

Depremde Erken Uyarı Sistemleri

Depremler bilimciler depremlerin oluş mekanizmalarını araştırırken, deprem zararlarının azaltılması konusunda da yeni arayışlar içindeler. Bu yeni arayışlar, özellikle bilgisayar ve iletişim teknolojilerinde son 20 yıl içindeki meydana gelen baş döndürücü gelişmeler, deprembilim (sismoloji) için de yeni bir yaklaşım ortaya çıkardı. Bu yeni yaklaşım genel olarak "Real-time Sismolojisi" olarak adlandırılıyor. "Real-time" veya "gerçek zaman" deyimi, daha bir süreç devam ederken verilerinin toplanması, değerlendirilmesi ve uygulanmasıyla ilgili işlemleri belirlemek için kullanılıyor. Örnek olarak, günlük hayatımızda bankaların ATM'leriyle yaptığımız ve gönderilen para miktarının anında alıcının hesabına geçirildiği havale işlemleri bir real-time bankacılık işlemidir. Real-time bilgi işlem sistemlerinin deprembilimdeki uygulaması da, depremlerin, daha enerji boşalmaları sürerken saptanması ve bazı durumlarda erken uyarı da dahil karşı önlemlerin alınması ve deprem sonrasında da gerekli bilgilerinin ilgili organlara hızlı bir biçimde aktarımıdır. Buna göre, bir real-time deprem bilgi akış sistemi; çeşitli alıcılardan (sismometrelerden) oluşan algılama sistemi, verileri alıcılardan veri işlem sürecinin yapılacağı yere iletecek real-time veri iletim sistemi, verilerin bilgiye çevrileceği bilgisayar ve yazılım altyapısına sahip kontrol merkezi ve elde edilen bilgilere göre gerekli uyarı mesajlarını yayımlayan sistemiyle bu uyarıları sistemin kullanıcılarında (gerek hükümet kuruluşlarında gerekse özel kuruluşlarda) alan alıcı sistemleri gibi altbirimlere sahip olacağı söylenebilir.

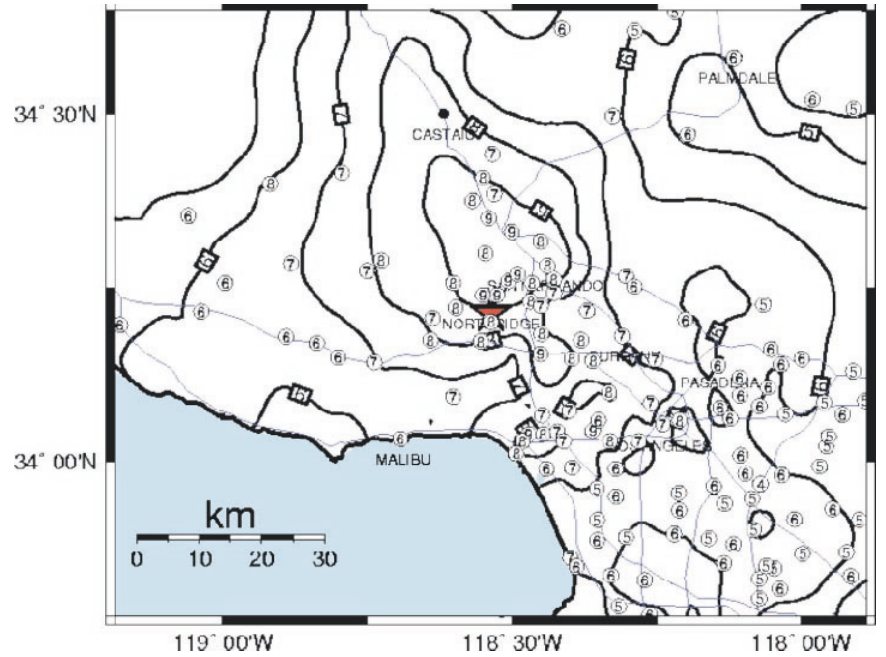
Yakın geçmişte dünyanın çeşitli yerlerinde meydana gelmiş depremler bu tür sistemlere duyulan ihtiyacı açıkça göstermişti. Örnek olarak, 1995 Kobe depremi Japonya gibi hem eko-

