

**Makale
(Article)**

Yer Sarsıntı Haritalarının Üretilmesinde Sismik Ağ Yapısı: Eskişehir Örneği

Muammer Tün**, Emrah Pekkan**, Süleyman Tunç***

** Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzak Bilimleri Enstitüsü, 26555 Eskişehir

*** Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul

mtun@anadolu.edu.tr

Özet

Yaşam alanlarımızı etkileyen büyük depremler, yerleşime uygun olmayan zeminlerde depreme dayanıksız yapılaşma stokumuzdan dolayı, can ve mal kayıplarına yol açabilmektedir. Sismik ağlar yerleri daha önceden belirlenen zayıf ve kuvvetli yer hareketi istasyonlarını yönetir. Bu sismik ağ (AnaNet), istasyonun durumu, veri iletişim durumu ve diğer parametreler hakkında bilgi sağlar. AnaNet Eskişehir'deki depremlerin konumlarını ve büyüklüklerini hızlı ve doğru bir şekilde belirlemek amacıyla 7gün/24saat işletilir. Sismik ağın işletilmesinde, istasyon alt yapısı, ağ protokolü, sunucu hizmetleri, iletişim alt yapıları oldukça önemli hizmetlerdir. Bu çalışma kapsamında, Yerel Deprem İzleme Ağı (AnaNet) iletişim altyapısı ve deprem verilerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında yorumlanmasına yönelik değişkenler tartışılmıştır. Deprem hasar senaryoları için yöntem, iki aşamalı olarak düşünülebilir. İlk aşamada, deprem kararı verilir. İkinci aşamada, bölgeye özgü yer hareketi parametrelerine bağlı yapıların hasar görülebilirliği tahmin edilir. Sismik Ağın bir bileşeni olarak hazırlanan Network Trigger yazılımı, çoklu istasyon dizilimleri ile sismik olayların belirlenmesi ve tanımlanmasına olanak sağlar. İstasyonlardan gelen verilerin %30'undan fazlasının aynı zaman diliminde tetiklenmesi sonucu elde edilen tetikleme sinyalinin deprem olduğuna karar verilir. Ardından depreme ait ivme, hız ve yer değiştirme değerleri gerçek zamanlı olarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan ivme, hız ve yer değiştirme verileri, konumları ile dosyalar ve SMS ve e-posta yoluyla kullanıcılar ile paylaşılır. Pilot uygulama, Eskişehir ilindeki belirli bir sınırdaki deprem kaynaklı kuvvetli yer hareketi değerinin hesaplanması için uygulanmıştır. Sonuçlar yer yüzeyindeki deprem karakteristiklerinin hesaplanmasında gerçek zamanlı kuvvetli yer hareketi analizlerinin ve CBS'nin önemini göstermiştir. Afet Müdahale Programı, Eskişehir yerleşim yerindeki depremle ilişkili interaktif haritaları oluşturur. Mobil uygulamalar kullanılarak izlenebilen haritalar raporlama fonksiyonu ile beraber depremden etkilenen nüfus ve yapıların profilini gösterir.

Anahtar Kelimeler: Sismik Ağ, Coğrafi Bilgi Sistemi, Deprem, Afet Yönetimi

Seismic Network Structure for Generate of Ground Shaking Maps: A Case Study from Eskişehir

Abstract

Due to the unstable alluvial soil and vulnerable building stock, major earthquakes that affect a residential area may damage buildings and cause loss of life. A seismic network manages the weak and strong ground motion recording stations that have been previously established at several locations. This seismic network, Local Weak and Strong Motion Network (AnaNet) provides information about the stations' data communication status and other parameters. AnaNet operates a 24-hour-a-day service to determine the location and magnitude of earthquakes that

Bu makaleye atıf yapmak için

Tün M., Pekkan E., Tunç S., " Sismik Ağ Yönetimi, Veri İletişimi ve Yorumlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı: Eskişehir Örneği" Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 201x, x(x) xx-xx, doi: 10.15659/hartek.15.11.77

How to cite this article

Tün M., Pekkan E., Tunç S., "Using a GIS for Management of Seismic Network, Communication and Interpretation of Data: A Case Study from Eskişehir" Electronic Journal of Map Technologies, 201x, x (x) xx-xx, doi: 10.15659/hartek.15.11.77

hit Eskisehir, as rapidly and accurately as possible. As a consequence, the infrastructure of the seismic station, network protocol, server services, and communication infrastructure are vital services for the operation of the seismic network. In this study, the variables of the communication infrastructure of AnaNet, and the interpretation of the earthquake data by using Geographic Information Systems (GIS) are discussed. The methodology of earthquake damage scenarios may be considered in two stages: In the first stage, the system determines that there was an earthquake. In the second stage, the vulnerability of buildings is estimated, based on site-specific ground motion parameters. The Network Trigger software that was prepared as a component of the seismic network, allows the detection and definition of events across the arrays of multiple instruments. It is determined that the trigger signal was an earthquake when more than 30 percent of data is received from the seismic stations at the same time. Subsequently, the values of acceleration, velocity and displacement belonging to the earthquake are calculated in real-time. The calculated acceleration, velocity and displacement data is then stored and shared between users via SMS and e-mail. A pilot study has been carried out to evaluate strong ground motion data of an earthquake in Eskisehir, Turkey. The results demonstrate the importance of GIS and strong ground motion analysis real-time in the calculation of the earthquake characteristics of the ground surface. Accordingly, the Disaster Response Program creates the interactive maps related to the earthquake in Eskisehir residential area. The maps, which can be viewed by mobile applications and by the reporting functions of the programs together, the population affected, and the structures impacted by the earthquake, can be seen by Geographic Information Systems (GIS), also providing analytical capabilities and essential disaster management decision support.

Keywords: Seismic Network, Geographic Information System, Earthquake, Disaster Management

1. GİRİŞ

Doğal, teknolojik veya insan kaynaklı tehlikeler kentsel yerleşim yerlerinde veya yakınında meydana geldiğinde toplumsal koşullara bağlı olarak insan yaşantısını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu etkinin derecesi, karşılaşılan afetin büyüklüğünü belirler. Afet, tehlike ve zarar görebilirlik kavramlarından türeyen bir tanımlamadır “Afet = Tehlike x Zarar Görebilirlik (Hassasiyet)”. Bir tehlikenin, sosyal yaşantımızı ve yaşam alanlarımızı etkilemesi durumunda karşılaşılabilecek zararlar, kayıplar ve diğer olumsuz etkilerin tamamı *risk* olarak tanımlanır “Risk = Tehlike x Tehlike altında oluşabilecek hasar x Zarar Görebilirlik (Hassasiyet)” [1]. Yaşam alanını olumsuz etkileyebilecek tehlikeler ve bu tehlikeler karşısında zarar görebilirlik ne kadar büyük oradaysa, afetin büyüklüğü de o derece yüksek olacaktır. Deprem, sel, nükleer kaza gibi ani gelişen doğal ve insan kaynaklı tehlikelerin önlenmesi mümkün değildir. Ancak toplumsal koşulların iyileştirilmesiyle afetlere karşı hazırlıklı ve dirençli bir toplumun oluşturulması mümkündür. 1980’lerden günümüze dünyada meydana gelen afetler sonucunda hayatını kaybedenlerden depremler sebebiyle ölenlerin oranı %7.6’dan yüzde 26.1’e yükselmiştir. Can ve mal kaybının en aza indirilmesi için mevcut afet risklerinin belirlenerek, risklerin azaltılmasına yönelik yaklaşımların gündeme gelmesi, “risk azaltma”yı afet yönetimi uygulamalarının en önemli bileşeni haline getirmiştir. Ülkemizde’de doğal afetler nedeniyle her yıl ortalama 950 kişinin hayatını kaybettiği ve yaklaşık 1.8 milyar TL ekonomik kayıp oluştuğu, bu kayıpların da %99.4’ü nün depremlerden kaynaklandığı bilinmektedir [2-5]. Deprem kaynaklı risklerin başında bina çökmesi ve sıvılaşma riski gelmektedir. 1999 Kocaeli depremleri sonrasında meydana gelen bina hasarlarından örnek fotoğraf Şekil 1’de görülmektedir. Sismik risk azaltma politikaları, problemlerin çözümünde kısa dönemli ve uzun dönemli olmak üzere iki zaman periyodunda ele alınabilir. Kısa dönemde, ulusal kuvvetli hareket veri kayıt ağının tüm ülkeyi ve büyük şehirleri kapsayacak şekilde kurulması, odaklanması gereken çalışmaların başında gelmektedir [6].



