İstanbul Yerbilimleri Dergisi, C.26, S.2, SS. 65-72, Y. 2013

İSTANBUL'DA KURULU DEPREM ERKEN UYARI ve YAPISAL ALARM SİSTEMLERİ

THE EARTHQUAKE EARLY WARNING AND STRUCTURAL ALERT SYSTEMS IN ISTANBUL

Hakan Alçık[1*], Ali Pınar[1]

[1] B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, 34684, Çengelköy, Üsküdar – İstanbul

**Corresponding author: alcik@boun.edu.tr*

Öz

Haberleşme, bilgisayar ve sismik cihaz konusundaki teknolojik ilerlemeler gerçek zamanlı erken uyarı-alarm sistemlerinin kurulmasını mümkün kılmaktadır. Bu sistemler, sismik cihazlarının ve olası depremin dışmerkez konumuna bağlı olarak birkaç saniye ile onlarca saniye öncesinden bir yapının, tesisin, alanın veya bölgenin uyarılmasına ve gerekli görülen otomasyon sistemlerinin kapatılmasına olanak sağlarlar. Şehirlerde ve sanayi bölgelerinde kurulacak hem bölgesel hem lokal deprem uyarı/alarm sistemleri sayesinde depremden zarar görebilecek: enerji santralleri, ulaşım, yüksek katlı binalar, alışveriş merkezleri gibi benzeri sistemlerin kapatılması mümkündür.

Bu çalışmada İstanbul'da kurulu deprem erken uyarı-alarm sistemleri hakkında bilgiler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: deprem erken uyarı, deprem alarm sistemi

Abstract

Technological advances in seismic instrumentation, computer and telecommunication systems permit the implementation of real-time early warning-alert systems. Depending on the location of earthquake and seismic stations, such systems are capable of providing early warning from a few seconds to a few tens of seconds before the arrival of strong ground shaking. Regional and local earthquake early warning/alarm system in urban and industrial areas allows for clean emergency shutdown of systems susceptible to damage such as power stations, transportation, high-rise buildings, malls...

This study presents general information about current earthquake early warning-alert systems used in İstanbul.

Key words: earthquake early warning, earthquake alert system

GİRİŞ

Son yıllarda hızla gelişen elektronik ve bilgisayar teknolojileri, gerçek zamanda (real-time) yapılan deprem yer hareketi gözlemlerinin anında, kayıt süresi içerisinde değerlendirilmesiyle deprem erken uyarı ve alarm sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamıştır (Erdik ve diğ., 2003; Kanamori, 2005; Kanamori ve diğ., 1997; Nakamura, 1988; Wenzel ve diğ., 1999).

Deprem erken uyarı (kısaca EU) hasar yaratabilecek düzeyde bir deprem oluşumunu, kaynağına en yakın konumlarda gerçek zamanda tespit edilmesi ve bir alarm sinyalinin üretilmesidir. Sinyalinin otomatik olarak ilgili kurumlara iletilmesi; elektriğin kesilmesi, fabrika ve rafinerilerin faaliyetlerinin durdurulması, metro, tramvay ve tren gibi toplu taşıma araçlarının yavaşlatılması ve durdurulması… gibi birçok önemli tedbirlerin alınmasını mümkün kılar. Bir deprem sırasında oluşan sismik dalgalar farklı hızlarda hareket ettiklerinden deprem kayıt istasyonlarına da belirli sıralarda ulaşırlar. Öncelikle hızı 5.0-7.4 km/s arası değişen P dalgası, ardından da 3.0-4.0 km/s ile S dalgası gelir (Clark, 1971). Bazı EU sistemleri P dalgasının ilk birkaç saniyesinden faydalanıp büyüklük ve yer tayini yapararak uyarı/alarm üretirler. Mühendislik amaçlı kurulan sistemler ise P dalgasının saptanmasına çalışmadan sadece gelen sismik dalganın genliğinin belirli bir eşik seviyesini aşıp aşmadığını kontrol ederek uyarı/alarm verirler. EU sistemleri, sismik cihazların ve olası depremin dışmerkez konumuna bağlı olarak birkaç saniye ile onlarca saniye öncesinden bir tesisin, bölgenin uyarılmasına ve gerekli görülen otomasyon sistemlerinin kapatılmasına olanak sağlarlar. Bir EU sistemi şu bileşenlerden oluşur; (a)Sismik kayıçı sistemleri, (b)Veri işlem merkezi için gerekli bilgisayar ve yazılım, (c)Merkez ile sismik istasyonlar arasında sürekli veri iletişimi ve (d)Uyarı-alarm sinyalinin iletilmesini sağlayan düzenek (Alçık, 2011).