nomik ve hem de deprembilimi açısından gelişmiş bir ülkede meydana gelmesine karşın merkezi hükümet, deprem bölgesinde neler olup bittiği hakkında saatler sonrasında bile tam bir fikir sahibi olamamıştı. Bu nedenle Japon hükümeti, 1995 Kobe depreminin ardından, gerek acil müdahale çalışmalarını daha etkin hale getirecek real-time verileri, gerekse bilimsel araştırmalar için gerekli aletsel yer hareketi verilerini sağlamada görülen eksiklikleri gidermek amacıyla, 1000 istasyonu ve biri ana diğer ikisi de yardımcı olmak üzere üç kontrol merkezini kapsayan K-Net adında bir real-time deprem bilgi akış sistemi oluşturdu.

Real-time deprem bilgi akış sistemleri bu gibi durumlarda çok değerli bilgileri gerekli yerlere, depremi izleyen ilk bir dakika içinde sunmaktadır ki, bu süre gelecekte 20-30 saniyeye inecektir. Bu bilgiler arasında bir

depremi tanımlayan, en önemli parametrelerden olan depremin merkez üssü (episantr koordinatı) ve büyüklüğünün yanı sıra sarsıntı haritaları (maksimum yer ivmesi, hızı ve yer değiştirmesi haritaları) ve bunlar yardımıyla üretilen aletsel eşşiddet haritaları da yer alır.

Sarsıntı haritaları, potansiyel olarak yıkıcı etkiye sahip deprem yer hareketinin dağılımını ve etkilediği alanın genişliğini vermesi açısından, depremin hemen bir dakika sonrasında acil müdahalede öncelik gerektiren yerler hakkında ilgililere ve sistem kullanıcılarına (ilgili il valilikleri, kamu kuruluşları, özel şirketler, özel kurtarma ekipleri, basın ve yayın kuruluşları) önemli bilgiler verir. Çünkü depremdeki hasar dağılımı, yalnız episantr koordinatı ve büyüklüğünün basit bir fonksiyonu değildir; çoğu büyük deprem için episantrdan çok uzaklarda da hasar gözlenir.



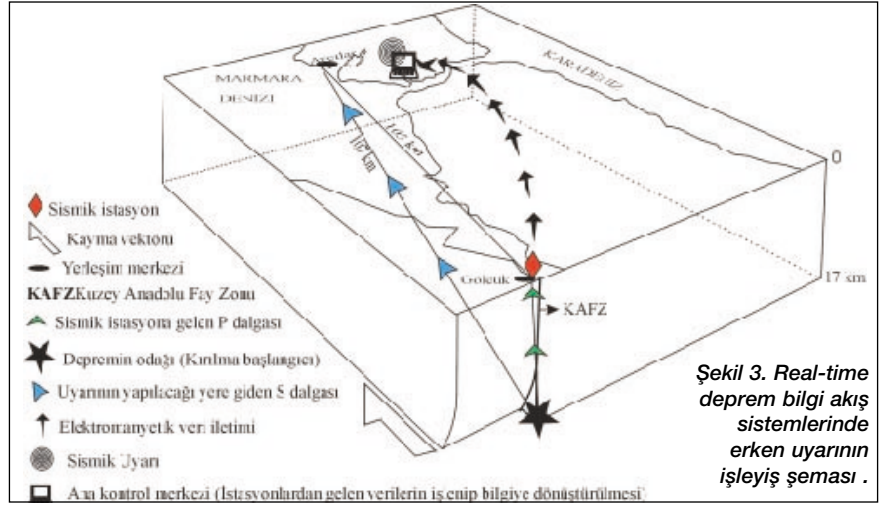
Kaliforniya'da 1994 yılında meydana gelen Northridge depremi için aletsel olarak üretilen eşşiddet haritasıyla, depremden sonra arazi gözlemlerinden elde edilen şiddet değerlerinin (daire içindeki rakamlar) bir karşılaştırması gösteriliyor. Şekilde, aletsel ve gözlemsel şiddet değerleri arasındaki uyum, büyük bir depremin bir dakika sonra real-time deprem sistemleri tarafından sağlanacak bir aletsel şiddet haritasının yetkililer için ne kadar önemli olduğunu gözler önüne seriyor.

