

SİSMOLOJİ'DE CBS UYGULAMALARI

Applications of GIS in Seismology

Selda ALTUNCU POYRAZ¹, Doğan KALAFAT¹

¹Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Ulusal Deprem İzleme Merkezi.
Sorumlu yazar; selda.altuncu@boun.edu.tr - kalafato@boun.edu.tr

ÖZET

Türkiye ve çevresi genç ve aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer almaktadır. Devam eden sürekli ve yoğun deformasyon sonucu bölgede farklı topoğrafik, kabuk ve orojenik özellikler gözlenmektedir. Türkiye'nin sismotektonik yapısının daha detaylı çalışılabilmesi, can ve mal kaybına neden olabilecek depremlerin özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için bölgenin sismotektonik özelliklerini ortaya koyan detaylı veri tabanının bir bütün olarak oluşturulması önem kazanmaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak Türkiye ve civarında meydana gelen depremlerin lokasyonları, depremlere ait mekanizma çözümleri, bölgedeki tarihsel depremler, deprem kayıt cihazları dağılımı gibi verilerin bütünleştirilmesi ile doğru ve güvenilir bilgiye hızlı ulaşım mümkün olmaktadır. Bu çalışmada Ulusal Deprem İzleme Merkezi'nde (UDİM) kullanılan verilerin (istasyon özellikleri, deprem lokasyonları, fay düzlemi çözümleri, tarihsel depremler) Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) aktarılması ile bir veri bankası oluşturulması ve bu veriden kolay ve hızlı analiz, sorgulama ve görselleştirmelerin yapılması hedeflenmiştir. Bir deprem sonrasında acilen ihtiyaç duyulan tüm bilgiler CBS ortamında oluşturulan veri tabanı ile çok kısa zamanda hazırlanabilecek ve hızlı bir şekilde paylaşımı sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi bilgi sistemleri, Aletsel depremler, Veri tabanı, Tarihsel depremler, Fay düzlemi çözümleri

ABSTRACT

Turkey and the surroundings are located on a young and active tectonic belt. Different crustal, orogenic and topographical features are observed in the region as a result of the ongoing and intense deformation. In order to study the sismotectonic structure of Turkey in more detail and better understand the mechanisms of earthquakes causing loss of life and property, it is essential to establish a complete database encompassing the entire sismotectonic features of the region. With the use of GIS, it is possible to rapidly access the correct and reliable information by combining data from the distribution of earthquake recording instruments, earthquake locations, earthquake mechanism solutions and historical earthquakes that occurred in Turkey and its surroundings. The target of this research is to transfer the data (station properties, earthquake locations, fault plane solutions, historical earthquakes) used in National Earthquake Monitoring Center (NEMC) into the GIS format and establish a complete database enabling easy and rapid data query, analysis and visualisation. All the information that is urgently required following an earthquake will be prepared in a very short time and rapidly shared via this database created in GIS environment.

Key Words: Geographic information system, Instrumental earthquakes, Database, Historical earthquakes, Fault plane solutions

1. GİRİŞ

Türkiye’de yerbilimleri ile uğraşan disiplinlerde farklı özellikteki verilerin bir arada kullanılarak bu verilerin düzenlenip depolanması, görselleştirilmesi, analizi ve raporlanması konularındaki başarısından dolayı Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) uygulamaları 2000’li yıllardan sonra artış göstermeye başlamıştır. CBS kullanımını sadece harita üretme ile sınırlı kalmayıp farklı ihtiyaçlara cevap veren yazılımların adapte edilmesine olanak sağladığından yerbilimlerindeki kullanım alanlarının çeşitliliği sayılamayacak kadar artmaktadır. Türkiye’de CBS üzerine yapılan ilk sismolojik çalışmalardan biri olan ‘İnternet Üzerinden Deprem Bilgi Sistemi’ konulu yüksek lisans tezinde CBS kullanımının günümüzdekine oranla çok daha kısıtlı olan imkânları ile internet üzerinden deprem bilgilerine ulaşılması amacıyla CBS uygulamaları için arayüz programı geliştirilmiştir (Garagon 2002). “İstanbul için Deprem Senaryolarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı” konulu çalışmada CBS ArcView kullanımı ile İstanbul’da oluşacak bir depremde kırılabilir farklı faylar için hissedilecek deprem şiddeti hesaplanmıştır (Tüysüz 2002). “Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Deprem Verilerinin İncelenmesi” konulu çalışmada Türkiye’de meydana gelen depremler ve Marmara Bölgesi’nde meydana gelen depremlerin mekanizma çözümleri için veri tabanı oluşturma denemesi yapılmıştır (Berberoğlu 2009).

Bilgiden en verimli şekilde yararlanabilme, özellikle doğal afetler sonucunda veri eksikliğinden kaynaklanan sorunların giderilmesi, bilgi sistemleri ile mümkündür. CBS, bilgiye hızlı ve sağlıklı ulaşımı sağlar, verimliliği artırır, iş gücü ve zaman kaybını önler. Bir CBS için harcanan zaman, emek ve maliyetin % 80 ‘ini veri toplama, % 15 ‘ini veri depolama, işleme ve analiz, % 5 ‘ini ise görselleştirme oluşturmaktadır. Bir CBS’ nin adımları olan veri toplama, işleme, analiz, sorgulama ve görselleştirmeler ile bunların kullanıcıya sunulması bir bütün olarak ele alınmalıdır. Sismoloji çalışmalarında CBS’nin kullanılmasının birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekildedir;

1. Veri tabanının genişletilebilmesi,
2. Başka veri tabanları ile bağlantı kurabilmesi,
3. Var olan verilerden yeni bilgi üretilebilmesi,
4. Kısa sürede rapor, tablo ve harita üretilebilmesi,
5. Eklenen yeni bilgilere göre yeniden analiz ve sorgulama yapılabilmesi,

6. Geleceğe yönelik senaryo ve simülasyonların yapılabilmesi,
7. Görsel bilgi üretilebilmesi,
8. İlişkisel verilerin kullanılabilmesidir (Berberoğlu 2009).

Böyle bir sistemin kurulması araştırmada, bilimsel çalışmada ve karar verme aşamasında doğru ve güvenilir bilgiye çabuk ulaşılabilmesi açısından son derece önemlidir.

Bu çalışmada aşağıda belirtilen verilere ait bir veri tabanı oluşturularak Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) aktarılması hedeflenmiştir. Bu amaçla coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan ArcGIS 10 yazılımı kullanılmıştır.

- a. Tarihsel depremlere ait deprem parametreleri (Oluş zamanı, enlem, boylam ve büyüklük),
- b. Ulusal Deprem İzleme Merkezi’ne (UDİM) ait deprem istasyonları,
- c. Aletsel döneme ait deprem lokasyon bilgileri
- d. 1938-2008 yılları arasında meydana gelen genel olarak büyüklüğü $M \geq 4.0$ olan toplam 738 adet depremin faylanma-kaynak parametreleri
- e. 2009 yılından itibaren meydana gelen büyüklüğü $M \geq 3.5$ olan kaynak parametreleri hesaplanmış toplam 88 adet deprem.

Oluşturulan veri bankası kullanılarak veriler arasındaki ilişkilerden analiz, sorgulama ve görselleştirmelerin yapılması amaçlanmıştır. Böyle bir veri tabanını içeren Coğrafi Bilgi Sisteminin yeteneklerini ve sağladığı kolay kullanım imkânını gösteren değişik sorgulama ve analizler yapılmış, haritalar üretilmiş, sonuçlar ve katkıları değerlendirilmiştir. Ayrıca 23 Ekim 2011 günü yerel saat ile 13.41’de Van – Erciş’te meydana gelen $M_w = 7.2$ büyüklüğünde ki deprem CBS’in Sismoloji ’deki kullanımına örnek olması açısından incelenmiştir.