Bir erken uyarı ve alarm sistemi bölgesel olarak kurulabildiği gibi aynı şekilde lokal olarak da bir tesis/yapıya da kurulabilir (Fahjan ve diğ, 2004). Endüstriyel tesis-işletmeye, alışveriş merkezlerine, hastanelere, çok katlı yapı ve binalara vb. kurulacak "deprem uyarı-alarm sistemleri" büyük bir deprem tarafından oluşabilecek kuvvetli yer hareketlerinin tesisi/yapıyı etkilemesinden birkaç saniye öncesinden otomasyona yönelik uyarı sağlayabilir. Bu kısa zaman içerisinde sağlanan uyarı ile de tesis/çok katlı yapı/alışveriş merkezlerindeki asansörlerin istenilen kat seviyesinde durdurulması, garaj ve depo benzeri hacim kapılarının açılması/kapanması, elektronik geçişlerin devredışı bırakılması, elektrik sistemlerinin otomatik olarak kapatılmasını gibi birçok önlemin alınmasını mümkün kılmaktadır.

DEPREM ERKEN UYARININ KISA TARİHÇESİ

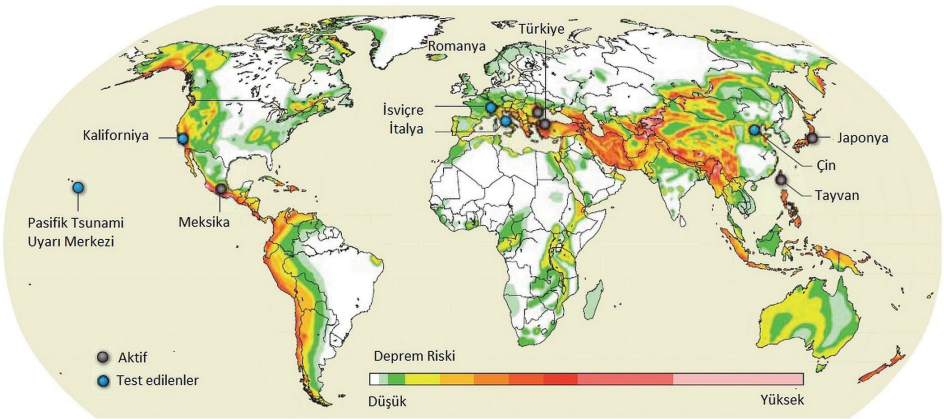
EU anlamında ilk fikir ve düşünce gazeteci J. D. Cooper tarafından sunulmuştur. Cooper (1868) Hayward fayında oluşan 7 büyüklüğündeki deprem sonrasında San Fransisko şehrininin dışına, 10 - 100 km arası uzaklıklarda, sismik detektörlerin konulmasını ve büyük bir sarsıntının bu ağı tetiklemesi durumunda da bir sinyalin telgraf yardımıyla şehre gönderilerek çanın çalınmasını önermiştir.

Modern bir örnek Heaton (1985) tarafından verilmiştir. Heaton, Güney Kaliforniya Eyaleti için genişbandlı kayıtçılardan oluşacak bir sismik ağ önermiştir. Bu öneriler öncü birer fikir olarak tarihte yerine almıştır.

Hayata geçirilen ilk örnek Japon Demiryolları tarafından hızlı trenlerin yavaşlatılması ve durdurulması amacıyla 1960'lı yıllarda işletime alınan mekanik alarm özellikli sismograflardan oluşan sistemdir (Ashiya 2004).

1989 yılındaki Loma Prieta depremi sonrasında oluşan ve uzun süre devam eden artçı sarsıntılardan, dışmerkezden yaklaşık 100 km uzaklıktaki Oakland şehrinde hasar gören karayollarında çalışan işçileri haberdar etmek amacıyla dört sensörle kurulan basit ve pratik sistem yaklaşık 20 saniyelik bir uyarı zamanı kazandırmıştır (Bakun ve diğ., 1994).