Şekil 1. 1999 Kocaeli depreminde Gölcük yerleşim yerinden bir fotoğraf [7]

Bir deprem anında, yerel zemin koşullarından kaynaklı riskler olabileceği gibi mevcut yapı stokunun özelliklerinden kaynaklı riskler de olabilir. Karşılaşılabilecek riskler, jeolojik, jeofizik, geoteknik ve yapısal araştırma yöntemleri kullanılarak belirlenir ve çok yüksek, yüksek, orta, düşük, çok düşük seviyelerinde ifade edilir. Bu araştırmalar mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında yürütülür. Mikrobölgeleme, mekansal planlama çalışmaları yapılırken; yerleşime açılması düşünülen boş alanlardaki tüm afet tehlikelerini, yapılaşmış alanlarda ise tüm afet risklerini, büyük ölçekli haritalar üzerinde belirleyerek, güvenli arazi kullanımı ve bölgeleme kararlarının alınmasına, kentsel dönüşüm ve zarar azaltma planlaması çalışmaları için ise; stratejik amaçlar, hedefler ve öncelikler belirlenmesine girdi sağlayan çok disiplinli çalışmalardır [8,9]. Deprem tehlike analizleri ve sismik tehlike haritalarının hazırlanması çalışmalarında, mikrobölgeleme haritaları önemli bir altlık oluşturur. Mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında türetilen verilerin çoğu, mekânsal veri niteliğindedir. Bir başka deyişle, coğrafi bilgi özelliği taşırlar. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), afet risklerinin azaltılması veya önlenmesi amacıyla, yerleşime uygunluk haritalarının hazırlanması diğer bir deyişle kentsel mikrobölgeleme haritalarının hazırlanmasında da etkin bir şekilde kullanılır. CBS tekniklerinin yardımcı yöntemler ile birlikte mekânsal problemlerin çözümünde büyük kolaylıklar sağladığı bilinmektedir [10]. Ayrıca coğrafi bilgi teknolojileri, Afet Yönetimi'nde etkin bir şekilde kullanılan en önemli araçlardan biridir. Ülkemizde de, bir deprem sonrası şiddet dağılım haritalarının oluşturulması, beklenen hasar ve kayıp tahmin algoritmalarının geliştirilmesi, yer mühendislik özellikleri veri tabanının oluşturulması ve çoklu tehlike analizleri gibi birçok uygulamada Coğrafi Bilgi Teknolojileri etkin kullanılan bir araçtır [11].

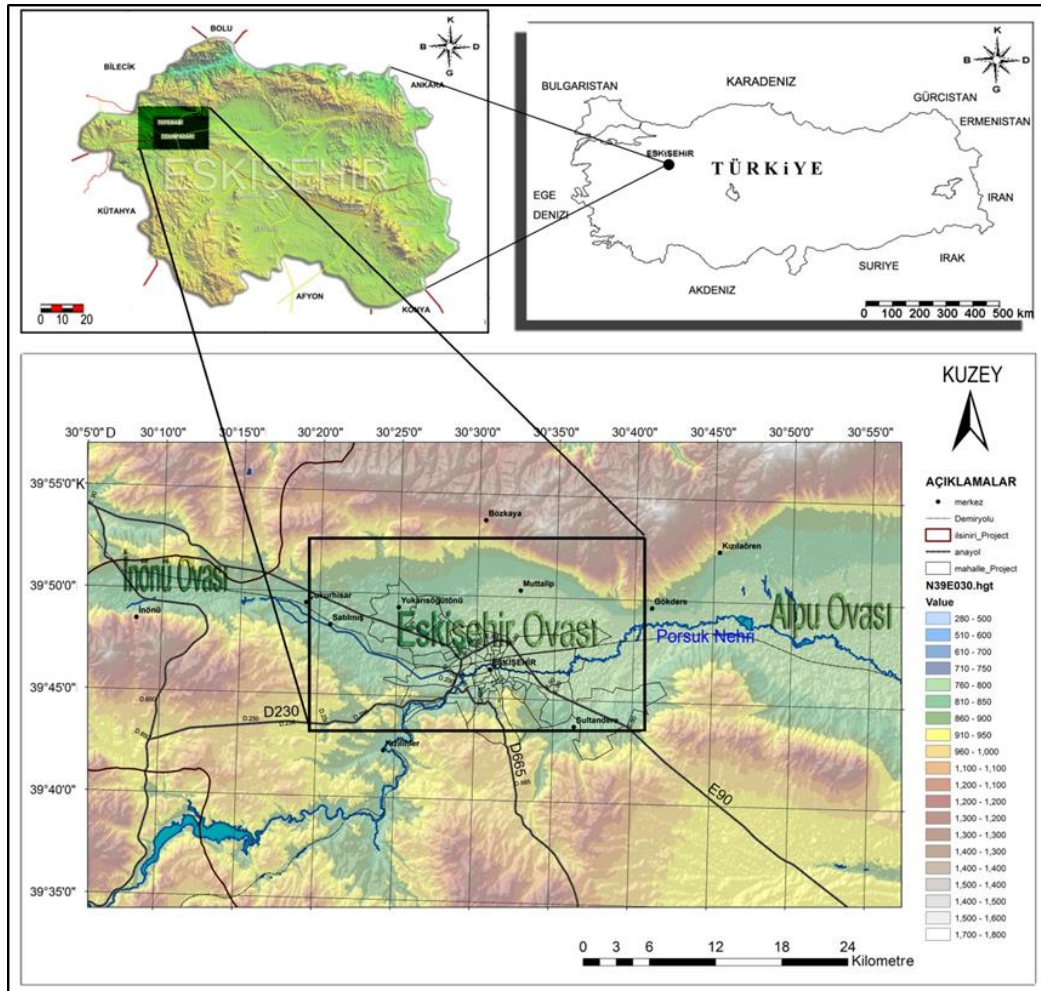
Depremler sonucu oluşan kuvvetli yer hareketleri değerlerinin, yerel zemin etkisi veya sığ yer etkisi (site effect)'nden kaynaklı olarak alansal farklılık gösterdiği bilinmektedir. Bu farklılık, yer bilimci araştırmacılar tarafından jeolojik yapı ve geoteknik zemin özellikleriyle ilişkilendirilmiştir. Sismik mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında ele alınan bu konular, problemin ortaya konulması ve ortaya konulan problemin çözülmesi aşamalarında, farklı meslek disiplinlerinin bir arada çalışmasını gerektirmektedir.

Çalışma alanı olarak seçilen Eskişehir kent merkezinde, 20 Şubat 1956'da, $M_s=6.4$ büyüklüğünde, meydana gelen depremde 2819 yapı hasar görmüştür. 17 Ağustos 1999 Kocaeli ($M_w:7.4$) depreminde, Eskişehir kent merkezinde 86 kişi hayatını kaybetmiş ve 95 kişi yaralanmıştır. 70 konut-işyeri ağır hasar görmüş, 1 bina deprem anında, 4 bina depremden sonra yıkılmıştır. Eskişehir kent merkezine yaklaşık uzaklığı 130 km olan 1999 Kocaeli depreminin bu ölçüde hasar meydana getirme nedeni halen araştırılmakta olan bir konudur. Bu hasarların en önemli nedenlerinden biri yerel zemin etkisi (Site Effect)'dir. Eskişehir yerleşim yerini etkileyebilecek olası aktif fayların bulunduğu bilinmektedir [12, 13, 14, 15]. Ayrıca yerel zemin koşullarından kaynaklı riskler ve mevcut yapı stoku özelliklerinden kaynaklı risklerin farklı araştırma yöntemleri ile belirlendiği ve tartışıldığı birçok çalışma mevcuttur [16, 17,18].