2. KULLANILAN YÖNTEMLER VE MATERYALLER

Çalışma kapsamında Ulusal Deprem İzleme Merkezi’ne ait var olan veri tabanının ArcGis yazılımı ile oluşturulmasının yanısıra 2008-2012 yılları arasında $M_w > 3.4$ olan depremlerin moment tensör ters çözüm yöntemi ile odak mekanizması çözümleri yapılmıştır. Bu nedenle kullanılan yöntemler kısmında moment tensör ters çözüm yöntemi ve Arcgis yazılımından bahsedilecektir.

2.1. Moment Tensör Ters Çözümü

Çalışmada kullanılan yöntem, 1993 yılından bu yana Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley Sismoloji Laboratuvarında kullanılmaktadır (Dreger 2002). Yöntem, geniş bantlı sismik verileri kullanarak yakın alan ve bölgesel sismik olayların kaynaklarını belirlemeye yönelik olarak tasarlanmıştır.

Nokta kaynak olarak nitelenebilecek sismik kaynak (kuvvet çifti) için, zamana bağlı moment tensör elemanları ve bunlara karşılık gelen Green fonksiyonları kullanılarak herhangi bir t anındaki yer değiştirme,

$$U_n(x,t) = M_{ij}(z,t) \cdot G_{ni,j}(x,z,t) \quad (1)$$

Burada,

U_n : n inci istasyonda gözlenen yer değiştirme,

$G_{ni,j}$: n inci istasyon için kuvvet çiftine ilişkin Green fonksiyonları,

M_{ij} : kuvvet çiftinin şiddetini tanımlayan skalar sismik moment,

x : kaynak ile istasyon arası uzaklık,

z : kaynak derinliği ve

ij : coğrafik koordinatlarıdır.

Verilen eşitlikte U (yer değiştirme) ölçülen veriye, G ise varsayılan kabuk yapısına tanımlayan yapay veriye karşılık gelir. Dolayısı ile bu ikisi arasında en iyi uyumu sağlayan moment tensör bileşenlerini belirlemek yöntemin özünü oluşturur. Uygulanan yöntemde gerçek veri ile yapay veri arasındaki en iyi uyumun varyans düşümünün en yüksek olduğu değerde gerçekleştiği varsayılmıştır. Yapılan uygulamada işlem adımları özet olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Üç bileşen hız verilerini yer değiştirmeye dönüştür.
- Verilen kabuk modeli için yapay sismogramı üret.
- Yapay veriyi gerçek veriye yakınsatacak en iyi kaynak biçimini belirle.

2.2. Arcgis

Bu çalışmada kullanılan bir CBS yazılım olan ArcGIS, vektör ve raster kökenli coğrafi veri tabanlarından geometrik ve geometrik olmayan verinin sorgulanmasına olanak veren coğrafi bilgi sistemi yazılımıdır. Yazılım, coğrafi veri tabanlarına tüm kullanıcılar tarafından erişim imkânı ve değişik formatlardaki (dxf, dgn, dbf, txt, tif, bmp, vb.) verilerin kolayca seçilmesi ve görüntülenmesine olanak sağlar.

Bu çalışmada depremler ile ilgili veriler Arcgis veri tabanında birleştirilerek CBS yardımı ile sorgulama ve analizler yapılmak suretiyle sistemin faydaları sunulmuştur. Çalışmada haritalar, tablolar ve metinler gibi değişik tip veri kaynakları manipülasyon işlemlerinden geçirilerek kullanıma hazırlanmıştır. Türkiye sayısal yükseklik modeli, il sınırları, göller, nehirler, faylar, deprem kayıt cihazları, 1900-2011 yılları arasındaki depremler, tarihsel depremler ve Türkiye mekanizma kataloğu ($M > 3,5$) verileri ayrı katmanlar halinde depolanmıştır. İlgili dosyalar ve dokümanlar, ArcGIS fonksiyonları yardımı ile grafik verilerle ilişkilendirilmiştir. Bukatmanlar kullanılarak, verilerin analizi, sorgulanması, veriler arası ilişkilerin irdelenmesi, sistem yardımı ile mevcut verilerden yeni verilerin türetilmesi ve sonuçların alınması ile sistem avantajları sunulmuştur.

Çalışmada, deprem verilerine ait bir veri tabanı ve analiz fonksiyonları içeren bir CBS kurulmuştur. Oluşturulan sistemde deprem ve deprem ile ilişkili birçok bilgi çeşidi aynı ortamda birleştirilmiştir. Bir bilgiden ilgili diğer bilgiye geçiş, analiz yapma ve sonuçlandırmada zamandan kazanç, bilgi kargaşasının giderilmesi, yorumlama kolaylığı gibi faydalar sağlanmıştır.

2.3. Kullanılan Veriler

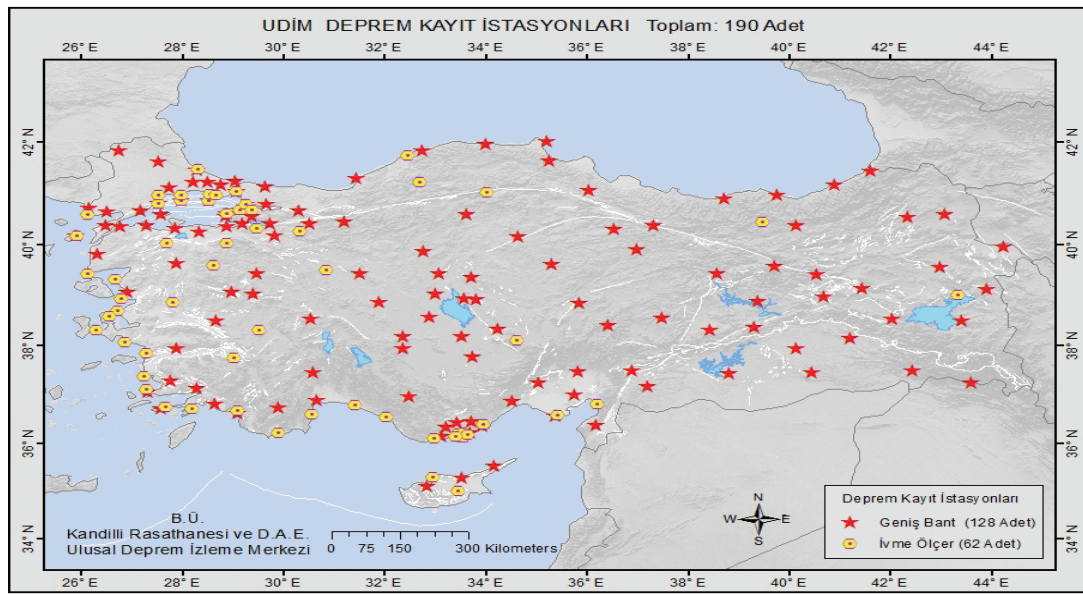
2.3.1. Ulusal Deprem İzleme Merkezi Deprem İstasyonları (190 adet)

Çalışma kapsamında oluşturulan veri tabanını UDİM tarafından kurulan deprem kayıt cihazlarının koordinat ve kuruluş bilgileri, arazi çalışmaları, jeoloji, teknik özellik bilgilerini içermektedir (Şekil 1). Oluşturulan veri tabanı kullanılarak hazırlanan haritalar UDİM bültenlerinde ve UDİM web sayfasında kullanılmaya başlanmıştır.

<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/> linkinden Arcgis yazılımı kullanılarak hazırlanan deprem istasyonlarının haritası görülebilir.