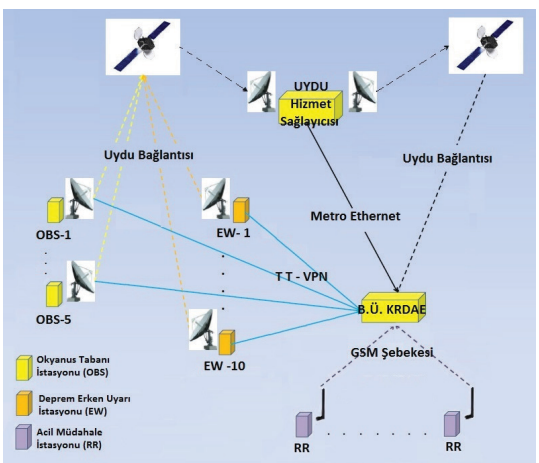
Günümüzde birçok ülke deprem EU sistemi üzerine çalışmaktadır (Şekil-1) (Allen, 2011). EU sistemi kurulu ve yöntemleri üzerine yoğunlaşan ülkelerin başında; Japonya (Doi, 2011), Meksika (Espinosa-Aranda ve diğ., 2011), Tayvan (Wu ve Kanamori, 2005; Hsaio ve diğ., 2009), Romanya (Wenzel ve diğ., 1999), Türkiye (Alçık ve diğ., 2009; Erdik ve diğ., 2003), Amerika Birleşik Devletleri (Allen ve Kanamori, 2003), İtalya (Zollo ve diğ., 2009), İsviçre (Allen ve diğ., 2009) ve Çin (Peng ve diğ., 2011) gelir.



Şekil 1. Deprem EU sistemine sahip ülkeler (Allen, 2011)
Figure 1. *Earthquake Early Warning systems currently are in place around the world (Allen, 2011)*

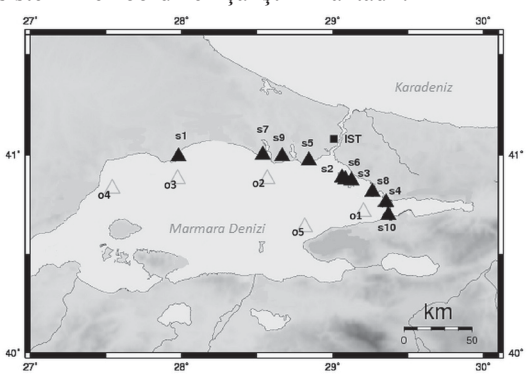
İSTANBUL DEPREM ERKEN UYARI SİSTEMİ

T.C Bakanlar Kurulu'nun 05/Nisan/2001 tarihli kararı ile Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından İstanbul Deprem Erken Uyarı ve Acil Müdahale Projesi'nin "EU" ayağı kapsamında 10 adet kuvvetli yer hareketi istasyonu kurulmuştur. 2002 yılından itibaren çalıştırılan sistemin istasyonlarının yerleri; güvenlik, veri nakil emniyeti ve fay hattına yakınlık gibi lojistik ölçütler göz önünde bulundurularak Adalar, Tuzla, Yalova, Gebze ve Marmara Ereğlisi vb. gibi mahallerde belirlenmiştir. Radyolinkle başlanan veri transferi (Erdik ve diğ., 2003) 2008 yılından itibaren uydu kanalıyla (Alçık ve diğ., 2009) ve 2012 yılından itibaren de hem uydu hem de TürkTelekom alt yapısıyla sağlanmaktadır (Şekil-2).



Şekil 2. İstanbul Deprem Erken Uyarı ve Acil Müdahale Sistemine ait veri aktarım şeması
Figure 2. *Data communication schema of the Istanbul Earthquake Early Warning and Rapid Response System*

Ayrıca, istasyonlarda kulanılan GeoSIG (İsviçre) marka sayısallaştırıcılarının GURALP marka (model: CD-24-S3EAM http://www.guralp.com/documents/DAS-C24-1003.pdf) sayılaştırıcılarla değiştirilmesiyle de (sistem bünyesinde GURALP CMG-5T ivme sensörleri kullanılmaktadır http://www.guralp.com/documents/ MAN-050-0001.pdf) sistem yapısal olarak 2010 yılında revize edilmiştir. Ulusal Deprem İzleme Merkezi (UDİM-http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/) tarafından işletilen ve Marmara Denizine yerleştirilen okyanus dibi istasyonların (OBS) Istanbul deprem EU sistemiyle entegre edilmesiyle mevcut sistemin kapasitesi ve güvenilirliği arttırılmıştır (Şekil-3). Sistemin yedekli çalışması açısından OBS ve EU istasyonlarından gerçek zamanda sürekli gelen tüm veriler hem UDİM (Şekil-4) hem de Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı (Şekil-5) tarafından izlenmekte ve kontrol edilmektedir. Günümüzde İGDAŞ-SCADA sistemi ve Marmaray sistemi EU sistemi ile koordineli çalıştırılmaktadır.