Real-time Sistemlerle Erken Uyarı

Yakın bir depremde gözlenen sismik dalgalar P ve S dalgalarıdır. P dalgaları sismogramlarda (deprem kayıtları) gözlenen ilk dalgalardır ve ortalama 6 km/s hızla yol alırlar. S dalgaları ise ortalama 3.5 km/s hızla yol alırlar ve sismogramlarda P dalgalarından sonra gözlenirler. Depremlerde P dalgalarının da bazen yıkıma neden olmalarına karşın, esas yıkıma yol açan, daha yüksek genliğe sahip S dalgalarıdır. Deprem sırasında boşalan enerjiyle oluşan sismik dalgaların bu özelliklerinden yararlanılarak, real-time deprem bilgi akış sistemleriyle büyük depremlere neden olan aktif faylara yaklaşık 100 km ve daha uzak, büyük ve yoğun nüfuslu kentlerde, depremin kuvvetli yer sarsıntısı hissedilmeden yaklaşık 25-30 saniye önce bir erken uyarı mümkün olabiliyor. ABD’de Los Angeles, Romanya’nın başkenti Bükreş ve Meksika’nın başkenti Mexico City gibi kentler, aktif faylara 100 km ve daha fazla uzaklıklarda yer almaktadırlar. Son yaşadığımız 17 Ağustos 1999 İzmit depremi bu kentler arasında bazı durumlarda İstanbul’un da dahil edilebileceğini gösteriyor.

Bununla ilgili güncel bir örnek verebiliriz. İzmit depreminin odağı Gölcük’ün 17 km derinliğinde yer alıyordu (şekil 3). Kırılmanın başladığı andan itibaren odaktan çıkan P dalgasının Gölcük’te bulunan bir deprem istasyonuna ulaşması yaklaşık 3 saniye alacaktır. Bu istasyonda algılanan deprem bilgisinin on-line iletişim ya da radyo dalgaları ile İstanbul’da olduğunu varsaydığımız bir kontrol merkezine ulaşması ve ardından deprem alarmının verilmesi 3-5 saniyelik bir süre içinde gerçekleşebilir. Deprem odağından yayılan yıkıcı S dalgalarının İstanbul’un Avcılar ilçesine ulaşmasıyla yaklaşık 30 s sürmüştü. Bu durumda, Avcılar ilçesinde, yıkıcı deprem dalgaları bölgeye ulaşmadan yaklaşık 25 s önce deprem alarmı verilebilir.

Aktif faylara 100 km den daha yakın uzaklıklarda erken uyarı süresi 5-10 s gibi çok kısa sürelerle düşmesine karşın bu süre içinde bile otomatik olarak deprem zararını azaltacak birçok önlem alınabilir. Bu önlemlerden



bazıları ana bilgisayar sistemlerinin kapatılması, havaalanı etkinliklerinin durdurulması, otoyollardaki önemli tünel ve köprülerin geçişe kapatılması, yüksek gerilim hatlarındaki akımın kesilmesi, doğalgaz, içme suyu ve petrol boru hatlarındaki akımın durdurulması, hastanelerin acil müdahale birimlerinin alarma geçirilmesi, nükleer santrallerin ve rafinerilerin faaliyetlerinin durdurulması biçiminde sıralanabilir.