Bu çalışmadaki amaç Eskişehir yerleşim yerinde meydana gelebilecek depremlerin izlenmesi, kaydedilmesi, yerel etkilerinin araştırılması ve yorumlanmasında CBS'nin nasıl kullanılabilirliğinin tartişılmasıdır. Bu tartişma sismik ağ yonetiimi orneği uzerinde yapılmış ve beklenen hasar dağılım haritalarının gerçek zamanlı uzeitebilmesine altlık veri sağlayacak, sismik ağ kurulum ve işletme aşamaları belirlenmiştir. Sismik ağdan olulen verilerin gerçek zamanlı olarak analiz edilmesi ve elde edilen sonuçların CBS ortamında haritalanmasına imkan tanıyacak yonemler tartişılmıştır.

2. ÇALIşMA ALANI

Eskişehir ili kent merkezini de içine alan, Eskişehir Ovası (şekil 2) alışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanının kuzeyinde ve guneyyinde bulunan yukseltilere karşın, yerleşim yerinin yoğun olduğu orta kesimde duzlukler egemendir. Eskişehir ovası olarak adlandırılan bu ova, doğuda Alpu Ovası'na ve batıda İnönü Ovası'na açılır. İnceleme alanının en buyuk akarsuyu Porsuk Nehri'dir. Bu nehir çalışma alanına guneyybatıdan girerek, doğudan çıkmaktadır. Bugunku morfolojisini Neotektonik donemde kazanan Eskişehir bolgesinin, morfolojik gelişimi, tektonik yapı ve litoloji tarafından kontrol edilmektedir. Doğu-batı gidişli fayların etkisiyle, aynı yonde uzanan doruklar ve okuntü ovaları oluşmuştur. Eskişehir ve İnönü ovaları bunun en tipik ornekleridir [19].

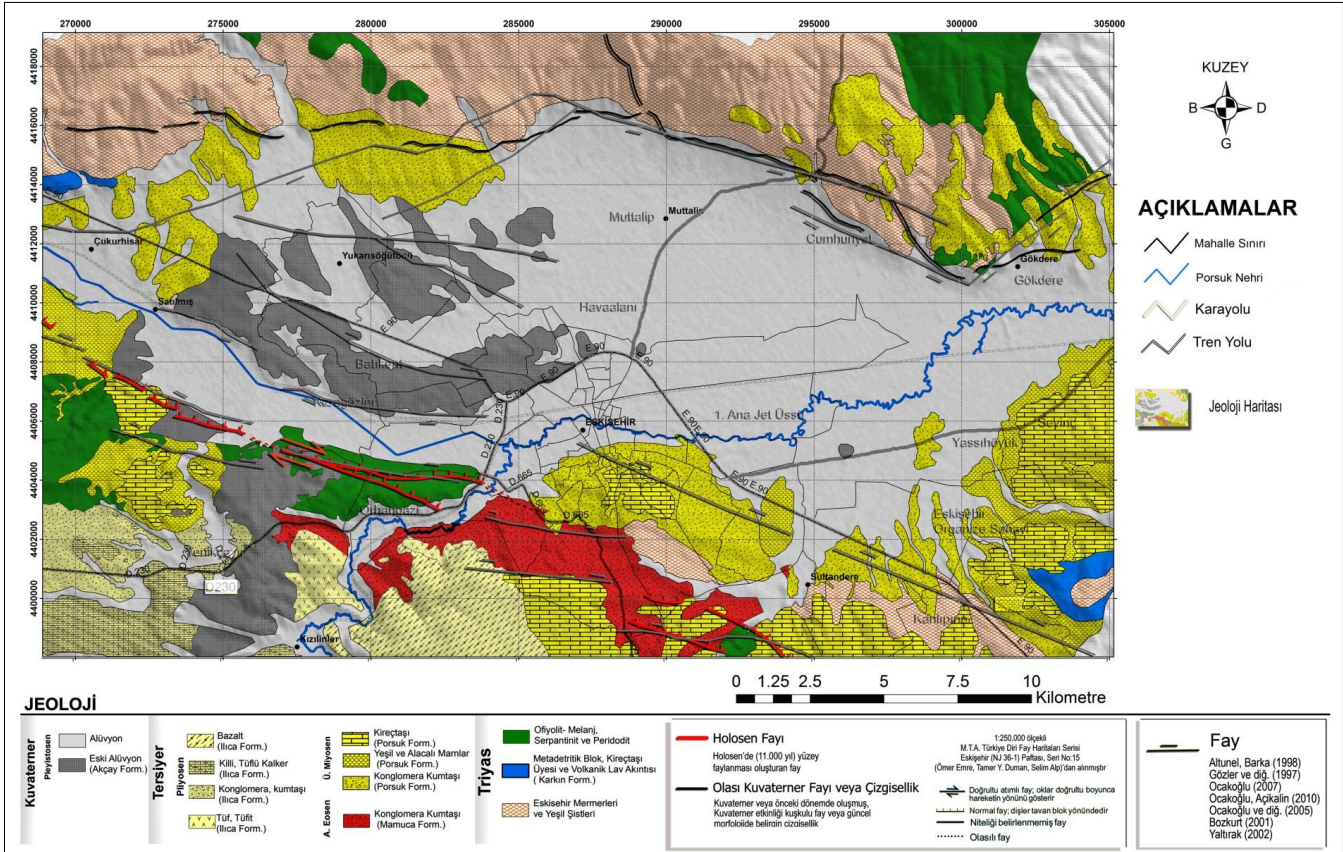


şekil 2. Eskişehir Ovası'nın Konumu.

Gunumuzde yaklaşık nüfusu 750000 olan Eskişehir, hızla endüstrileşen ve kentleşen illerimizden biridir. şehirdeki nüfus artışına paralel olarak ilerleyen hızlı kentleşme sürecinde, yapılaşma açısından uygun olmayan; düşük Vs hızlı ve yüksek sıvılaşma potansiyeline sahip yeni alüvyon zemini uzerinde

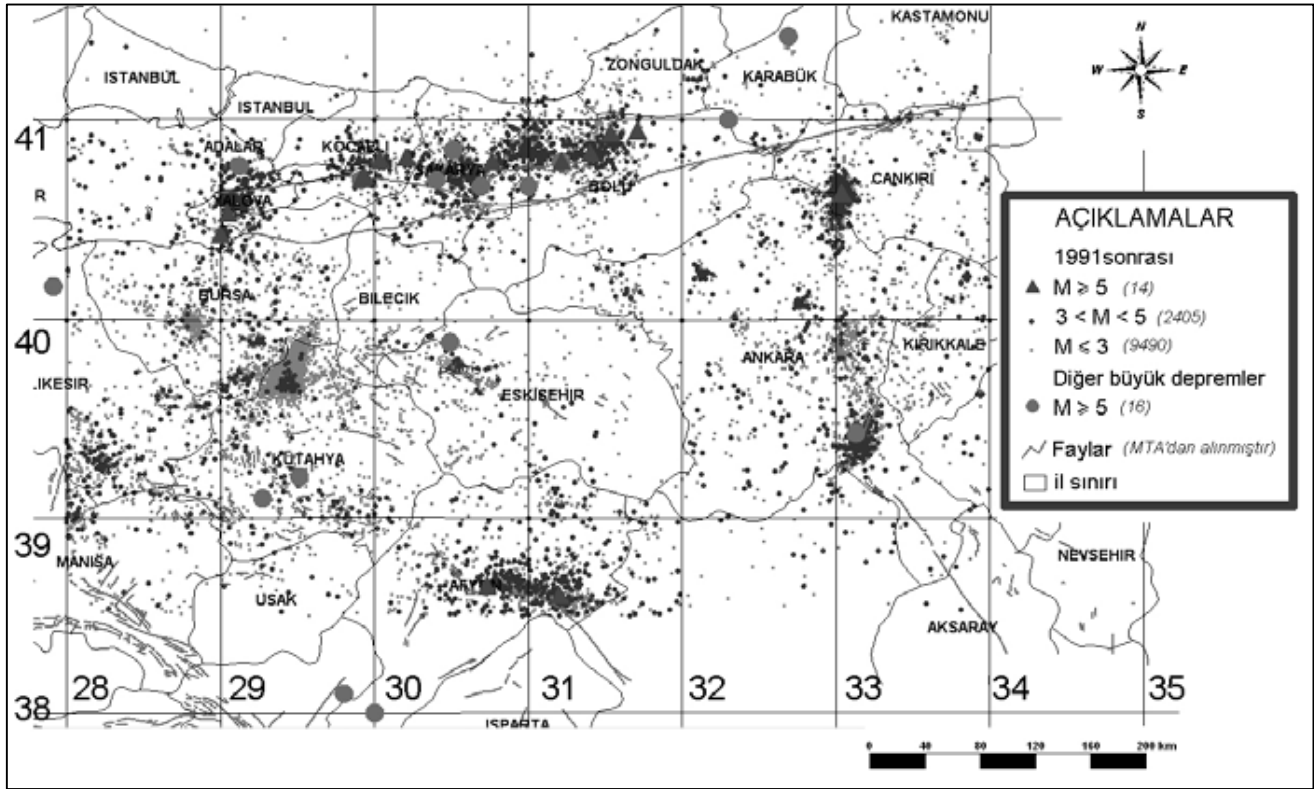
kentleşmenin artış gösterdiği, bölgede yapılan daha önceki çalışmalardan bilinmektedir [20, 21, 22]. Çalışma alanındaki yeni alüvyon birimi Şekil 3’de verilen jeoloji haritasında açık gri renkli olarak gösterilmiştir.