Ulusal Deprem İzleme Merkezi'nde aylık bültenler hazırlanıp web sayfasında yayınlanmaktadır. Arcgis yazılımı kullanılarak hazırlanan haritalar aylık bültenlerde kullanılmaya başlanmıştır. Örnek olarak 2011 Mayıs ayı için hazırlanan bülten verilmiştir. Aşağıdaki linkle ulaşılacak olan pdf dokümanındaki sismisite haritaları çalışma kapsamında hazırlanan veri tabanı kullanılarak elde edilmiştir.

http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/bulten/2011/MAYIS_2011.pdf



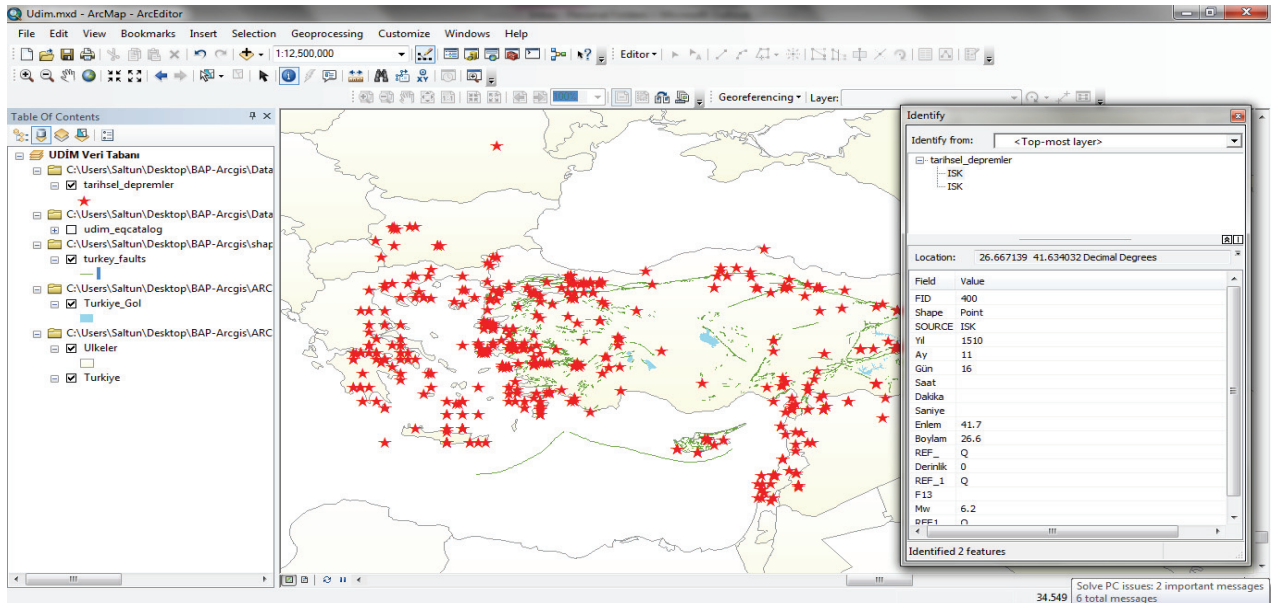
Şekil 1. Arcgis yazılımı kullanılarak elde edilen UDİM deprem istasyonlarını gösteren harita.

Figure 1. Overview map of seismic instruments operated by KOERI-NEMC using the Arcgis software package.

2.3.2. Tarihsel dönem deprem etkinliği (BC 2100-1900);

Tarihsel deprem veri tabanı oluşturulurken tarihsel döneme ait 1061 adet deprem verisi kullanılmıştır. Tarihsel katalog hazırlanırken Soysal vd., 1981'den yararlanılmıştır. Katalog verisi Arcgis programı

kullanılarak harita üzerine çizilmiştir (Şekil 2). Her bir tarihsel veriye ait bilgiler (oluş zamanı, büyüklüğü, yeri, etkilediği alanlar vb.) Arcgis veri tabanında tutulmaktadır. Depremin üzerine tıklamak suretiyle o depreme ait parametreler görülebilmekte ve gerekli sorgulama ve raporlama işlemleri kolaylıkla yapılabilmektedir.



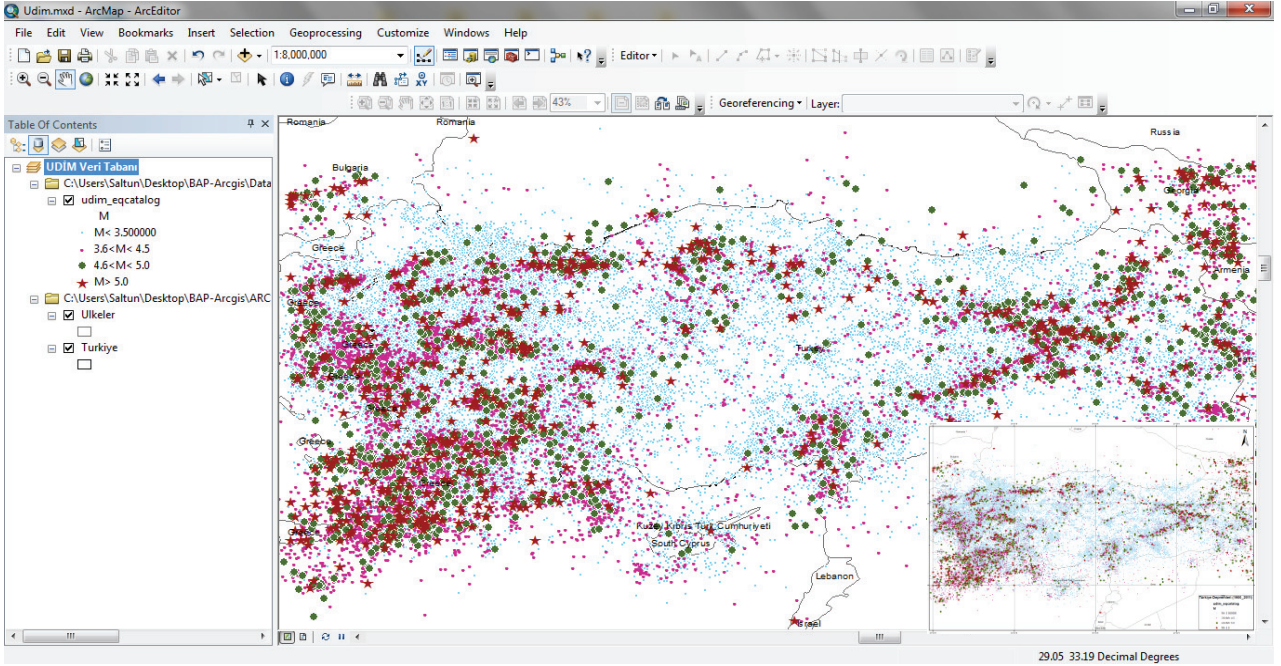
Şekil 2. Türkiye tarihsel deprem katalogu (Soysal vd., 1981). Tanımlama (identify) butonu seçilip depremin üzerine geldiği zaman o depreme ait parametreler görülmektedir (Yıl, ay, enlem, boylam vb.).

Figure 2. An example to demonstrate the distribution of historical earthquakes in Turkey (1900-2011) with the reported historical catalogue data (Soysal vd., 1981). The rectangular area (top and right) denotes the corresponding distribution of earthquake parameters (origin time, location, etc.) by selecting "identify" option.

2.3.3. Aletsel dönem deprem etkinliği (1900-2011);

Türkiye'ye ait sayısal yükseklik modeli ve coğrafi veriler (il sınırları, göller, nehirler, vb.) İşlem Firması'nın ArcGIS eğitim araçlarından kullanılmıştır. Fay verileri MTA'dan elde edilmiştir. 1900-2011 yılları

arasında çözümlenmiş ve çözümü güvenilir 108489 adet deprem verisi ($1,0 \leq M \leq 8,0$) kullanılmıştır (Şekil 3). Bu veri tabanı sürekli güncel tutulmak kaydıyla olası bir depremde istenilen bölgedeki sismosite haritaları kolaylıkla elde edilebilmektedir.



Şekil 3. UDİM tarafından oluşturulan Türkiye aletsel dönem deprem etkinliği'nin (1900-2011) Arcgis yazılımı ile görüntülenmesi.