Bu tür acil önlemlerin daha depremin kuvvetli yer sarsıntısı bölgeye ulaşmadan alınmasının önemi açıktır. Erken uyarının önemini gösteren bir örnek de ABD’nin California eyaletindeki 1989 Loma Prieta (Büyüklük=6.9) depremi sonrasında enkaz kaldırma çalışmaları sırasında yaşanmıştır. Kurulan seyyar bir real-time deprem erken uyarı sistemi, enkaz kaldırma çalışmalarında bulunan işçilere artçı depremlerin neden olduğu zararlardan korunmak için 20 s’lik bir erken uyarı zamanı sağlamıştır.

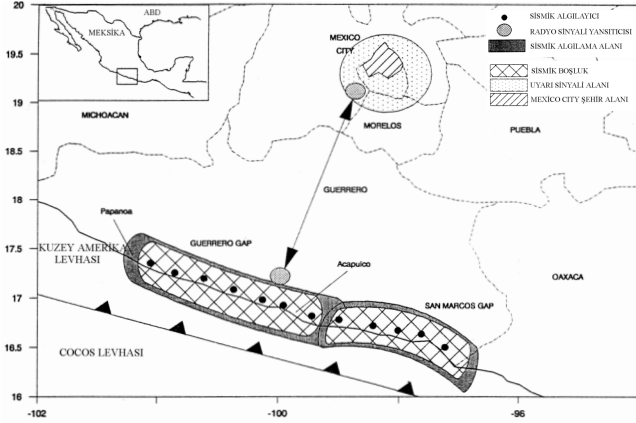
Bir Erken Uyarının Öyküsü

Erken uyarının yaşanmış başka örnekleri de var. 1985 yılında Meksika’nın batı sahilleri boyunca uzanan dalma-batma zonundaki Michoacan sismik boşluğunda (fayların uzun süredir belirgin sismik aktivite göstermeyen kesimleri) meydana gelen 8.1 büyüklüğündeki deprem, başkent Mexico City dahil olmak üzere büyük can ve mal kaybına yol açmıştı. Bu sismik boşluk Mexico City kentinin 320 km batısında yer almaktadır. Bu dalma-batma zonu üzerinde yapılan deprembilimsel araştırmalar Mexico

City’nin yaklaşık 300 km güney ve güneybatısında yer alan Guerrero ve San Marcos olarak adlandırılan sismik boşlukların da bulunduğunu göstermiştir (şekil 4). Bunun üzerine, bu sismik boşluklarda meydana gelebilecek bir depreme karşı deprem erken uyarı sisteminin kurulmasına karar verilmişti. Çünkü Guerrero sismik boşluğunda olabilecek bir depremden kaynaklanabilecek yıkıcı sismik dalgaların başkente ulaşması yaklaşık 100 saniyeyi buluyordu ve bu da yaklaşık 60-70’s’lik bir erken uyarı olanağı sağlıyordu.

1991 yılında tamamlanan deprem erken uyarı sistemi, Meksika’nın Guerrero sismik boşluğuna bakan doğu sahilleri boyunca 25 km aralıklarla dizilmiş 12 sayısal kuvvetli yer hareketi algılayıcısı, bilgisayar ve VHF radyo vericisi içeren sismik istasyonlar ile, bu istasyonlarda elde edilen verileri başkentteki bir ana kontrol merkezine ulaştıracak, başkentle sahil arasındaki 6 UHF radyo alıcısı ve vericilerinden oluşuyordu (şekil 4). İstasyonlardaki bilgisayar yazılımı, büyüklüğü 6 ya da daha yüksek olan depremler için deprem alarmı gönderecek biçimde ayarlanmıştı ve başkentteki kontrol merkezine gelen sismik alarm, anında sistem alıcılarının bulunduğu yerlere (hükümet organları, okullar ve sismik alıcıyı satın alan diğer özel kişilere), radyolara ve kent sirenlerine aktarılıyordu. Sahildeki istasyonlardan en az ikisi tarafından belirlenen 6’dan büyük bir depremin uyarısının başkentteki sismik alarm merkezine ulaşması 2 s alıyordu.