Eskişehir yöresinin bugünkü şeklini almasında orojenik hareketler ve faylanmalar önemli rol oynamıştır. Muhtemelen alt miyosende gölsel havzaların oluşumunda, kuzey-güney yönündeki çekme gerilimi sonucu doğu-batı yönünde eğim atımlı normal faylanmalar meydana gelmiştir. Daha sonra bölgeye etki eden doğu-batı doğrultulu basınç gerilimi sonucu, doğrultu atımlı faylanmalar gelişerek önceki eğim atımlı fay aynalarının parçalanmasına neden olmuştur [23].



Şekil 3. Çalışma alanı jeoloji haritası (MTA Raporları [15], Esen ve diğ. 1976 [24] ve Orhan ve diğ. 2007’den geliştirilmiştir [25]).

Çalışma alanında, aletsel dönem (1900) sonrası meydana gelen en büyük deprem, 20 Şubat 1956’da yerel saat ile 22:32’de meydana gelen 6.4 büyüklüğündeki depremdir [26]. Eskişehir ve civarında 38.50°-41.50° kuzey enlemleri ve 28.00°-34.00° doğu boylamları arasına giren 1991 sonrası 11910 adet sismik hareket saptanmıştır (Şekil 4).



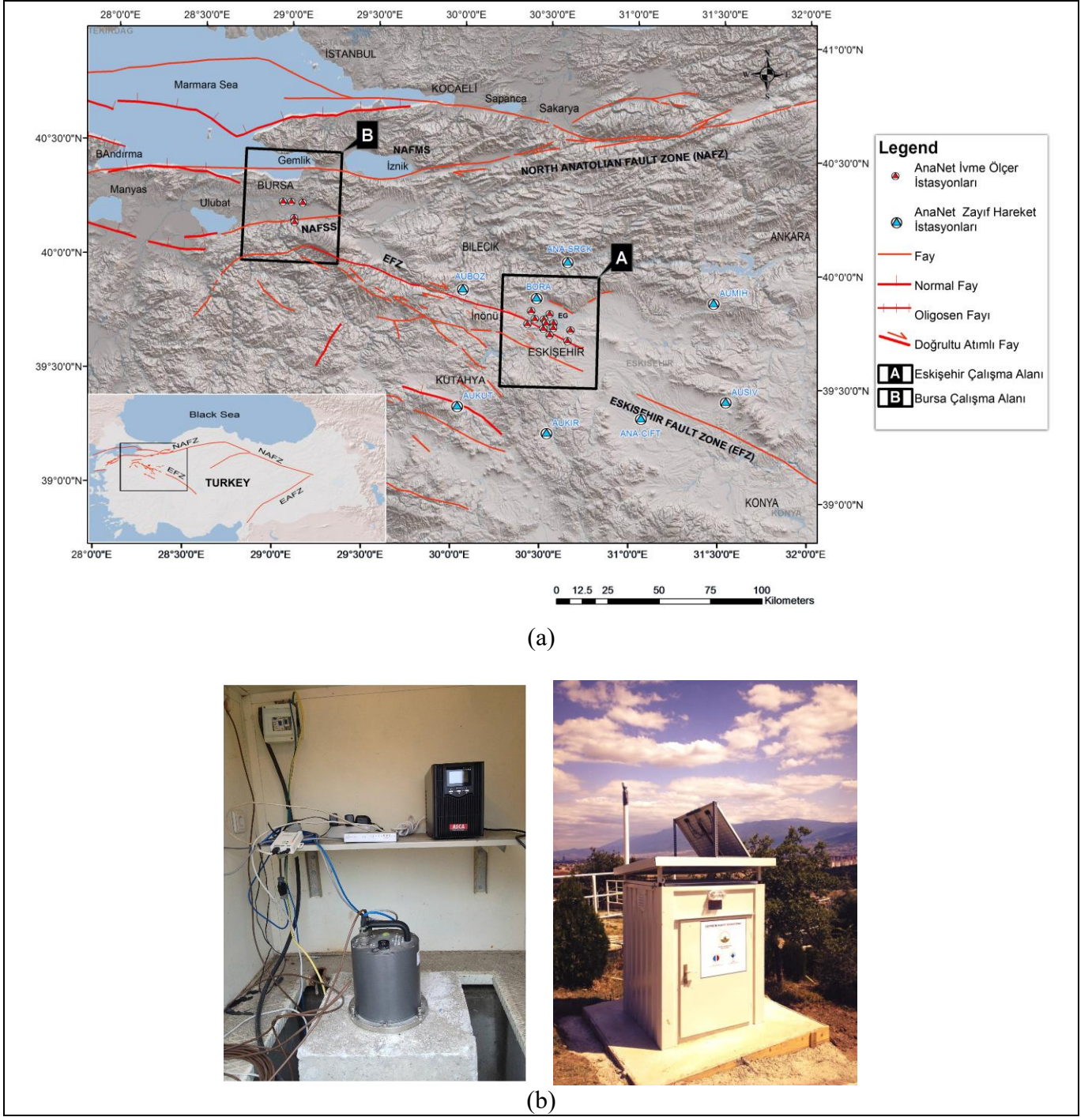
Şekil 4. Eskişehir yerleşim yeri civarında meydana gelmiş 11910 adet deprem yerlerini gösteren harita

3. YEREL AnaNet SİSMİK AĞI

Kuvvetli hareket sismolojisinde en önemli veri kaynağı serbest alan kaydı yapabilecek özellikteki ivme kayıt istasyonlarıdır. İvme verilerini toplama ve işleme prosedürlerini, aşağıdaki işlem adımlarında gerçekleştirmek mümkündür [27].