Şekil 3. İstanbul Deprem Erken Uyarı Sistemi kapsamındaki deprem istasyonları: İçi boş üçgenler OBS ve içi dolu üçgenler erken uyarı istasyonlarını göstermektedir
Figure 3. *Istanbul Earthquake Early Warning stations: Early Warning stations (black triangles), OBS stations (open triangles)*

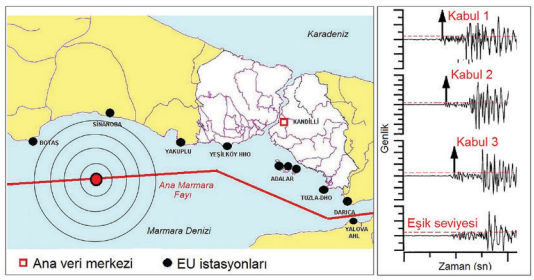


Şekil 4. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Ulusal Deprem İzleme Merkezi'nden (UDİM) bir görünüm
Figure 4. *A picture from Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, National Earthquake Monitoring Center*

Uydu ve Türk Telekom alt yapısıyla istasyonlardan gelen sürekli veriler ana merkezde 1-12 Hz band geçişli filtre ile süzgeçlendikten sonra otomatik olarak değerlendirilir. Ayarlanabilir bir zaman penceresi içinde (5-10 saniyelik) en az 3 istasyon tarafından eşik seviyesinin aşılıp aşılmadığı (kabul) sistem tarafından sürekli kontrol edilir. Seviye değerinin aşılmasının ardından "kabul"lerin sağlanmasıyla "deprem" kararı verilir ve yazılım tarafından otomatik olarak alarm mesajı üretilir (Şekil-6). Üç farklı eşik seviyesi için üç adet alarm üretilir. Depremin tetiklenmesinde PGA (en büyük ivme değeri) ile CAV (Kümülatif Mutlak Hız) eşik seviyelerinden faydalanılır. PGA eşik seviye değerleri 0.05m/s^2, 0.1m/s^2 ve 0.2m/s^2; CAV eşik seviye değerleri ise 0.2m/s, 0.4m/s ve 0.7m/s olarak belirlenmiştir (Alçık ve diğ., 2009). Hasar yaratabilecek bir depremle ilgili uyarı sinyali, deprem kaynak parametrelerine ve etkilenecek konumun koordinatlarına bağlı olarak en fazla 8 saniye öncesinde verilebilecek niteliktedir (Erdik ve diğ., 2003)



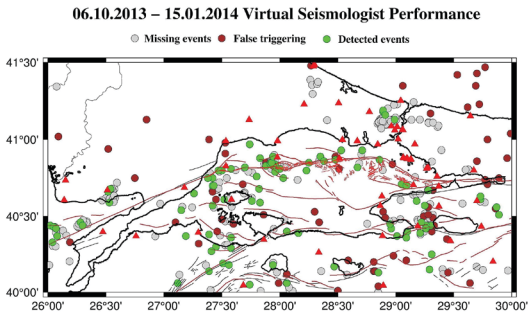
Şekil 5. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı Laboratuvarı'ndan bir görünüm
Figure 5. *A picture from Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Earthquake Engineering Laboratory*



Şekil 6. Istanbul Deprem Erken Uyarı (EU) istasyonlarının konumları ve sistemde kullanılan eşik seviyesi yönteminin grafiksel tasviri (Alçık, 2011)
Figure 6. *The location of Istanbul Earthquake Early Warning system and the sketch of direct (engineering) early warning procedure (Alcik, 2011)*

İstanbul Deprem Erken Uyarı sistemi, 2002 yılından günümüze farklı zamanlarda yerli ve yabancı bilim insanları tarafından üzerinde çalışılmaktadır. Yapılan araştırmalar farklı yöntemlerin ve yaklaşımların denenmesiyle önemli sonuçların alındığını göstermektedir (Alçık ve diğ., 2011; Böse 2006; Böse ve diğ., 2008; Köhler ve diğ., 2008 ve 2009; Picozzi ve diğ., 2011). Bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğu eşik seviyesi tabanlı olup on-site algoritmalarını içermektedir.