Beklenen olmuş ve Guerrero sismik boşluğunda 1995 yılında meydana gelen bir depremde, kuvvetli yer hareketinin varışından 72 s önce baş-



Şekil 4. Meksika deprem erken uyarı sistemi.

kentte alarm verilmişti. Bu deprem sırasında, sistem alıcılarına sahip toplam 46 radyo istasyonundan hepsi sismik alarmı yayımlamıştı. Hatta bu radyo istasyonlarından 18'inde alarm herhangi bir operatör müdahalesi olmadan otomatik olarak "sismik alarm, sismik alarm" biçiminde yayımlanmıştı. Sistem alıcılarının bulunduğu okullarda da boşaltma çok düzenli biçimde başarıyla tamamlanmıştı. Bunda, Meksika Eğitim Bakanlığı yetkilileri denetiminde her ay bir defa veya yerine göre bazen daha sıklıkla yapılan boşaltma eğitim ve tatbikatlarının büyük katkısı olmuştu.

Sistem kullanıcılarının eğitimi en az sistemin kendisi ve içerdiği teknoloji kadar önemlidir. Meksika halkının bu tür alarmlar karşısında gösterdiği gerek toplumsal gerekse kişisel tepkiler, psikolojik ve sosyolojik açıdan incelenmektedir. Meksika Sismik Alarm Sistemi'nin 30 Eylül 1999'da meydana gelen 7.4 büyüklüğündeki depremde başarıyla kullanıldığına ve başkentteki metro sisteminin sarsıntı ulaşmadan önce durdurulduğuna dair haberler yazılı basında da yer almıştı.

Real-time Sistemlerin Türkiye İçin Önemi

17 Ağustos 1999 İzmit depremde depremin merkez üssüne uzaklığı 80-100 km arasında değişen İstanbul, Bursa ve Bolu gibi şehirlerimizde görülen can ve mal kaybı, Marmara bölgesinde bir erken uyarı sisteminin önemini gündeme getirdi. Bu önlemlerden en etkin Marmar Bölgesi'nde bir real-time deprem bilgi akış sisteminin kurulması olacaktır. Böyle bir sistemin oluşturulmasının ve sürdürül-

mesinin maliyeti birkaç milyon dolarla ifade edilmesine karşılık, depremlerin yol açtığı zarar milyar dolarlarla ifade olunmaktadır. Bölgede bulunan sanayi ve endüstri kuruluşlarının da bu tür sistemlere ihtiyaç duyabileceği düşünülürse, sistemin finansman-

nında bu tür kuruluşlardan yararlanılması ve sistemin bir kullanıcısı haline getirilmeleri kolay olacaktır.

Real-time deprem bilgi akış sistemleri sadece erken uyarı amacıyla hizmet etmeyecek, sistem kapsamındaki yoğun sismograf ağıyla, bölgenin depremselliği de daha ayrıntılı izlenebilecektir. Böylece, elde edilecek ayrıntılı depremsellik haritalarıyla daha önce yapılmış çalışmalara benzer olarak bölge içinde uzanan fayların etkinliği daha iyi izlenebilir, fay segmentlerinin (parçalarının) belirlenmesi kolaylaşır ve "sismik boşluk" özelliğinin gözlemlendiği fay segmentleri daha kolay tanımlanabilir. Bu yoğun sismograf ağı tarafından sağlanacak veriler bilimsel çalışmalarda kullanılmak amacıyla Japonya ve ABD'de olduğu gibi sınıflandırılarak araştırmacıların kullanımına da sunulabilir.

Küçükten büyüğe geniş bir frekans aralığındaki verilerin kaydedilip sınıflandırılmalarıyla oluşturulacak veri bankaları, büyük depremlerden kaynaklanacak olası kuvvetli yer hareketlerini hesaplamada, yani deprem senaryoları oluşturma da önemlidirler. Çünkü, bu veri bankaları, mühendislik uygulamalarında ve özellikle de yüksek binalar, barajlar, köprüler, tünel ve vb. mühendislik yapılarının depreme dayanıklı yapılmasında gerekli olan bilgileri içerirler. Yine böyle bir veri bankasından yararlanılarak, zeminin deprem kuvvetli yer hareketi üzerine etkisini gösteren haritalar üretilir. Bu çalışmaların sonuçları ışığında bina yapım yönetmeliklerinde ve yerleşim yerlerinin seçiminde gerekli düzenlemeler yapılabilir. Örneğin Güney California'da TriNet olarak adlandırılan bir real-time sismik sis-