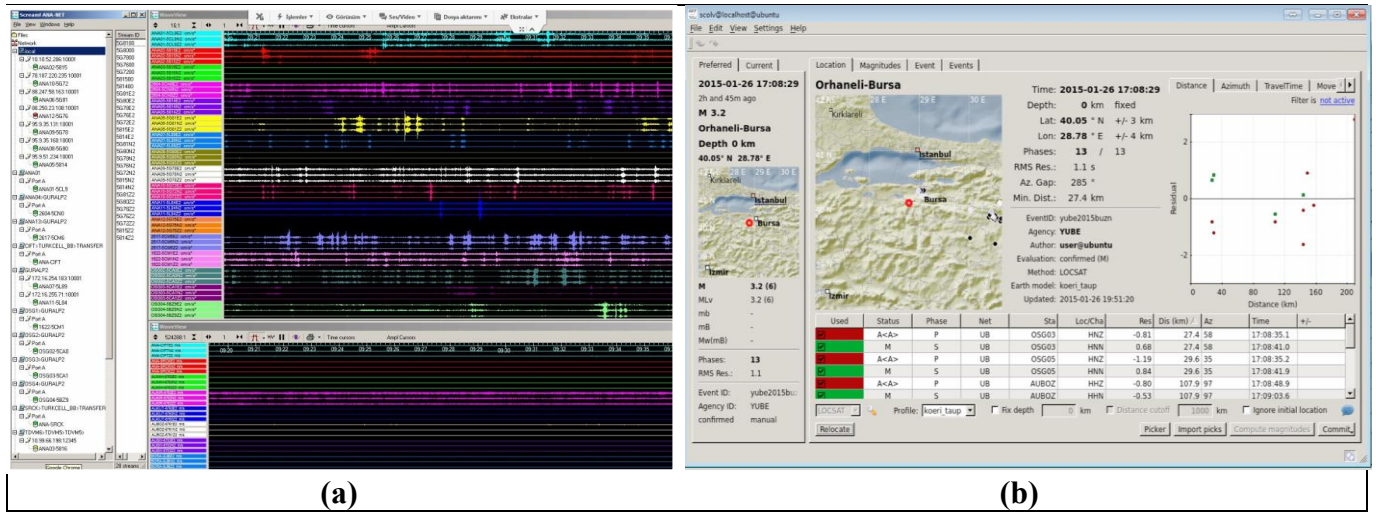
- Sismik ağın tasarımı
- Cihaz seçimi
- Seçilen ivme ölçere göre ağ kurulumunun tesisatı
- Ağ yönetimi
- Verinin toplanması
- Verinin işlenmesi

Depremlerin izlenmesi ve kaydedilmesi amacıyla, Anadolu Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü bünyesinde, Eskişehir İli ve yakın çevresinde 18 adet ivme ölçer ve 8 adet hız ölçer deprem kayıt istasyonu işletilmektedir (Şekil 5). 1 Ocak 2005 tarihinde Anadolu Üniversitesi Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü ile Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi arasında, “Eskişehir Yöresi Yerel Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Ağının Kurulması, AnaNet” Anadolu Üniversitesi araştırma fonu projesi kapsamında Ulusal Deprem İzleme ağına 5 adet ivme ölçer istasyonu ve 1 adet sismometre istasyonu eklenmiştir. Daha sonra Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında istasyon sayısı 26’ya çıkarılmıştır. İstasyonlar ile merkez arasında ADSL, Uydu, 3G, EDGE ve yerel ağ iletişim olanakları kullanılarak gerçek zamanlı veri aktarımı sağlanmaktadır. Deprem anında farklı zemin koşulları üzerine ve kaya birimi üzerinde bulunan istasyonlardan ölçülen ivme kayıtları, beklenen olası yapısal ve bölgesel hasar olasılıklarını belirlememize yardımcı olur.



Şekil 5. (a) AnaNet Sismik Ağı ivme ölçer istasyon yerlerini gösteren harita (b) İstasyonun iç ve dış görünümü

Eş zamanlı alınan kayıtlar, merkezdeki bilgisayar tarafından eş zamanlı olarak görüntülenmektedir. Ayrıca istasyonlardan 50 Hz frekansında sürekli, 100 Hz frekansta ise belirli bir eşik değerinin üzerine çıktığında veri akışının tetiklendiği bir işleyiş ile veri transferi sağlanmaktadır. Sistem üzerinde, istasyon kontrol, veri izleme ve deprem çözümleme ekran görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. (a) AnaNet Sismik ağı istasyon kontrol ve veri izleme ekran görüntüsü (Scream ile) (b) AnaNet Sismik ağı istasyon durum bilgisi ve deprem çözümü ekran görüntüleri (SeisComp3 ile)

4. KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYITLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

AnaNet Sismik ağı hem zayıf hareket hem de kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarına sahiptir. Zayıf hareket kayıt istasyonları yer hareketinin hız değerini ölçerken kuvvetli hareket istasyonları ise yer hareketinin ivme değerini ölçmektedir. Deprem yerleşim yerlerinde oluşturduğu sarsıntı değerlerini ölçmek için kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılır. Acil müdahale organizasyonlarının geliştirilmesinde de kuvvetli hareket kayıtları kullanılır [28]. Deprem anında farklı zemin koşulları üzerine ve kaya birimi üzerinde bulunan istasyonlardan ölçülen ivme kayıtları, beklenen olası yapısal ve bölgesel hasar olasılıklarını belirlememize yardımcı olur.

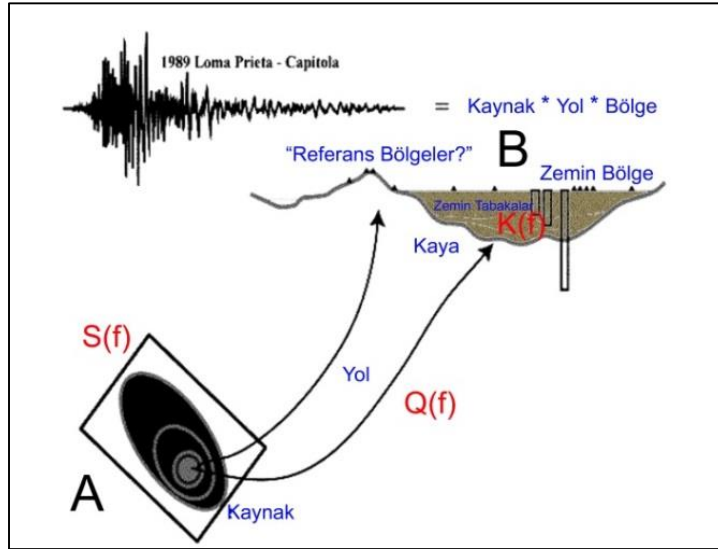
4.1 Kuvvetli Yer Hareketi

Depremler olduğunda, ana kaynaktan yayılan sismik dalgalar yer kabuğu boyunca hareket ederler ve bu dalgalar yüzeye ulaştıklarında birkaç saniye ile birkaç dakika arasında değişebilecek sürelerde yer sarsıntısı üretirler. Yeryüzünde yer-hareketi kayıtlarının belirli bir veri tabanında tutulması kapsamında PEER Merkezi tarafından dünya genelindeki farklı araştırma organizasyonları işbirliğinde NGA araştırma projesi hayata geçirilmiştir [29]. Proje kapsamında yerküre üzerindeki farklı noktalarda ölçülen deprem yer hareketi kayıtları, 4 tablo içinde metaveri olarak tutulmaya başlanmıştır. Bu tablolar kayıt kataloğu, deprem kaynağı, kuvvetli-hareket istasyonu ve ilerleme yolu bilgilerini içerir [29]. Belirli bir bölgedeki yer hareketinin şiddeti ve süresi, depremin yerine, büyüklüğüne ve o bölgedeki yerel zemin şartlarının özelliklerine bağlıdır. Kuvvetli yer hareketi istasyonları tarafından ölçülen veriler ivme değerleri olup, cm/sn^2 (gal) birimindedir. 1976 yılından günümüze kadar kaydedilmiş olan tüm depremlerin sayısal ivme verileri <http://kyh.deprem.gov.tr> adresindeki veri tabanından tüm araştırmacıların ve bilim dünyasının hizmetine sunulmaktadır. Gelecekteki depremler için, sismojenik alanın fiziki boyutu, karakteristiği, yer hareketinin zemin üzerindeki etkisi ve sarsıntı sırasında yapıların performans değerlendirilmesi bakımından, kuvvetli yer hareketinin kaydedilmesi büyük önem taşır.