Pratiğe dönüştürülen uygulamalardan bir tanesi bölgesel ağ temelli deprem erken uyarı sistemine uygun bir Bayesian yaklaşımı olan VS (Sanal Sismolog) metodudur (Cua ve Heaton, 2007). VS algoritma yazılımı gerçek zamanlı test çalışmaları amacıyla 2013 yılında B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nde kurularak devreye alınmıştır. VS deprem erken uyarı sisteminin performansını ölçmek için kullanılabilecek en iyi yöntemlerden biri hatalı (false), doğru (detected) ve belirlenemeyen (missing) olayları gözlemlemekten geçer. Bu amaçla, VS sisteminin Ekim-2013 ile Ocak-2014 tarihleri arasında belirlediği deprem sayısı ile UDIM tarafından aynı dönem içinde yapılan rutin çözümler karşılaştırılmıştır (Şekil-7). Şekilde gri renkli daireler belirlenemeyen (mising) sarsıntıları, kahverenkli daireler hatalı (false) tetiklenenleri ve yeşil renkli daireler de doğru saptanan depremlerin lokasyonlarını göstermektedir. Yapılan karşılaştırma sonucunda elde edilen bulgulara göre M>2.0 olan depremlerin hemen hemen tamamı VS tarafından da saptanmıştır. Ancak, M<2.0 olan depremlerde saptanan deprem sayısında önemli oranda *false* ve *missing event* bulunmaktadır. Bunun en önemli sebeplerinden biri VS sistemi çözüm yapabilmesi için en az 6 istasyona ihtiyaç duymaktadır. Halbuki, Marmara bölgesinde M<2.0 olan sismik olayların çoğu patlatma kökenli olup az sayıda istasyon tarafından kaydedilmektedir.



Şekil 7. Sanal Sismolog (VS) metodunun 10/2013 – 01/2014 tarihleri arasında sergilediği performans
Figure 7. *The performance of the Virtual Seismologist (VS) between the dates 10/2013 and 01/2014*

İSTANBUL'DA KURULU YAPISAL DEPREM UYARI-ALARM SİSTEMLERİ

Yapılasal görüntüleme ve deprem alarm sistemleri, bina/tesis alanı içerisinde kurulan ve sürekli veri akışı sağlayan kuvvetli yer hareketi kayıtçılarından oluşan kapalı bir sismik ağdır. Ağ içindeki kayıtçı sistemleri veri merkezine ayrı ayrı çekilen kablolar vasıtasıyla sürekli veri aktarırlar. Çalışma alanının konum ve yapısına bağlı olarak kablosuz sistemlerde tercih edilebilinir. Verilerin toplanması, izlenmesi ve analizi otomasyon merkezinde (ana merkez) bulunan sistem kontrol bilgisayarındaki yazılım tarafından yapılır. Alarm sinyalinin üretilmesi, deprem hareketinin istasyonlar tarafından algılanıp ana merkez tarafından deklare edilmesine bağlıdır. Tesis/yapı/binanın işlevselliğine bağlı olarak çok sayıda farklı eşik seviyelerde alarm üretilebilir. Böylece farklı çalışan sistemler (asansör, ısı dairesinde çalışan üniteler, gaz sistemi, elektrik sistemi, otomatik kapılar, kartlı geçiş vb.) farklı eşik seviyelerinde kapatılabilir. Çok katlı yapılarda uygullanması mümkün bir örnek deprem senaryosu aşağıda verilmiştir.

Alarm1: Tüm katlarda ve/veya tüm dairelerde deprem anonsunun yapılması.

Alarm2: Garaj çıkışı ve araç bariyerlerinin açılması, teras kapılarının açılması, asansörlerin ulaşabildiği en yakın kata kapılarını açması, özel ve *hidden gate* turnikelerin açılması, hidrofor sisteminin kapatılması.

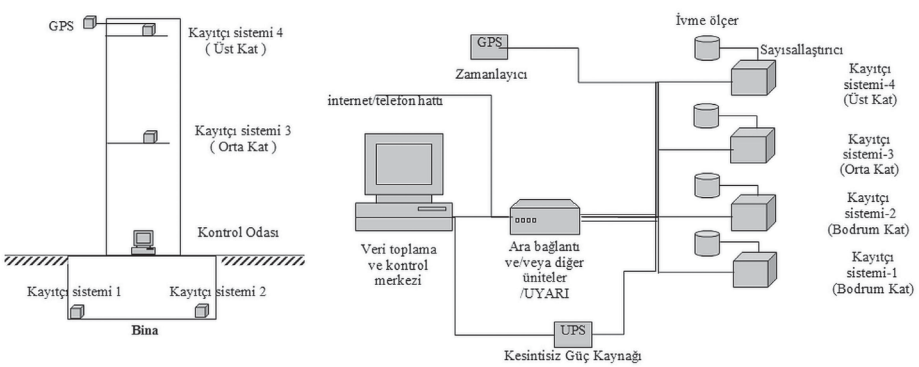
Alarm3: Ana kapılarının açılması, gaz sisteminin kapatılması vb.

Bu senaryoda gerçekleştirilecek eylemlerin eşik seviye değerleri yaklaşık 0.5-1.5 m/s^2 arasında değişmektedir. Farklı senaryolarda alınacak değerler farklılık gösterecektir.

Bina için oluşturulan bir yapısal görüntüleme ve alarm sistemine örnek Şekil-8'de şematik olarak verilmiştir. Sadece uyarı-alarm sistemi kullanılması durumunda daha az cihaz kullanılması ve hizmete uygun dağılım yapılması yeterli olacaktır.