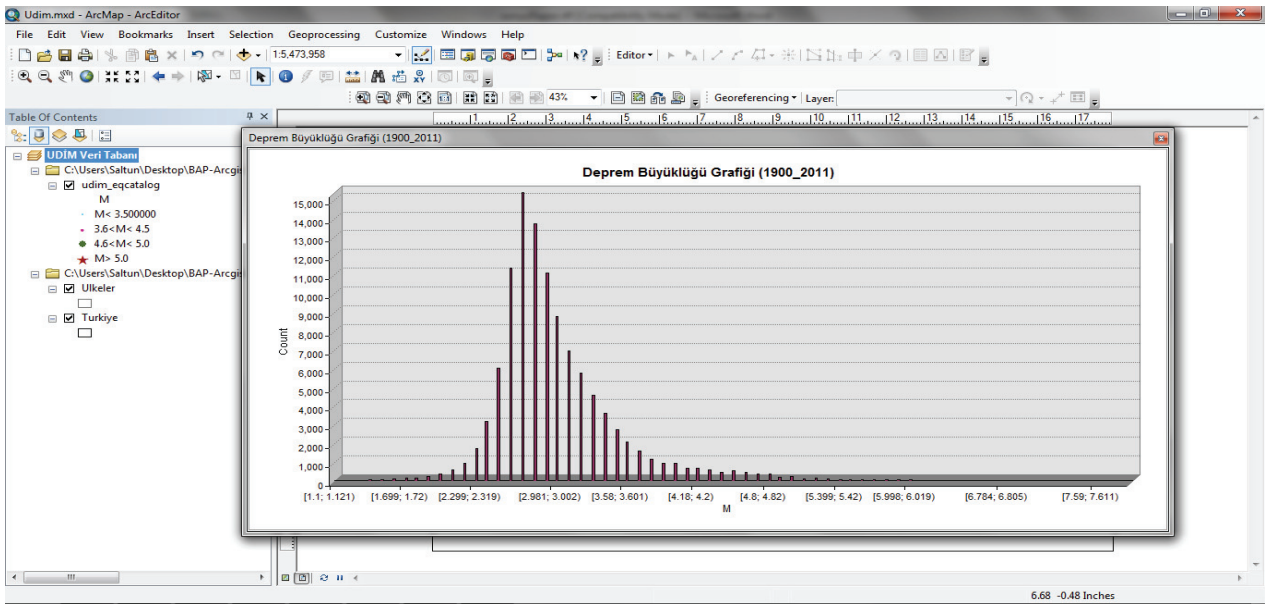
Figure 3. Displaying instrumental period of earthquake activity (1900-2011) created by NEMC using Arcgis software.

2.3.4. Faylanma Kaynak Parametreleri

1938-2008 yılları arasında meydana gelen genel olarak büyüklüğü $M \geq 4.0$ olan toplam 738 adet depremin faylanma-kaynak parametreleri veri tabanına girilmiştir. Veri tabanı oluşturulurken Kalafat vd., (2009) hazırlamış olduğu faylanma-kaynak parametreleri kataloğundan yararlanılmıştır. 2009-2012 tarihleri arasında meydana gelen $M > 3.0$ 'den büyük toplam 88 adet depremin mekanizma çözümleri çalışma kapsamında çözülmüştür. Toplam 826 adet depremin odak mekanizması çözümleri ArcScene programı ile görüntülenmiştir (Şekil 6).

2.4. Yazılım

Çalışmada vektörel veri görüntüleme, sorgulama için ArcGis yazılımı, mekanizma çözümleri için zSacWin EQ Processing (Yılmaz 2002), mekanizma çözümlerinin haritalanması için ArcScene ve 3DfocalMech (Labay ve Haeussler, 2007) programı kullanılmıştır.



Şekil 4. 1900-2011 yılları arasında ($1.0 < M < 8.0$) meydana gelen depremlerin büyüklük-sayı grafiği.

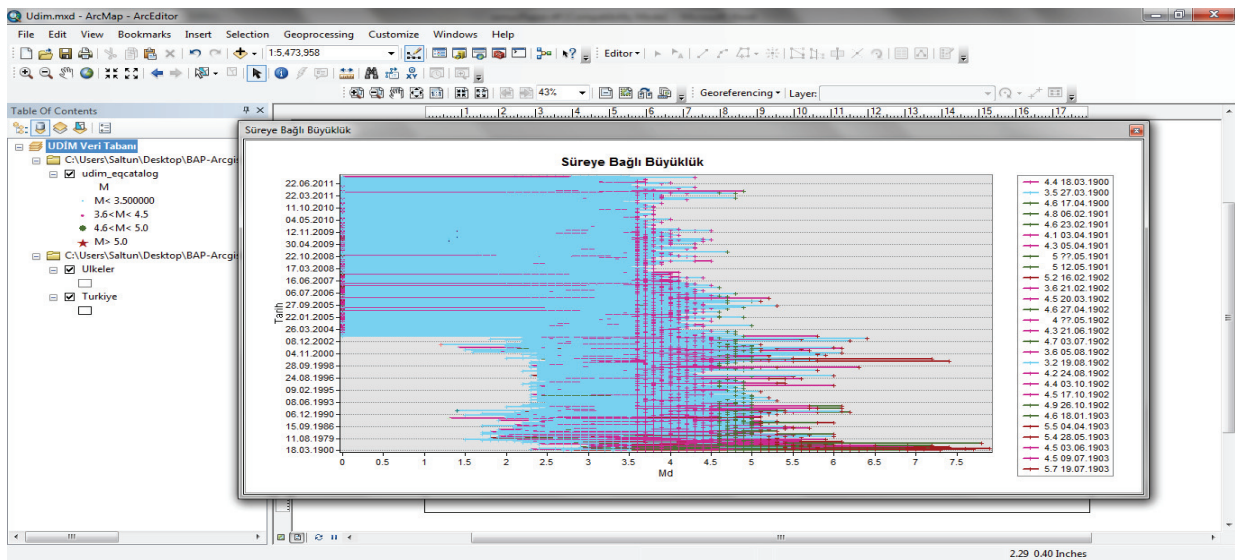
Figure 4. Frequency-magnitude distribution of earthquakes ($1.0 < M < 8.0$) that occurred between 1900-2011.

3. BİLİMSEL BULGULAR VE SONUÇLAR

3.1. Grafikleme ve Raporlama

ArcView yazılımı, grafik özelliği ile amaca uygun değişik grafik gösterim tipleri kullanarak katman bilgilerinin tamamı ya da belli ölçütlere göre grafikleme imkânı sunar. ArcView, grafikleme özelliği ile verileri görsel olarak da inceleme imkânı yaratır. Şekil 4’de

1900-2011 yılları arasında Türkiye’de meydana gelen depremler kullanılarak hangi büyüklükte kaç deprem olduğu görülebilir. Şekil 5’e baktığımız zaman süreye bağlı büyüklüklerin 2003 yılından sonra büyük depremler için kullanılmadığı görülmektedir. 2003 yılından itibaren büyük depremler için yerel büyüklük (M_L) hesaplanmaya başlanmıştır. Eldeki veri tabanı kullanılarak haritalama, raporlama, sorgulama işlemlerinin tek bir program kullanılarak yapılması zaman açısından fayda sağlamaktadır.



Şekil 5. 1900-2011 yılları arasında ($1.0 < M < 8.0$) meydana gelen depremlerin MD-tarih grafiği.

Figure 5. MD-time distributions of earthquakes which occurred from 1900-2011 with magnitude range in 1.0 to 8.0.

