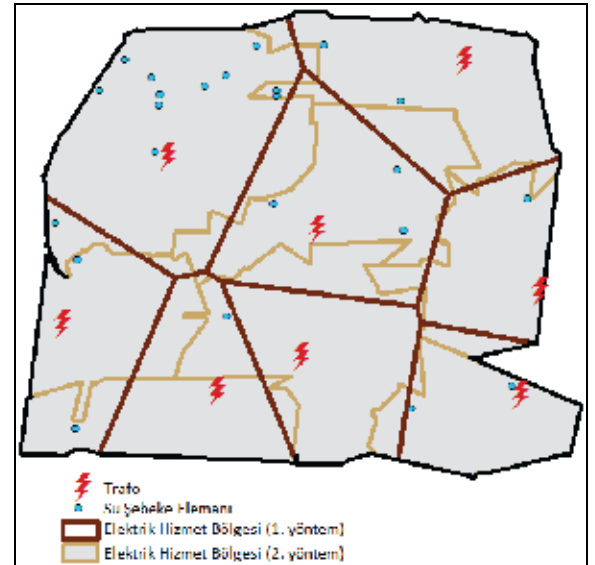
Şebeke elemanları arasındaki bağımlılıkların topolojik ağlar üzerindeki uzaklıklara göre belirlenmesi topolojik ağ analizi yardımıyla gerçekleştirilebilir. Bu yöntemde, elektrikle çalışan her bir şebeke elemanı, kendisine topolojik ağ üzerindeki mesafeler temel alınarak en yakında olan elektrik dağıtım düğümüne bağımlı olarak tanımlanır. Şekil 5'te, aynı

bölgeye ait elektrik dağıtım şebekesinin dağıtım düğümleri ve bu düğümlerin topolojik ağ üzerindeki mesafeler dikkate alınarak oluşturulmuş erişim bölgeleri verilmiştir. Su şebekesi içerisinde elektrikle ihtiyaç duyan her düğüm, bir önce bahsedilen yöntemle aynı şekilde, içerisinde bulunduğu alanın ait olduğu elektrik dağıtım düğümüne bağımlı olarak modellenir. Şekilde sunulan servis bölgeleri, ArcGIS 10 yazılımı içerisindeki "Network Analyst" eklentisi kullanılarak, "Service Area" analizi ile elde edilmiştir (URL 1).



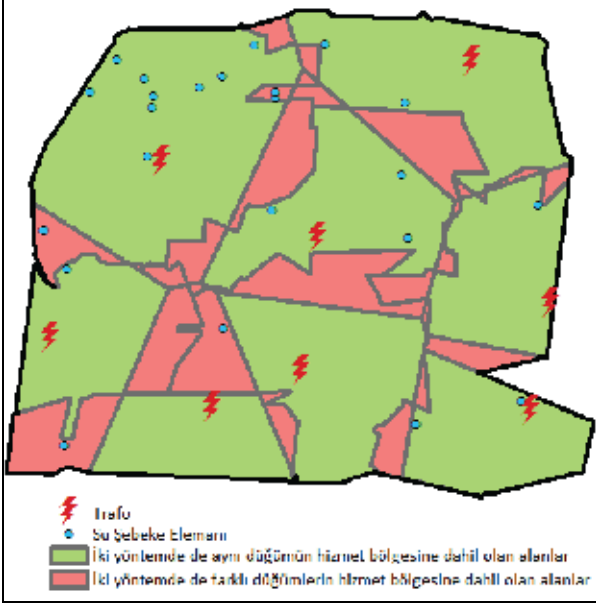
Şekil 5: Şebeke elemanlarının bağımlılıklarının topolojik ağ üzerindeki uzaklıklara göre belirlenmesi.

İki yöntemle elde edilen servis bölgelerinin üst üste konarak analizi sonucunda (Şekil 6), örnek su şebekesindeki elektrik gücüne bağımlı olarak çalışan 23 düğümün iki yöntem sonucunda farklı elektrik dağıtım düğümlerine bağımlı oldukları görülmüştür.



Şekil 6: Mekansal ve topolojik uzaklık yöntemleri kullanılarak belirlenmiş servis bölgeleri.

Ek olarak, karşılaştırma bölgesinin yaklaşık %22'sinin iki yöntem sonucunda farklı elektrik dağıtım düğümlerinin hizmet bölgelerine dahil oldukları görülmüştür (Şekil 7).



Şekil 7: Mekansal ve topolojik uzaklık yöntemleri kullanılarak belirlenmiş servis bölgelerinin karşılaştırması.