İstanbul ili ve civarında lokal olarak kurulan ve müstakil çalışan yapısal uyarı-alarm sistemleri, İstanbul Deprem Erken Uyarı sisteminin kurulumuyla beraber günümüze kadar gelen talepler doğrultusunda gerçekleşmiştir. Çok katlı yapılara yönelik kurulan ilk sistem İş Bankası İşkule'dedir. Hem yapısal görüntüleme hem de alarm amacıyla hizmet vermektedir (Fahjan ve diğ., 2004). Günümüzde benzer amaçla ve benzer cihazlandırma şekliyle birçok yapısal görüntüleme ve alarm sistemi kurulmuştur. Trakya Elektrik Tesisleri, Polat Tower ve Kanyon Tower'da kurulan sistemler hem çok katlı yapılara hem de yatay tesislere yönelik güzel birer örnek oluşturmaktadır.

Trakya Elektrik (Marmara Ereğlisi) tesislerinde kurulu sistem cihazlardan bir tanesi Şekil-9'da görülmektedir. Toplam üç adet kuvvetli yer hareketi kayıtçısı kullanılarak oluşturulan uyarı-alarm sinyali tesisin kendi bünyesinde güvenlik amaçlı kullanılmaktadır. Buna karşılık çok katlı yapılarda kullanılan sistemlerde minimum dört adet cihaz ile sistem çalıştırılmaktadır.

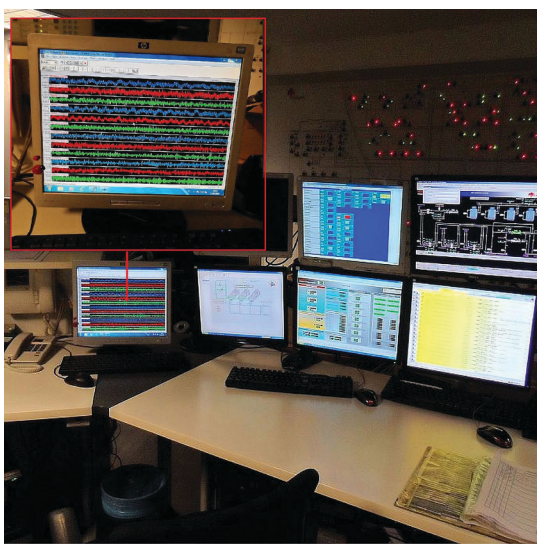


Şekil 8. Bina için oluşturulan örnek yapısal görüntüleme ve uyarı-alarm sistem şeması
Figure 8. *Schema of an structural monitoring and warning-alert system for a building*



Şekil 9. Trakya Elektrik yapısal görüntüleme ve uyarı-alarm sisteminde kullanılan kuvvetli yer hareketi cihazı
Figure 9. *A strong ground motion recorder used in the Trakya Elektrik structural monitoring and warning-alert system*

Kanyon Tower yapısal görüntüleme ve alarm sisteminin otomasyon merkezlerindeki ana kontrol sistemi Şekil-10'da sunulmuştur. Kanyon'da deprem uyarı-alarm sinyali otomasyon merkezi tarafından asansörlerle ilişkilendirilmiştir. Olası bir deprem hareketinin istasyonlar tarafından algılanıp ana kontrol merkezi tarafından yayınlanmasıyla asansörler otomatik olarak zemin kat seviyesine indirilmektedir.



Şekil 10. Kanyon yapısal görüntüleme ve uyarı-alarm sistemininin kontrol edildiği otomasyon merkezi
Figure 10. *The automation and system control center of the Kanyon structural monitoring and warning-alert system*

Benzer şekilde İş Bankası İşkule'de kurulu sistem de olası bir depremin tetiklenmesinin ardından bina içi geçiş kapılarının açılmasında ve asansörlerin kat hizasında durdurulup kapılarının açılmasında kullanmaktadır.

En detaylı uyarı-alarm sinyalinin kullanımı Polat Tower'da gerçekleşmektedir. Uyarı anonsu, geçiş ve garaj bariyerlerinin kaldırılması, ana kapının açılması gibi birçok acil durum önlemlerinin alınmasında kullanılmaktadır.

Kurulu yapısal görüntüleme ve alarm sistemleri kuruldukları günden itibaren çok sayıda deprem kaydetmiştir. Fakat sistemlerinin bünyelerinde belirlenen eşik seviye değerlerinin aşılmamış olması sebebiyle otomasyona yönelik herhangi bir alarm üretilmemiştir.