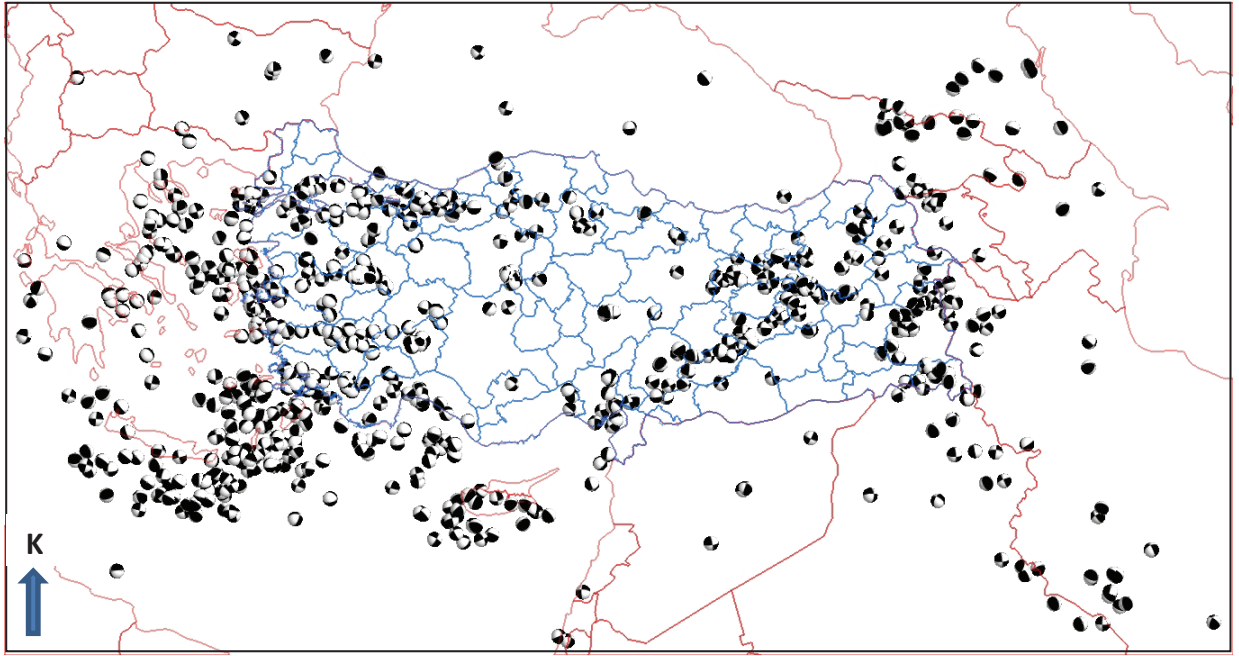
ArcView yazılımının raporlama özelliği ile her katman için sorgulamayı isteğe göre sınırlayarak veya katmana ait tüm özelliklerin raporu zaman kaybı olmadan elde edilebilir. Sismoloji açısından bakıldığı zaman meydana gelen depremlerin oluş zamanına, büyüklüğüne, derinliği göre ve kurulan istasyonların tiplerine vb. özelliklerine göre sınıflanması ve haritalaması yapılan işin güvenilirliğini ve hızını artırmaktadır. Türkiye ve civarında meydana gelecek olan büyük bir depremin UDİM tarafından hızlı bir şekilde çözümlenmesinin yanısıra bölge ile ilgili üretilebilecek raporların ArcView yazılımı kullanılarak hızlı bir şekilde oluşturulması önem arz etmektedir.

3.2. Odak Mekanizması Parametrelerinin ArcScene ile görüntülenmesi

Kalafat vd., (2009) tarafından 1938-2008 yılları arası genel olarak büyüklüğü $M \geq 4.0$ olan toplam 738 adet depremin faylanma-kaynak parametreleri

katalogu hazırlanmıştır. Katalogda bulunan toplam 738 adet deprem ve bu çalışmada çözülen 88 adet deprem birleştirilerek yeni bir katalog oluşturulmuştur.

Tablo 1.'de 2009-2012 tarihleri arasında meydana gelen $M > 3.0$ 'den büyük toplam 88 adet depremin mekanizma çözümleri görülmektedir. Toplam 826 adet depremin odak mekanizması çözümlerinin 3 boyutlu görüntülenmesi için 3DfocalMech yazılımı kullanılmıştır (Şekil 6). 3D Focal Mechanism (3DFM) yazılımı Labay and Haeussler (2007) tarafından geliştirilmiştir. Sismoloji'de odak mekanizması çözümlerini göstermek için çeşitli programlar mevcuttur (GMT, vb.). Arcgis için geliştirilen 3DfocalMech programı ile mekanizma çözümlerinin 3 boyutlu görüntülenmesi mümkün olmaktadır. Bu da araştırmacıların çalışmalarına hem görsel hem de tektonik yorum açısından katkı sağlamaktadır.



Şekil 6. 826 adet depremin odak mekanizması çözümlerinin 3DFM-ArcScene yazılımı ile görüntülenmesi

Figure 6. Displaying of focal mechanism solutions for 826 earthquakes using the 3DFM-ArcScene software package.

Tablo 1. 2009-2012 tarihleri arasında Türkiye ve civarında meydana gelen toplam 88 adet depreme ait faylanma-kaynak bilgileri.**Table 1.** Faulting-source information of 88 earthquakes occurring in around Turkey between 2009-2012.

Depremler No	Tarih G/A/Y	Zaman UTC	Enlem Derece	Boylam Derece	Derinlik km	Büyüklik Mw	Odak Mekanizması Parametreleri			Referans
							Doğrultu	Dahm	Atım	
1	08.01.2009	12:04:01	41.9840	20.7750	12.0	4.79	71.5	60.7	-57.5	Bu çalışmada
2	08.01.2009	15:43:57	41.9840	20.7750	4.0	3.70	138.7	86.8	-38.9	Bu çalışmada
3	13.01.2009	06:12:39	35.4950	26.1900	30.0	5	149.5	76.7	-157.3	Bu çalışmada
4	17.01.2009	07:45:25	37.0920	36.3280	18.0	4.4	297.6	63.8	144.1	Bu çalışmada
5	24.01.2009	15:58:39	40.7950	27.7600	12.0	4.3	114.6	82.7	-96.8	Bu çalışmada
6	01.02.2009	10:27:16	40.4920	42.3160	10.0	4.3	323.6	88.7	-150.0	Bu çalışmada
7	18.02.2009	09:44:06	43.9300	31.6100	38.0	4.4	105.1	89.6	-18.2	Bu çalışmada
8	20.02.2009	10:57:20	37.1540	44.6910	16.0	3.9	308.3	78.5	-117.1	Bu çalışmada
9	22.02.2009	20:25:32	41.1380	34.4490	18.0	3.6	358.1	88.2	-57.2	Bu çalışmada
10	26.02.2009	08:53:42	37.2150	36.9170	4.0	4.1	240.4	76.1	-125.3	Bu çalışmada
11	27.02.2009	20:52:46	34.1970	25.1540	43.6	4.8	202.0	77.6	35.2	Bu çalışmada
12	01.03.2009	00:46:03	38.8670	25.9390	12.0	3.8	167.1	83.5	11.4	Bu çalışmada
13	02.03.2009	21:46:04	32.0200	49.8900	18.0	4.8	105.1	65.6	32.5	Bu çalışmada
14	02.03.2009	22:02:06	36.3200	26.2800	34.5	4.1	261.0	89.5	62.3	Bu çalışmada
15	10.03.2009	13:13:03	37.2490	43.5870	14.0	4.2	166.2	77.4	-132.3	Bu çalışmada
16	15.03.2009	04:34:59	38.9300	24.8200	28.0	4.3	246.5	88.5	134.1	Bu çalışmada
17	01.04.2009	18:08:47	40.8400	31.0600	4.0	3.8	198.7	51.4	-122.8	Bu çalışmada
18	07.04.2009	17:32:52	32.6200	47.9500	6.0	4.7	322.8	58.5	98.5	Bu çalışmada
19	15.04.2009	22:21:36	40.3870	40.5510	16.0	4.2	40.6	88.6	-103.3	Bu çalışmada
20	16.04.2009	14:25:32	34.1600	25.1000	48.2	4.4	12.5	67.9	112.5	Bu çalışmada
21	27.04.2009	19:03:07	40.7400	27.5500	8.0	4.3	136.2	61.1	-98.3	Bu çalışmada
22	30.04.2009	22:31:36	37.8800	43.0300	10.0	3.3	304.1	78.4	-145.7	Bu çalışmada
23	30.04.2009	22:42:25	37.8700	43.0200	12.0	3.4	320.6	85.6	-147.0	Bu çalışmada
24	01.05.2009	16:32:11	37.6500	43.8900	10.0	4.0	215.6	88.7	-96.6	Bu çalışmada
25	06.05.2009	16:23:46	34.6200	26.7900	14.0	4.1	305.5	88.7	-12.5	Bu çalışmada
26	23.05.2009	04:47:43	36.4300	21.7000	14.0	4.7	261.1	84.4	-123.6	Bu çalışmada
27	04.06.2009	13:02:14	36.9780	35.9110	11.7	4.3	109.0	72.4	-137.6	Bu çalışmada
28	19.06.2009	14:04:56	35.1230	28.4020	41.9	5.7	180.7	70.0	-111.2	Bu çalışmada
29	20.06.2009	08:28:18	37.6620	26.8140	12.0	4.7	112.8	66.3	-35.7	Bu çalışmada
30	21.06.2009	14:00:30	39.8860	25.6150	6.0	3.9	78.4	86.9	-112.5	Bu çalışmada
31	05.07.2009	23:48:24	38.9350	43.8970	12.0	4.1	144.2	86.0	-154.2	Bu çalışmada
32	12.07.2009	23:32:55	37.9460	29.3830	14.0	3.8	91.2	82.2	148.1	Bu çalışmada
33	24.07.2009	05:48:19	37.5430	35.6890	8.0	4.9	160.7	65.4	-142.5	Bu çalışmada
34	28.07.2009	17:38:51	36.3090	29.8520	34.0	4.8	265.2	66.1	153.2	Bu çalışmada
35	30.07.2009	07:37:50	39.6110	39.7640	14.0	4.8	335.8	87.0	112.6	Bu çalışmada
36	01.08.2009	16:42:39	40.3610	28.2750	4.0	4.0	247.5	47.7	-93.4	Bu çalışmada
37	05.08.2009	07:49:02	43.4960	28.7660	18	5	257.9	84.7	173.8	Bu çalışmada
38	05.08.2009	19:28:28	39.2490	27.7840	18.0	3.7	131.8	85.4	-145.6	Bu çalışmada
39	08.08.2009	13:52:38	40.3330	27.4250	22.0	4.1	79.5	84.3	119.2	Bu çalışmada
40	08.03.2010	02:32:30	38.7950	40.0980	12.0	6.1	231.0	67.6	-2.2	Bu çalışmada
41	03.11.2010	02:51:26	40.4400	26.2900	17.8	5.3	348.2	88.5	8.2	Bu çalışmada
42	11.11.2010	20:08:00	37.8973	27.3393	12.0	4.0	41.9	67.0	-53.9	Bu çalışmada