4.2 Yer Etkisi (Site Effect)

Deprem kaynaklı kuvvetli yer hareketlerinin yakın çevredeki oluşturduğu etkilere bakıldığında aynı depremin etkisinde kalmış alüvyon zemin üzerindeki hareketin kaya üzerindeki hareketten daha fazla olduğu bilinmektedir [30]. Bu durum çok küçük depremlerde bile önemli derecede karmaşık zemin davranışına neden olabilmektedir. Bu hareketin tahmin edilmesinde bazı belirsizlikler bu bilginin doğrudan kullanılmasını kısıtlar [31]. Bu belirsizlikler deprem kaynağının kinematik ve dinamik özellikleri (kaynak

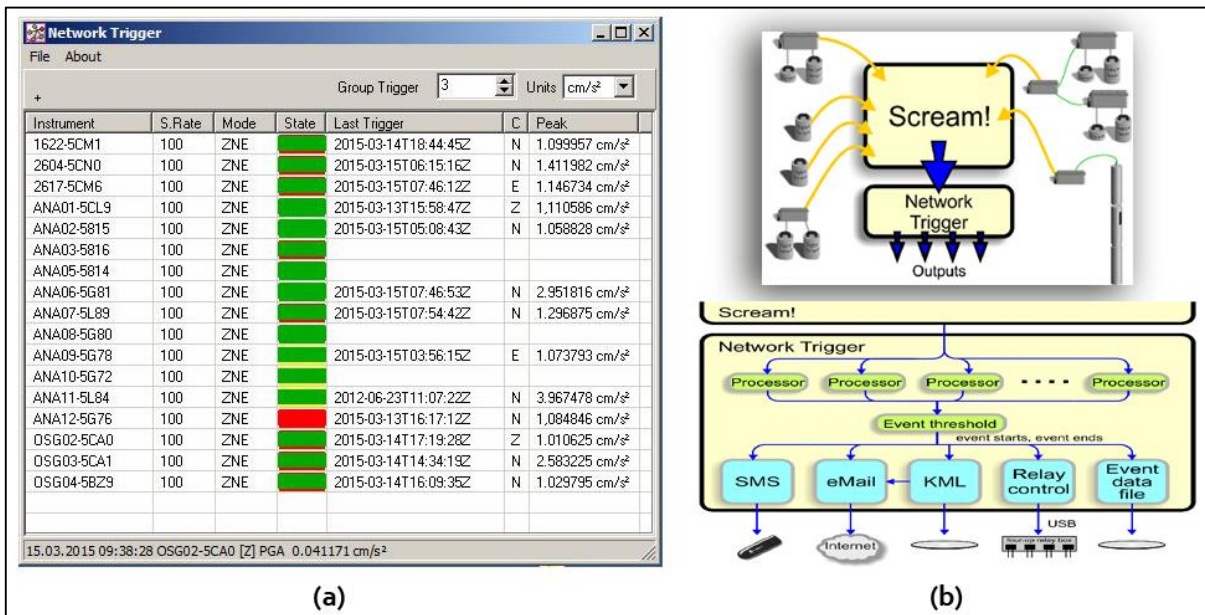
etkisi), deprem dalgalarının gözlem noktasına gelinceye kadar geçtiği ortamın fiziksel/geometrik parametreleri ve azalım etkisi (ortam etkisi), gözlem noktasındaki sıg yer yapısının (zemin) fiziksel ve jeolojik özellikleri (zemin etkisi) olarak sayılabilir. Bölgedeki yer hareketini etkileyen başka etkiler de vardır. Genellikle bu fiziksel olay kaynak-yol-bölge etkileşimidir. Bir gözlem noktasında alınan deprem kaydı, kaynaktan algılama noktasına gelinceye kadar yeraltının birçok fizik unsurdan etkilenir. $S(f)$, sismik kaynağın dinamik ve statik etkileri; $Q(f)$, Yerkaşuğunun azalım (attenuation) etkileri; $K(f)$, sıg jeolojik etkiler veya zeminin etkileri olarak tanımlanır (Şekil 7).



Şekil 7. Bir deprem kaynağından yola çıkan ve etkileme alanına doğru giden sismik dalgayı etkileyen fiziksel unsurlar. (Boore 2004'den uyarlanmıştır [31])

4.3 Deprem Kararının Verilmesi

AnaNet Sismik Ağı'nın önemli bir bileşeni olarak kullanılan Network Trigger, çoklu istasyon dizilimleri ile sismik olayların belirlenmesi ve tanımlanmasına olanak sağlayan bir uygulamadır. AnaNet Sismik Ağı için en az 3 istasyon kuvvetli yer hareketi için tanımlanan eşik seviyesini aştığında bu olayı rapor eder, paylaşır ve istasyonların coğrafi konumları ile ilişkili olarak kml dosyasını oluşturur (Şekil 8).



Şekil 8. (a) Network Trigger yazılımı AnaNet Sismik Ağı ekran görüntüsü (b) Network Trigger işlem şeması [32]

İstasyonlardan gelen verilerin %30'undan fazlasının aynı zaman diliminde tetiklenmesi sonucu elde edilen tetikleme sinyalinin deprem olduğuna karar verilir. Ardından depreme ait ivme, hız ve yer değiştirme değerleri gerçek zamanlı olarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan ivme, hız ve yer değiştirme verileri, konumları ile dosyalanır ve SMS ve e-posta yoluyla kullanıcılar ile paylaşılır. Bu alışmada, Eskişehir ilindeki belirli bir sınırdaki deprem kaynaklı kuvvetli yer hareketi değerlerinin hesaplanması için bir uygulama örneği gerçekleştirilmiştir.

5. NOKTASAL SİSMİK VERİLERİN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ KULLANILARAK MODELLENMESİ

AnaNet Sismik Ağı kuvvetli hareket kayıt istasyonlarından gelen veriler, istasyonun bulunduğu noktada ölçülen ivme değerleridir. Noktasal veri özelliği taşıyan bu değerin tüm yerleşim yerinde ölçülmesi çok mümkün değildir. Bundan dolayı, kuvvetli hareket istasyonları kurulurken, jeolojik özellikleri farklı zemin birimleri üzerinde kurulmuştur. Deprem kaynaklı dalgaların içinden geçtikleri ortamın jeolojik özelliklerine bağlı olarak değişimi mümkün olabildiğince ölçülmeye çalışılmıştır. Dolayısıyla, bir deprem anı için, Eskişehir kent merkezindeki her farklı jeolojik birimi temsilen bir kuvvetli hareket değerini belirlemeye çalışılmıştır. Ancak istasyon tarafından ölçülen en yüksek ivme değerinin sadece yüzey jeolojisiyle ilişkili olmadığı bilinmektedir.

Sınırlı sayıdaki istasyonlar tarafından ölçülen yer tepkisi değerinin (en yüksek ivme değerini) alansal değişimlerini modellemek için jeoistatistik yöntemlerden yararlanılır. Geoistatistiksel veri analizinde, konumsal analiz tekniklerinden yararlanılır. Konumsal analiz, konumsal bilginin anlaşılması ve yorumlanması için GIS fonksiyonlarının kullanılması işlemidir. İstatistiksel Modeller: konumsal bağımlılığı, aynı uzaklığa sahip tüm nokta çiftlerinin araştırılmasıyla elde edilir. Bu durum, ortalamaların ve atanan özelliklerin tahmin hatasının tahminiyle belirlenir. Geoistatistiksel modeller (Kriging): Ölçüm olmayan yerler için, ölçümlerin çalışma alanı boyunca aynı istatistiksel özelliklere sahip olduğunu varsayar (Durağanlık). Her veri seti için kriging model parametreleri de farklıdır. enterpolasyon tekniği yardımıyla, sınırlı sayıdaki nokta veri kullanılarak ölçüm alanı içerisinde kalan diğer noktalara dair tahminler oluşturulabilmektedir. Çalışmanın amacına bağlı olarak, noktasal veriler kullanılarak modelin oluşturulmasında kullanılan farklı enterpolasyon tekniklerinden yararlanılır. Bunlar:

- IDW (Inverse Distance Weighted)- *Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma* Yöntemi
- Doğal Komşuluk (Natural Neighbour) Enterpolasyon Tekniği
- Kriging Yöntemi

Bu çalışmada veri dağılım modelleme çalışmaları kapsamında uzaklığa bağlı tahmin yöntemlerinden yararlanılmıştır.