SONUÇLAR-ÖNERİLER

Yukarıda bahsedilen sistemler uygulama sahası açısından farklılık gösterselerde algoritma açısından farklılık göstermezler ve esas olarak aynı amaca hizmet ederler: Deprem Zararlarının Azaltılması. Nüfus ve sanayi bölgelerinin çoğunluğu deprem tehlikesi altında olan ülkemizde, hasar yaratabilecek düzeyde bir depremi kendi kaynağına en yakın konum veya konumlarda gerçek zamanda belirleyip değerlendirilmesine yönelik çalışmalara doğru bir yönelime ihtiyaç bulunmaktadır. Bu bağlamda da kurulacak bölgesel veya müstakil deprem erken uyarı-alarm sistemlerinden üretilecek alarm sinyalleri deprem sırasında yapı içindeki muhtelif cihaz ve ekipmanların zarar görmesini, bunlara bağlı oluşacak kazaların ve can kayıplarının önlenmesine yönelik gerekli tedbirlerin alınmasını mümkün kılarak deprem zararlarının azaltılmasına fayda sağlayacağı çok açıktır.

KATKI BELİRTME

Makalenin ilk halinin geliştirilmesine verdikleri katkıdan ötürü Sayın Prof. Dr. M. Utkucu ve Sayın Doç. Dr. Y. Fahjan'a teşekkürü bir borç biliriz. Ayrıca makalede kullanılan bilgi ve fotoğraflar için Trakya Elektrik Üretim ve Tic. A.Ş., Kanyon Yönetim İşletim ve Pazarlama Ltd. Şti., İş Merkezleri Yönetim ve İşletim A.Ş. ile MP İnşaat San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

SUMMARY

Recent advances in seismic instrumentation and telecommunication technologies permit the implementation of earthquake early warning systems that hold the potential to reduce the damaging affects of large earthquakes by giving a few seconds to a few tens of seconds warning before the arrival of damaging ground motion. Earthquake Early Warning in urban and industrial areas allows for clean emergency shutdown of systems susceptible to damage such as power stations, transportation, computer centers and telephone systems.

Some earthquake early warning systems make use of the first few seconds of the P wave. After locating epicenter they produce a warning/alert. In contrast some have simple and robust algorithm based on the exceedance of specified threshold time domain amplitude and they are simply called as engineering based. In these systems, filtered accelerations are compared with specified threshold levels. When any accelerations in given stations exceed specific selectable threshold values it is considered as a quake and automatically a warning/alert is produced. Istanbul Earthquake Early Warning System is a good example to engineering based warning systems.

Depending on the location of the earthquake (i.e. initiation of fault rupture) and the recipient facility the alarm time can be as few seconds to tens seconds. An early warning-alert system can be established locally to a structure/facility in the same way like regional system. Structure or facility style alert systems are self-running network systems and consist of few numbers of strong motion recorders installed at specific points of structure/facility, a control center (computers, software) and an alarm unit. Depending on demand functionality, numerous alarms for different threshold levels can be produced. Thus, different systems as elevators, electric and gas systems, generators, garage and main doors, access control, etc. can be activated or be disabled. The systems operated at IşKULE, Kanyon, Trakya Elektirk and Polat Tower are good examples of local systems.

Early warning systems, based on real-time automated analysis of ground motion measurements, play a role in reducing the impact of catastrophic events on industrial and densely populated areas, particularly, for mitigating earthquake related cites, explosions and hazardous material releases associated with strategic facilities and lifelines.

DEĞİNİLEN BELGELER

Alçık, H., 2011. Deprem Erken Uyarı Sistemleri, Jeofizik Bülteni, Van Depremi ve Deprem Özel Sayısı, 22, 50-66.

Alçık, H., Özel, O., Apaydın, N., Erdik, M., 2009. A study on warning algorithms for Istanbul earthquake early warning system", Geophysical Research Letters, 36, L00B05.

Alçık, H., Özel, O., Wu, Y.M., Özel, N.M., Erdik, M., 2011. An alternative approach for the Istanbul Earthquake Early Warning system, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31 (2),181-187.

Allen, R.M., 2011. Seconds the big one, Earthquake detection systems can sound the alarm in the moments before a big tremor strikes-time enough to save lives, Scientific American Magazine, April, 75-79.

Allen, R.M., Gasparini, P., Kamigaichi, O., Böse, M., 2009. The Status of EEW around the Worlds: An Introductory Overview, Seismological Research Letters, 80(5), 682-693.

Allen, R.M., Kanamori, H., 2003. The potential for earthquake early warning in southern California, Science, 300, 786-789.

Ashiya, K., 2004. Earthquake alarm systems in Japan railways, Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, 4(3), 112-117.