43	20.01.2011	02:09:37	40.7100	29.7640	18.0	4.3	72.9	81.2	112.5	Bu çalışmada
44	22.02.2011	09:08:14	38.9828	42.3053	5.0	4.6	60.0	75.0	-15.0	Bu çalışmada
45	01.04.2011	13:29:09	35.788	26.5300	72	6.0	24.26	75.81	135.1	Bu çalışmada
46	08.05.2011	06:50:25	36.64	27.2130	13	5.1	244	52	-94.0	Bu çalışmada
47	13.05.2011	22:28:29	40.776	31.5270	12	4	114.59	86.95	175.6	Bu çalışmada
48	19.05.2011	19:59:46	39.1335	29.1145	8.7	3.6	109.0	42.0	-66.0	Bu çalışmada
49	19.05.2011	20:15:22	39.1543	29.1045	8.0	5.8	286.0	47.0	-91.0	Bu çalışmada
50	19.05.2011	20:23:02	39.1305	29.0350	5.0	3.8	289.0	52.0	-71.0	Bu çalışmada
51	19.05.2011	20:25:32	39.1245	29.0815	5.0	4.4	109.0	35.0	-83.0	Bu çalışmada
52	19.05.2011	20:36:22	39.1048	29.0637	5.0	3.8	70.0	50.0	-111.0	Bu çalışmada
53	19.05.2011	20:41:44	39.1043	29.1445	6.0	4.1	274.0	52.0	-78.0	Bu çalışmada
54	19.05.2011	20:43:30	39.1232	29.0978	4.0	3.9	275.0	64.0	-126.0	Bu çalışmada
55	19.05.2011	21:12:51	39.1237	29.0412	8.0	4.4	293.0	58.0	-76.0	Bu çalışmada
56	19.05.2011	21:33:11	39.1510	29.1130	8.0	4.3	114.0	41.0	-58.0	Bu çalışmada
57	20.05.2011	00:13:07	39.1183	29.1325	5.0	4.1	166.0	42.0	-24.0	Bu çalışmada
58	20.05.2011	00:58:33	39.1097	29.0825	8.0	4.3	80.0	36.0	-91.0	Bu çalışmada
59	24.05.2011	02:55:29	39.1012	28.9595	8.0	4	337.0	56.0	-48.0	Bu çalışmada
60	27.05.2011	07:43:37	39.1295	29.0450	8.0	4.3	85.0	39.0	-98.0	Bu çalışmada
61	28.05.2011	05:47:17	39.1163	29.0507	9.0	4.8	69.0	48.0	-120.0	Bu çalışmada
62	28.05.2011	07:35:31	39.1185	29.0900	8.0	3.9	58.0	70.0	-163.0	Bu çalışmada
63	28.05.2011	18:06:46	39.1028	29.0425	5.0	3.9	142.0	42.0	-59.0	Bu çalışmada
64	29.05.2011	01:31:39	39.1258	29.0823	10.0	4.4	353.0	69.0	-49.0	Bu çalışmada
65	04.06.2011	13:51:06	39.1285	29.0833	5.0	4.2	88.0	51.0	-90.0	Bu çalışmada
66	05.06.2011	21:29:14	39.1643	29.0930	10.0	3.9	340.0	49.0	-98.0	Bu çalışmada
67	15.06.2011	18:23:10	36.6330	28.8250	20.0	4.1	344.5	89.3	-12.1	Bu çalışmada
68	23.06.2011	07:34:42	38.5780	39.6400	12	5.2	69.3	84.2	31.7	Bu çalışmada
69	27.06.2011	21:13:58	39.1100	29.0310	14	4.6	331.3	73.8	-72.5	Bu çalışmada
70	25.07.2011	17:57:20	40.9070	27.6930	14.5	5.0	166.6	77.7	41.1	Bu çalışmada
71	22.09.2011	03:22:35	39.7105	38.8416	20	5.5	148.4	89.3	-171.4	Bu çalışmada
72	08.10.2011	03:25:18	39.3510	40.6932	6	4.2	310.2	46.2	-83.6	Bu çalışmada
73	23.10.2011	10:41:21	38.9220	43.5585	16	7.2	291.7	60.8	124.9	Bu çalışmada
74	23.10.2011	10:56:49	38.8100	43.4200	20	5.5	108.0	47.0	84.0	Bu çalışmada
75	23.10.2011	20:45:34	38.6300	43.0700	6	5.5	330.0	77.0	95.0	Bu çalışmada
76	24.10.2011	15:28:07	38.7615	43.2456	8	4.7	241.9	50.5	81.6	Bu çalışmada
77	25.10.2011	14:55:07	38.8400	43.5500	8	5.1	79.0	59.0	51.0	Bu çalışmada
78	29.10.2011	22:24:23	38.9400	43.5200	6	5.1	199.0	83.0	78.0	Bu çalışmada
79	06.11.2011	02:43:13	38.9273	43.5631	6	4.7	24.5	84.3	154.4	Bu çalışmada
80	08.11.2011	22:05:50	38.7400	43.0300	6	5.3	121.0	50.0	109.0	Bu çalışmada
81	09.11.2011	19:23:33	38.4500	43.2100	5	5.7	93.0	87.0	-104.0	Bu çalışmada
82	14.11.2011	22:08:15	38.6900	43.0700	4	5.1	153.0	74.0	94.0	Bu çalışmada
83	30.11.2011	00:47:20	38.4700	43.4200	5	5.1	221.0	72.0	50.0	Bu çalışmada
84	04.12.2011	22:15:01	38.4716	43.2925	6	4.8	36.2	72.8	143.0	Bu çalışmada
85	27.12.2011	05:59:18	37.9005	27.1215	10	4.0	130.2	68.9	-46.8	Bu çalışmada
86	27.12.2011	07:51:47	37.9108	27.0970	5	4.3	47.5	65.4	-80.7	Bu çalışmada
87	27.12.2011	19:18:53	38.9627	43.8273	6	4.5	149.0	54.1	92.1	Bu çalışmada
88	20.01.2012	09:57:38	38.9413	43.6912	4	4.4	238.4	60.8	99.2	Bu çalışmada