5. Sonuç

Alt yapı sistemlerinin afet sonrası hizmet verilebilirliği son derece önemlidir. Alt yapı şebekeleri, birbirleriyle farklı biçimlerdeki etkileşimleri sırasında tahmin edilmesi zor ve karmaşık davranışlar sergilemektedir. Bu şebekelerin deprem sonrası hasar ve performans tahmin çalışmalarında kullanılmak üzere oluşturulacak modellerde sistem elemanlarının karşılıklı bağımlılıklarının da tanımlanması gerekmektedir. Gerçekleştirilecek analizlerde güvenilir sonuçlar elde edebilmek için, oluşturulacak modellerin de alt yapı şebekelerinin fiziksel ve davranışsal özelliklerini mümkün olduğunca gerçeğe uygun temsil etmesi gerekmektedir. Çalışmada, birbirleriyle etkileşim içerisinde çalışan alt yapı şebekelerinin arasındaki bağımlılıkların tanımlanması sırasında, gerçek hizmet bölgeleri bilgisine ulaşılamadığı takdirde kullanılacak iki yöntem incelenmiş, ve bu iki yöntemin karşılaştırması yapılmıştır. Nadir karşılaşılan veya gerekli verilerin elde edilemediği durumlarda örnekleme ve benzetim çalışmaları, olayların incelenebilmesi için tek olası yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (RINALDI, 2004). Karşılaştırmaların gerçek ve hizmet bölgeleri bilinen bir ağ üzerinde gerçekleştirilmemesi sebebiyle, hizmet bölgeleri belirlemede kullanılan bu iki yöntemden hangisinin alt yapı şebekelerini daha güvenilir biçimde temsil ettiği sonucuna kesin olarak varılamamıştır. Ancak, topolojik ağ modelinin şebekelerin fiziksel yapısını gerçeğe daha yakın temsil ettiği kabul edilerek, ağ üzerindeki mesafeler kullanılarak elde edilen hizmet bölgelerinin gerçek durumu daha iyi yansıttığı düşünülebilir. Bu durumda, alt yapı sistemlerindeki karşılıklı bağımlılıkların belirlenmesinde, ağ analizleri sonucu elde edilecek hizmet bölgelerinin kullanılması önerilmektedir.

Kaynaklar

- BEITTEL, J.S., ve MARGESSON, R.: **Chile Earthquake: U.S. and International Response**. Ft. Belvoir: Defense Technical Information Center. Ft. Belvoir.
<http://handle.dtic.mil/100.2/ADA516338>. 2010.
- DUENAS-OSORIO, L.A.: **Interdependent Response of Networked Systems to Natural Hazards and Intentional Disruptions**. Doktora Tezi. Georgia Institute of Technology. 2005.
- ELNASHAI, A.S, GENÇTÜRK, B., KWON, O., AL-QADI, I.L., HASHASH, Y., ROESLER, J.R. KIM, S.J., JEONG, S.H., DUKES, J., ve VALDIVIA, A.: **The Maule (Chile) Earthquake of February 27, 2010: Consequence Assessment and Case Studies**. Teknik Rapor. 10-04, Mid-America Earthquake Center, University of Illinois at Urbana-Champaign. 2010.
- ERDİK, M.: **Report on 1999 Kocaeli and Düzce (Turkey) Earthquakes**. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Merkezi. 2000.
- HELLER, M.: **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. 2002.
- KIM, Y.S.: **Seismic Loss Estimation And Mitigation of Critical Urban Infrastructure**. Doktora Tezi. University of Illinois at Urbana-Champaign. 2007.
- LUND, L.V.: **Lifeline Utilities Performance in the 17 January 1994 Northridge, California, Earthquake**. Bulletin of the Seismological Society of America 86, no. 1: p. 350-360. 1996
- O'ROURKE, T.D.: **Lifeline Engineering Integrates Infrastructure**. Civil Engineering 64, no. 1 (January): 6. 1994.
- RINALDI, S.M., PEERENBOOM, J.P., ve KELLY, T.K.: **Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies**. IEEE Control Systems Magazine 21, no. 6: 11-25. 2001.
- RINALDI, S.M.: **Modeling and simulating critical infrastructures and their interdependencies**. Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE, p. 8. 2004.
- SCHIFF, A.J.: **The Loma Prieta, California, earthquake of October 17, 1989: lifelines**. Washington; Denver, CO: United States Geological Survey (USGS). 1999.
- TAFT-MORALES, M., ve MARGESSON, R.: **Haiti Earthquake Crisis and Response**. R41023. Library of Congress. Congressional Research Service.
http://assets.opencrs.com/rpts/R41023_20100115.pdf. 2010.
- ÜNEN, H.C.: **Seismic Performance Analysis of Interdependent Utility Network Systems**. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. 2011. (Savunma Tarihi: 14/11/2011)
- URL 1: **ArcGIS 10 Network Analyst Tutorial**,
<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/pdf/network-analyst-tutorial.pdf>, 1 Ekim 2011.