6. MEVCUT YAPI STOKUNUN DEğerLENDİRİLMESİ

Yapısal düzensizliklerin araştırılması ve yapı puanlama yöntem-sisteminin geliştirilmesi çalışmaları kapsamında oluşturulan veritabanı modeli, bu çalışmanın varsayımsal veri içeriğinin oluşturulmasında kullanılmıştır. AnaNet Sismik Ağı'dan ölçülen veriler kullanılarak beklenen hasar dağılım haritalarının oluşturulmasında kullanılan varsayımsal veri içeriği, daha önce Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında geliştirilen metod esas alınarak oluşturulmuştur. Belirtilen proje kapsamında toplanan veriler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Mimari ve statik-betonarme projelerden toplanan veriler [17]

Mimari projelerden elde edilen veriler	Statik-betonarme projelerden elde edilen veriler
Konum bilgisi	Taşıyıcı sistem özellikleri
Yapım yılı	Malzeme özellikleri
Giriş ve normal kat alanı	Kusur Belirleme
Kat adedi	Düzensizlik Belirleme
Kat yükseklikleri	Yapı elemanlarının tanımı ve konumu
Kullanım türü	Açıklama

Belirtilen proje kapsamında, inceleme sonucunda çalışma sahasındaki her bir bina için;

Yapısal Düzensizlikler

Planda Düzensizlik Durumları

Burulma (A1) Düzensizliği:

Döşeme Süreksizlikleri (A2):

Planda Çıkıntı (A3) Düzensizliği:

Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması (A4):

Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

Zayıf Kat (B1) ve Yumuşak Kat (B2) Düzensizliği:

Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği (B3):

Yapısal Kusurlar

Güçlü Kiriş- Zayıf Kolon Problemi

Kısa Kolon Problemi

Asma Kat Problemi

Süreksiz Çerçeve Problemi

Yetersiz Etriye Sıklaştırması

Yapıda Büyük Çıkmalar

Yetersiz Deprem Derzi

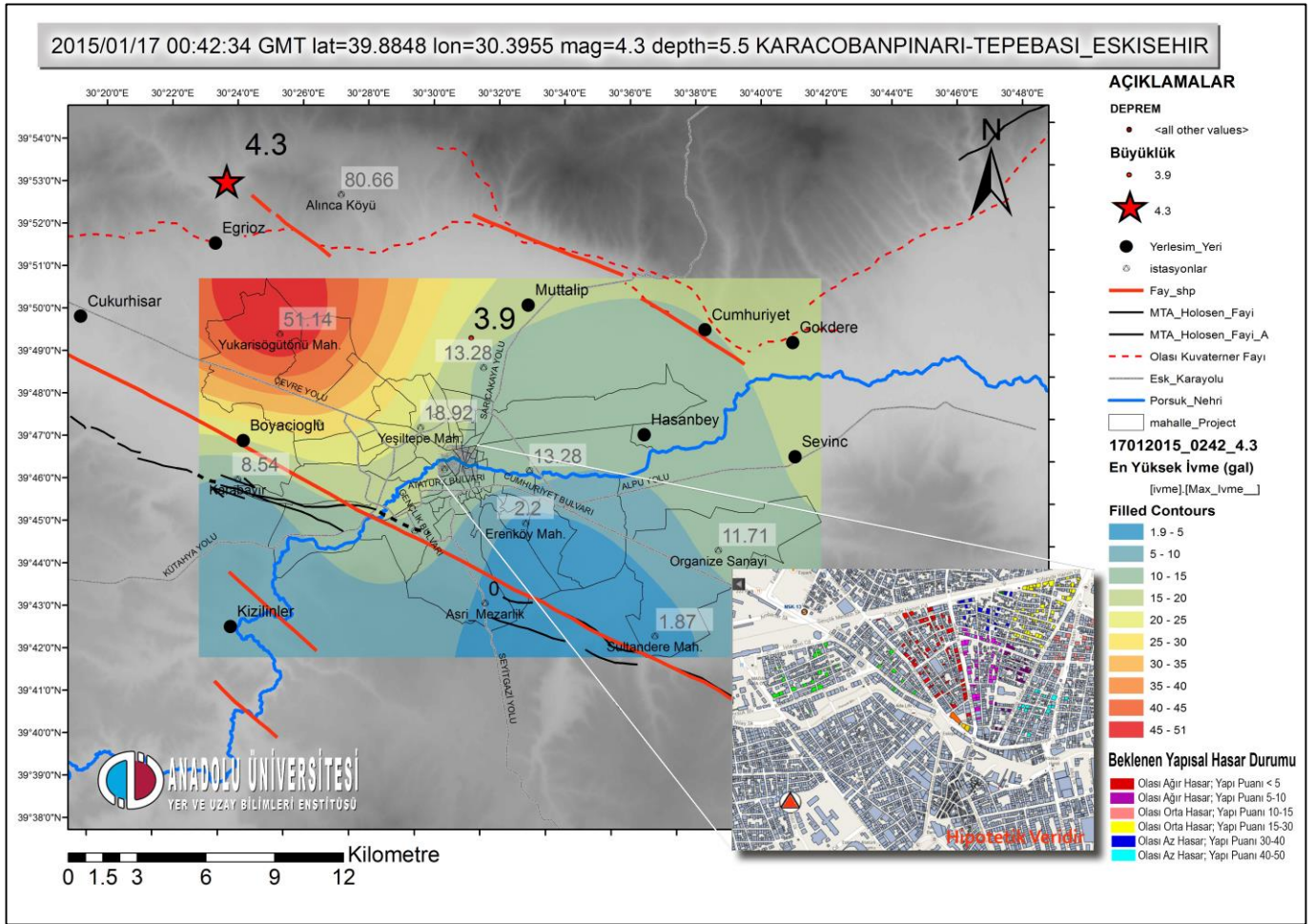
İşçilik Kusurları

Düşük Kaliteli Beton

değerlendirmeleri yapılmıştır [18].

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında Eskişehir kent merkezi örneği üzerinden, AnaNet Sismik Ağı deprem kayıt istasyonlarından gerçek zamanlı ölçülen kuvvetli yer hareketi değerleri kullanılarak yer sarsıntı haritalarının ve olası hasar dağılım haritalarının CBS kullanılarak elde edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonunda, AnaNet Sismik Ağı'ndan ölçülen yer hareketi değerlerinin tanımlanan eşik seviyesini geçmesi durumunda deprem kararının verilmesine yönelik sistemler kurulmuştur. Bir deprem anında istasyonlardan ölçülen noktasal verilerin alansal değişimleri uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma (IDW) yöntemi kullanılarak modellenmiş ve deprem sunucularına kaydedilmesine yönelik altyapı oluşturulmuştur. Şekil 9'da 17.01.2015 tarihinde Eskişehir, Tepebaşı mevkiinde meydana gelen 4.3 büyüklüğündeki deprem sonrası AnaNet Sismik Ağı verileri kullanılarak oluşturulan en yüksek ivme değeri haritası ve hipotetik veri seti üzerinden bina bazında beklenen hasar dağılım haritası örneği görülmektedir [18].



Şekil 9. 2015/01/17 00:42:34 GMT lat=39.8848 lon=30.3955 mag=4.3 depth=5.5 Tepebası_Eskisehir depremi en yüksek ivme değeri haritası (Faylar; MTA Diri Fay Haritası [15], Seyitoğlu ve diğ. 2015'den alınmıştır [12])

Deprem anı yer hareketi değerlerinin ölçülmesi ve beklenen alansal değişimlerinin haritalanması ile oluşturulan veri seti, mevcut yapı stoku bilgisiyle birlikte değerlendirilmesi durumunda CBS kullanılarak olası hasar dağılım haritalarının da gerçek zamanlı üretilmesine yönelik çalışmalara altlık oluşturacağı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar, yer yüzeyindeki deprem karakteristiklerinin hesaplanmasında gerçek zamanlı kuvvetli yer hareketi analizlerinin ve CBS'nin önemini göstermiştir. Bunun yanında CBS, gerekli afet yönetim karar desteği ve analitik yetiler sağlayabilmektedir. CBS, bir deprem anında bina altındaki zemin davranışı ile yapı özelliklerinin gerçek zamanlı olarak ilişkilendirilmesini sağlamanın yanı sıra tanımlanmış metaveri sorgulamalarının yapılabilmesine imkan tanıyacaktır. Sistem kullanımı ile yaşanan bir afet sonrası karşılaşılan afetin coğrafi bölgelere göre dağılımı irdelenerek etkin risk yönetimi planlamalarının geliştirilmesi mümkün hale gelebilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Anadolu Üniversitesi (AÜ) Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), Proje No:1401F026, 1105F107 ve 080240 kapsamında desteklenmiştir. Kuvvetli yer hareketi istasyonlarının kurulumundaki yardımlarından dolayı T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Araştırma Dairesi çalışanlarına, AÜ-BAP proje yürütücüleri Prof. Dr. Yücel Güney, Prof. Dr. Alper ÇABUK'a ve bu çalışmalardaki değerli desteklerinden dolayı Anadolu Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Naci GÜNDOĞAN'a teşekkür ederiz. Değerli görüş, öneri ve düzeltmeleriyle çalışmanın son şeklini almasında katkı sağlayan dergi hakemlerine teşekkür ederiz.