3.3. Coğrafi Verilerin Sorgulanmasına

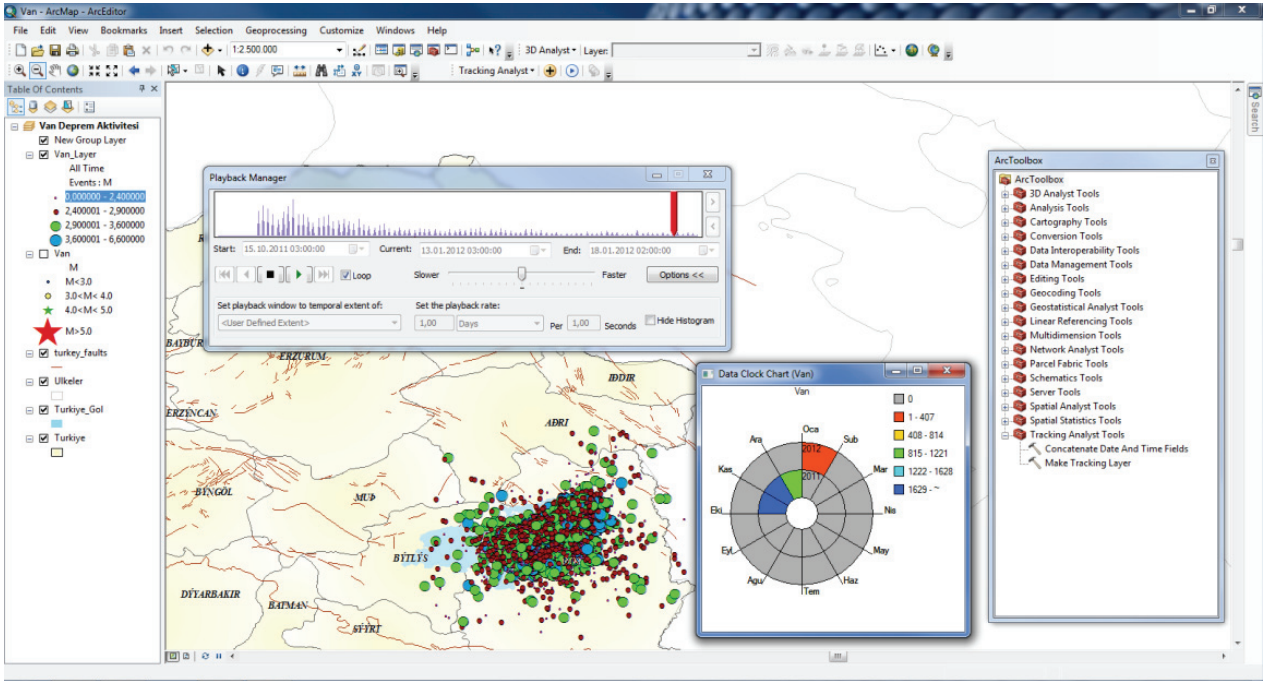
Örnek 23.10.2011 Van Depremi

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde grafik ve grafik olmayan verilerin birbirleri ile bütünleşik olarak sorgulanması mümkündür. Böylece grafik verilerden sözel verilere, sözel verilerden grafik (konumsal) verilere hızlı erişim imkânınız olur. ArcMap ara yüzünde; programın bize grafik seçmek için sağladığı araçların (Select by rectangle, polygon, lasso, circle, line) kullanılması, görüntülenen grafik verilerin veri tabanındaki öznelikleri (attributes) üzerinden mantıksal sorgulamalar yaparak grafik veriye ulaşması (Select By Attributes) ve farklı coğrafi verilerin birbirleriyle mekânsal ilişkilerinin sorgulanması (Select By Location) yapılabilmektedir.

23 Ekim 2011 günü yerel saat ile 13:41'de Van – Erciş ve civarını etkileyen $M_w=7.2$ büyüklüğünde yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Deprem Van'ın en büyük ilçesi olan Erciş ilçesi başta olmak üzere merkeze bağlı birçok köyde hasara neden olmuştur. Deprem dış merkezi Van'ın yaklaşık 24 km. kuzeyinde yer alan Tabanlı köyü civarındadır. Şekil 7'de Van depremi ve artçı dağılımının (23.10.2011-

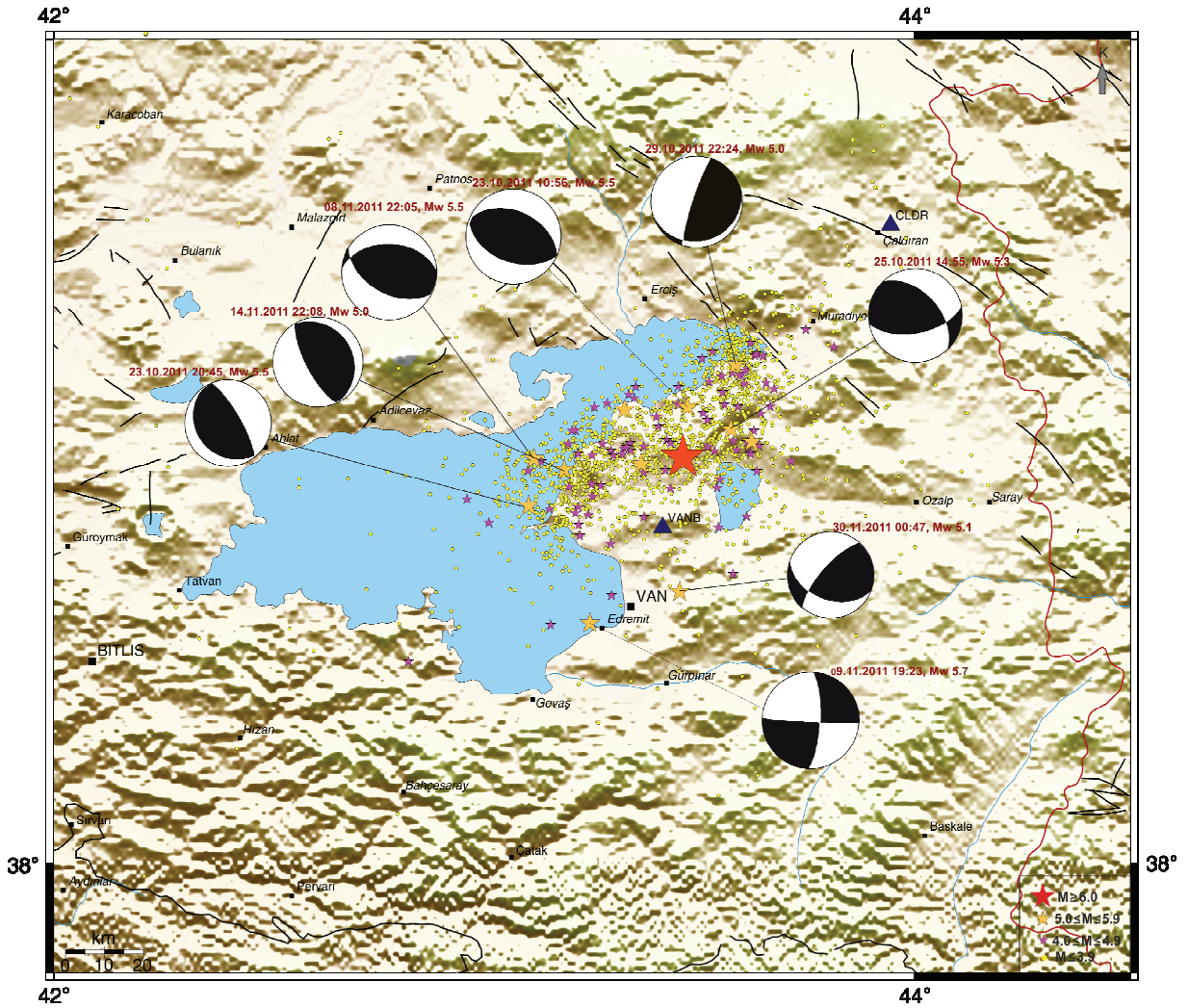
18.01.2012) Arcgis yazılımı ile hazırlanmış haritası görülmektedir. Şekil 7'de Arcgis yazılımının iz analizi (tracking anaysist) ve uzantısı iz (track) verilerini görüntüleme, zamanı renklerle sembolize etme, interaktif playback, aksiyon vurgulama gibi özellikleri görülmektedir. Veri saati Arcgis iz analizinin (tracking anaysist) ek özelliğidir (Şekil 7). Van depremi örneğinde olduğu gibi artçı deprem yoğunluğu çok olan depremlerde oluşturulacak veri tabanı ile her türlü sorgulama, grafikleme, raporlama ve görsel bilgiler kolaylıkla elde edilebilmektedir.