Bakun, W.H., Fischer, F.G., Jensen, E.G., VanSchaack, J., 1994. Early warning system for aftershocks, Bulletin of the Seismological Society of America, 84, 359-365.

Böse, M., 2006. Earthquake Early Warning for Istanbul using Artificial Neural Networks, Doktora Tezi, Karlsruhe Universitesi (TH), Karlsruhe, Almanya.

Böse, M., Wenzel, F., Erdik, M., 2008. PreSEIS: A Neural Network-Based Approach to Earthquake Early Warning for Finite Faults, Bulletin of the Seismological Society of America, 98, 1, 366-382.

Clark, S. P. Jr., 1971. Structure of the Earth, Prentice-Hall, p88.

Cooper, J.D., 1868. Earthquake indicator, San Francisco Bulletin, November 3.

Cua, G., Heaton, T., 2007. The Virtual Seismologist (VS) method: A Bayesian Approach to Earthquake Early Warning, Earthquake Early Warning Systems, P. Gasparini, G. Manfredi and J. Zschau, (Ed.). Berlin and Heidelberg Springer.

Doi, K., 2011. The operation and performance of Earthquake Early Warnings by the Japan Me-

teorological Agency, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31, 119-126.

Erdik, M., Fahjan, Y., Ozel, O., Alcik, H., Mert, A., Gul, M., 2003. Istanbul Earthquake Rapid Response and the Early Warning System, Bulletin of Earthquake Engineering, 1, 157-163.

Espinosa-Aranda, J.M., Cuellar, A., Rodriguez, F.H., Frontana, B., Ibarrola G., Islas, R., Garcia, A., 2011. The Seismic Alert System of Mexico: Progress and its current applications, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31, 154-162.

Fahjan, M.Y., Alçık, H., Gül, M., Mert, A., 2004. Earthquake Alert System for ISKULE Building, Technical Report, Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Istanbul, Turkey.

Heaton, T.H., 1985. A model for a seismic computerized alert network, Science, 228, 987-990.

Hsiao, N.C., Wu, Y.M., Shin, T.C., Zhao, L., Teng T.L., 2009. Development of earthquake early warning system in Taiwan, Geophysical Research Letters, 36, L00B02.

Kanamori, H., 2005. Real-time seismology and earthquake damage mitigation, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 33, 195-214.

Kanamori, H., Hauksson, E., Heaton, T., 1997. Real-time seismology and earthquake hazard mitigation, Nature, 390, 461-464.

Köhler, N., Wenzel, F., Erdik, M., Alcik, H., Mert, A., Earthquake early warning performance tests for Istanbul, Geophysical Research Abstracts Vol. 11, EGU General Assembly 209-8332, 2009.

Köhler, N., F. Wenzel, F., Erdik, M., Alcik, H., Mert, A., Böse, M., 2008. Expansion of the Istanbul Earthquake Early Warning System – Performance tests, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Ed. A. Oth, 28, 83-88.

Nakamura, Y., 1988. On the urgent earthquake detection and alarm system (UrEDAS), 9th World Conference on Earthquake Engineering, 673-678, August 2-9.

Peng, H., Wu, Z., Wu, Y.M., Yu, S., Zhang, D., Huang, W., 2011. Developing a prototype earthquake early warning system in the Beijing Capital Region, Seismological Research Letters, 82, 394-403.

Picozzi, M., Milkereit, C., Fleming, K., Çakti, E., Zschau, J., 2011. A generalized zero-lag cross-correlation approach for Rapid Earthquake Localization (REL): the example of the Istanbul Megacity Rapid Response System, Journal of Seismology, 15, 557–578.

Io, A., Iannaccone, G., Lancieri, M., Cantore, L., Convertito,V., Emolo, A., Festa, G., Gallovic, F., Vassallo, M., Martino, C., Satriano, C., Gasparini, P., 2009. Earthquake early warning system in southern Italy: Methodologies and performance evaluation, Geophysical Research Letters, 36, L00B07.

Wenzel, F., Oncescu, M.C., Baur, M., Fiedrich, F., 1999. An EWS for Bucharest, Seismological Research Letters, 70(2), 161-169.

Wu, Y.M., Kanamori, H., 2005. Experiment on an onsite early warning method for the Taiwan early warning system, Bulletin of Seismological Society of America, 95(1), 347-353.

Zollo, A., Iannaccone, G., Lancieri, M., Cantore, L., Convertito,V., Emolo, A., Festa, G., Gallovic, F., Vassallo, M., Martino, C., Satriano, C., Gasparini, P., 2009. Earthquake early warning system in southern Italy: Methodologies and performance evaluation, Geophysical Research Letters, 36, L00B07.