NOT

Bu çalışma Anadolu Üniversitesinde 4-6 Şubat 2015 tarihleri arasında gerçekleştirilen Akademik Bilişim Konferansında sunulan “Sismik Ağ Yönetimi, Veri İletişimi ve Yorumlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı: Eskişehir Örneği” başlıklı çalışmanın revize edilmiş ve genişletilmiş halidir.

KAYNAKLAR

1. DHA U.N., 1992, Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management. *UN DHA (United Nations Department of Humanitarian Affairs), Geneva.*
2. Erkan, E.A., 2010, “Afet Yönetiminde Risk Azaltma ve Türkiye’de Yaşanan Sorunlar”, DPT Uzmanlık Tezleri, ISBN: 975-19-4855-7
3. Emergency Events Database, Searchable Database, CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) Belgium, (çevirimiçi) www.em-dat.net erişim tarihi: 15.07.2008
4. Ergünay, O., 2007, "Türkiye'nin afet profili", TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı: 5-7.
5. Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA), 2004, “Türkiye’de Doğal Afet Konulu Ülke Strateji Raporu”, Ankara.
6. Mulargia, F., & Geller, R. J., 2003, “Earthquake science and seismic risk reduction”, (Vol. 32). NATO Science Series IV, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, ISBN 1-4020-1777-4, Vol.32, p: 250-283
7. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi fotoğraf arşivi, Web: <http://www.koeri.boun.edu.tr/depremmuh/eski/eqspecials/kocaeli/golcuk.htm> (Erişim tarihi: 24.04.2015)
8. Başbakanlık-PUB-MEER, T. C., 2006a, “Methodology Manual: Microzonation and Hazard Vulnerability Studies for Disaster Mitigation”, In: ABS CONSULTING, A. I., ÜÇER (ed.). Republic of Turkey Prime Ministry Project Implementation Unit PIU.
9. Başbakanlık-PUB-MEER, T. C., 2006b, “Microzonation and Hazard Vulnerability Studies for Disaster Mitigation: Eskişehir Preliminary Disaster Mitigation Plan”, ABS Consulting, Alter Uluslararası, Üçer Müşavirlik Ortak Girişimi: Republic Of Turkey Prime Ministry Project Implementation Unit PIU.
10. Malczewski, J., 1999, GIS and multicriteria decision analysis, Wiley.
11. Ansal A., İlki A., Karancı N., Kundak S., 2009, Istanbul International Conference on Seismic Risk Mitigation, Chapter II: Turkey, Disaster Preparedness Since 1999 Earthquakes II, p 49-109.
12. Seyitoğlu, G. ve diğ., 2014, “Determining the main strand of the Eskişehir strike-slip fault zone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies”, Turkish Journal of Earth Sciences, doi:10.3906/yer-1406-5, 23
13. Ocakoğlu F., 2007, “A re-evaluation of the Eskişehir Fault Zone as a Recent extensional structure in NW Turkey”, Journal of Asian Earth Sciences.31, 91-103.
14. Ocakoğlu F, Altunel E, Yalçın Ç., 2005, “Eskişehir bölgesinin neotektonik dönemdeki tektono-stratigrafik ve sedimantolojik gelişimi”, Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu: Osmangazi Üniversitesi.
15. MTA. 2012, “Türkiye Diri Fay Haritaları Serisi”, 1:250.000. MTA Genel Müdürlüğü.
16. Orhan, A. ve Tosun, H., 2010, Visualization of geotechnical data by means of geographic information system: a case study in Eskişehir city (NW Turkey). Environmental Earth Sciences, 61, 455-465.
17. Tün, M., 2013, “Interpretation of Ground Response and Shear-Wave Velocity (Vs) Structure in Microzonation Studies: A Case Study in Eskişehir”, PhD Thesis, Graduate School of Sciences. İstanbul University, İstanbul, p. 353., İstanbul, 2013.
18. Güney, Y., Ecevitöğlü, B., Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M., Kaplan, O., Mutlu, S., Akdeniz, E. ve diğ., 2014, “Eskişehir Yerleşim Yerinde, CBS Teknikleri Kullanılarak Geoteknik, Yapı ve Jeofizik Bilgi Sisteminin Oluşturulması”, Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi, Proje No:080240, 01/03/2014
19. Ölmez, E. ve Yücel, B., 1985, “Eskişehir ve Yöresinin Jeotermal Enerji Olanakları”, Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi Başkanlığı: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

20. Avdan, U., Tün, M., Pekkan, E. ve Altan, M., 2006, “Analysis of Urbanization Change According to NEHRP Soil Classification Map”, 9th AGILE Conference on Geographic Information Science. Visegrád, Hungary.
21. Nefeslioğlu, H. A., Tün, M., Ayday, C. ve Gökten, R., 2003, “Change detection of structures in the earthquake hazard zoning map of Eskisehir City, Turkey, by using satellite images”, Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas,. 2nd GRSS/ISPRS Joint Workshop on,. IEEE, 177-181.
22. Onur, M. İ., Tün, M., Pekkan, E., Tuncan, A. ve Avdan, U., 2007, “Eskişehir İlinde Deprem Etkisi Araştırması”, International Symposium on Advances in Earthquake & Structural Engineering. Süleyman Demirel University, Isparta-Antalya, Turkey Süleyman Demirel University Civil Engineering Department.
23. Sariiz, K. ve Oruç, N., 1989, “Eskişehir Yöresi'nin Jeolojisi ve Jeotermal Özellikleri”, Anadolu Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, C.V, S.2, 59-81.
24. Esen, E., Yakal, M., Gökçen, M., Mumcu, N., Türkman, M., Dırık, M. Ve Çuhadar, G., 1976, “Eskişehir ve İnönü Ovaları Hidrojeoloji Haritası”, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı.
25. Orhan, A., Seyrek, E., and Tosun, H., 2007, “A probabilistic approach for earthquake hazard assessment of the Province of Eski,sehir, Turkey”, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 7, 607–614, doi:10.5194/nhess-7-607-2007.
26. Öcal, N., 1959, “20 Şubat 1956 Eskişehir Zelzelesi'nin Makro ve Mikrosismik Etüdü”, İrfan Matbaası İstanbul: T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi.
27. Erdik, M. Ö., & Toksöz, M. N. (Eds.), 2013, “Strong ground motion seismology”, (Vol. 204). NATO Advanced Study Institute pn Strong Ground Motion Seismology, NATO ASI Series, Kluwer the language of science,.ISBN 90-277-2532-2.
28. Gülkan, P., & Anderson, J. G. (Eds.), 2006, “Directions in Strong Motion Instrumentation: Proceedings of the NATO SFP Workshop on Future Directions in Instrumentation for Strong Motion and Engineering Seismology”, Kusadasi, Izmir, May 17-21, 2004 (Vol. 58)., NATO Science Series IV, Springer Science & Business Media.
29. Chiou, B., Darragh, R., Gregor, N., & Silva, W., 2008, “NGA project strong-motion database. Earthquake Spectra”, 24(1), 23-44.
30. Steidl, J.H., 1993, “Variation Of Site Response At The Ucsb Dense Array Of Portable Accelerometers”, Earthquake Spectra 9, 289-302.
31. Boore D.M., 2004, “Can Site Response Be Predicted?”, Journal Of Earthquake Engineering, Vol.8, Special Issue 1, P. 1-41.
32. Guralp Systems, Network Trigger, Web: <http://www.guralp.com/sw/network-trigger.shtml> Erişim Tarihi: 03.05.2015