tem tarafından sağlanan verilerle Los Angeles metropolitan bölgesi ve çevresi için frekans bağımlı zemin etkisi haritaları (site-response maps) üretilmeye başlanmıştır. Depremlere karşı mikrobölgeleendirme haritaları için gerekli verileri de sağlayacak yukarıda anlatılan türden çalışmaların, hızla gelişen ülkemiz için önemi çok açıktır.

Real-time deprem bilgi akış ve erken uyarı sistemleri deprem etkinliği yüksek olan Japonya, ABD, Meksika ve Tayvan gibi birkaç ülkede başarıyla kullanılıyor. Kullanımdaki sistemler de sürekli olarak geliştirilmektedir. Örnek olarak, büyük bir depremin kaynak parametreleri ve sarsıntı haritaları real-time olarak verildiğinde binaların ve yaşamsal örgünün (telefon, elektrik, ulaşım vb.) uğradığı hasarı modellemek, mal ve can kayıplarını depremin daha ilk günü içinde sanal ortamda tahmin etmek için GIS (Coğrafik bilgi sistemi) temel alınarak oluşturulan bir yazılım Amerika'daki real-time sisteme eklenmiş, 1994 Northridge depreminde başarıyla kullanılmıştır. Kayıp hesaplamaları deprem bina dökümleri ve real-time deprem bilgi akış ve uyarı sistemlerinin sağladığı veri tabanları baz alınarak yapılıyor.

Depremlerle iç içe yaşayan ülkemizde, depremlerin zararlarının azaltılması için böyle bir deprem erken uyarı sistemine gereksinim olduğu açıktır. Hızlı, güvenilir real-time deprem bilgi akış sistemleri depremle mücadele çabalarını organize etmede önemli rol oynayacak ve modern kentleşme alanlarında daha hızlı ve odaklanmış acil müdahale ile zararın azaltılmasına büyük katkıda bulunacaktır.

Murat Utkucu,
Eşref Yalçınkaya,
Ömer Alpekin

I. Ü. Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sismoloji Anabilim Dalı

Kaynaklar

- Eguchi, R.T., ve diğerleri, "Real-time loss estimation as an emergency response decision support system: The early post earthquake damage assessment tool (EPE-DAT)", *Earthquake Spectra*, 13, 1997
- Epinosa-Anda, J.M., ve diğerleri, "Mexico city seismic alert system", *Seis. Res. Lett.*, 66, 1995
- Goltz, J.D. and Flores, P.J., "Real-time earthquake early warning and public policy: A report on Mexico City's sistema de alerta sísmica", *Seis. Res. Lett.*, 68, 1997
- Hartzell, S., ve diğerleri, "First generation site-response map for the Los Angeles region based on earthquake ground motion", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88, 1998
- Kanamori, H., ve diğerleri, "Real-time seismology and earthquake hazard mitigation", *Nature*, 390, 1997
- Kinoshita, S., "Kyoshin net (K-Net)", *Seis. Res. Lett.*, 69, 1998
- Oppenheimer, D.H., ve diğerleri, "Slip partitioning of the Calaveras Fault, California, and prospects for future earthquakes", *J. Geophys. Res.*, 95, 1990
- Stein, R., ve diğerleri, "Progressive Failure on the North Anatolian Fault Since 1939 by Earthquake Stress Triggering", *Geophys. J. Int.*, 128, 1997
- Wald, D.J., ve diğerleri, "Tinner 'Shake Maps': Rapid generation of peak ground motion and intensity maps for earthquakes in southern California", *Earthquake Spectra*, 15, 1999
- Wald, L.A. and Wald, D.J., "The 1998 Southern California network bulletin", *Seis. Res. Lett.*, 70, 1999