23.10.2011 Van depremine ait büyüklüğü $M_w>5.0$ olan 8 adet artçı depremin odak mekanizması çözümleri yapılmıştır (Şekil 8). Depremlere ait faylanma kaynak bilgileri Tablo 1'de verilmektedir. Meydana gelen önemli depremlerin dağılımı ve artçı depremler D-B ve KD-GB gidişli fay parçalarının deprem etkinliğine sebep olduğunu ortaya koymaktadır. Van depremi ve sonrasında meydana gelen önemli artçı depremlerin mekanizma çözümleri bölgenin sıkışma rejiminin etkisi altında bulunduğunu ve bu rejimin ürünü olan ters faylanmaların bölgenin güncel tektoniğinde etkili olduğunu göstermiştir.



Şekil 7. Van depremi ve artçı dağılımının (23.10.2011-18.01.2012) aylık ve yıllık veri saati.

Figure 7. Clock chart of monthly and annual data for Van earthquake and its aftershock distribution (23.10.2011-18.01.2012).



Şekil 8. Van deprem etkinliği için $M_w \geq 5.0$ ' den büyük depremlerin odak mekanizması çözümleri.

Figure 8. Focal mechanism solutions for Van aftershock activity which are greater than $M_w \geq 5.0$.

SONUÇLAR

Levha tektoniği teorisinin ortaya çıkmaya başladığı 1960' lı yılların başında temelleri atılmaya başlanan Coğrafi Bilgilendirme Sistemleri (CBS), gelişen teknoloji ile birlikte mekânsal verinin analizi, haritalanması ve derlenmesinde oldukça pratik ve kullanışlı bir araç haline gelmiştir. Bu nedenle CBS diğer veri işleme programlarına göre birçok üstünlüğe sahiptir; Tablo ve harita oluşturabilme, raporlama, sorgulama, aralarında ilişki kurabilme, farklı dosyaların entegrasyonu, bilgilerin konuma bağlı değerlendirilebilmesi bu üstünlüklerden bazılarıdır ve bu sayede bütünleşik bir çalışma ortamında tüm verilere ulaşma imkânı sağlar. CBS'nin en önemli elemanlardan birisi de veridir. Verinin alt yapısını

oluşturmak amacı ile yapılan bu çalışmada Türkiye genelinde 1900-2011 yılları arasında meydana gelen depremlerin lokasyonları, deprem kayıt cihazları, tarihsel depremler, mekanizma çözümleri, depremlerin artçı dağılımları, ilgili görüntü dosyaları ve konu ile ilişkili yazılımları içeren bir veri tabanı oluşturulmuştur. İlgili alt yapının hazırlanması sayesinde yazılım üzerinden veri sorgulama, farklı dosyaların birbirleri ile entegrasyonu, haritalama, görselleştirme, grafikleme, raporlama gibi işlemler kolaylıkla yapılabilmekte, herhangi bir referans noktası veya Türkiye geneli adına detaylı bilgilere ulaşabilmekte ve elde edilen bu bilgiler birbiri ile ilişkilendirilebilmektedir. Günümüzde aletsel alt yapının ve meydana gelen depremlerin sürekli değişimi doğrultusunda şekillenen yeni bilgi girdileri

programda kolaylıkla güncellenebilmekte ve ilgili veri tabanına aktarılabilir. Bu sayede Türkiye’ de meydana gelebilecek büyük bir deprem sonrası bölge için gereken tüm bilgilere hızlı bir şekilde ulaşılarak gerekli raporlama işlemlerinin yapılabilmesine olanak sağlanmış olacaktır. Yapılan bu çalışmada oluşturulan deprem veri bankası ile üzerinde çalışılan sistemin kullanılabilirliği test edilmiş ve elde edilen sonuçların uygulanabilirliği sonucuna varılmıştır.

Türkiye ve civarında meydana gelen $M > 3.4$ olan 88 adet depremin odak mekanizması çözümleri yapılarak harita üzerinde görüntülenmiştir. Yapılan bu çalışmada Arcgis yazılımının grafikleme, haritalama, sorgulama özelliklerini test etmek amacı ile 2011 Van depremi ve artçıları kullanılmıştır. Bu doğrultuda Van depremi ve $M_w > 5.0$ olan artçı sarsıntuların odak mekanizması çözümleri yapılmıştır. Yapılan odak mekanizması çözümleri bölgedeki hâkim olan en büyük gerilme eksenlerinin genel doğrultusunun kuzey-güney yönünde (KKB/GGD) (P) sıkışma ve doğu-batı (DKD-BGB) yönünde (T) açılma rejimi olduğunu göstermektedir. Van depremi sonrasında kırılan ve genel doğrultusu doğu-batı uzanımlı fayın kuzeydoğu-güneybatı ve kuzeybatı-güneydoğu yönelimli doğrultularında gerilme artışı ile tetiklenen bir deprem aktivitesi meydana geldiği var sayılmaktadır. Nitekim 9 Kasım 2011 Edremit-Van Depremi’nin ana deprem sonrasında tetiklenmiş olabileceği düşüncesi bu tezi doğrular niteliktedir. Van depremi Güneydoğu Anadolu’da baskın sıkışmalı tektonik rejimin ve bu rejimin ürünü olan ters faylanmaların güzel bir örneğini oluşturmuştur.

Bundan sonrası için yapılacak olan çalışmalarda Arcgis yazılımı ile Türkiye’nin aktif tektoniğini oluşturan temel fayların ve tektonik birimlerin sayısallaştırılması, ilgili veri tabanına aktarılması ve bu sayede Türkiye genelinde yapılacak olan çalışmalarda ihtiyaç duyulan bir eksikliği gidererek araştırmacıların kullanımına açılması önerilmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma B.Ü 5556 nolu proje kodu ile Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir. Makaleye desteklerinden dolayı Ulusal Deprem İzleme Merkezi çalışanlarından Mustafa Çomoğlu, Dr. Ayşegül Köseoğlu ve Yavuz Güneş’e teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

Berberoğlu, A. 2009, Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Deprem Verilerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Ana Bilim dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Dreger, D. 2002, Time Domain Moment Tensor INVerse Code (TDMT_INVVC) Release 1.1, www.seismo.berkeley.edu/~dreger.

EMSC, <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/tensors.php>.

Garagon, A., 2002, Interactive Earthquake Information On The Internet, Yüksek Lisans Tezi, ITU Institute of Science and Technology.

Kalafat, D., Kekovalı, K., Güneş, Y., Yılmaz, M., Kara, M., Deniz, P., Berberoğlu, M. 2009, Türkiye ve çevresi Faylanma-Kaynak Parametreleri (MT) Kataloğu (1938-2008). Boğaziçi Üniversitesi Yayınları.

Keith A. Labay, K., Hauessler, P.J. 2007, 3D Visualization of Earthquake Focal Mechanism Using ArcScene, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, <http://pubs.usgs.gov/ds/2007/241/>.

Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y., 1981, Türkiye ve çevresinin tarihsel deprem kataloğu.

TÜBİTAK proje No: TBAG-341.

Tüysüz, O., 2003, İstanbul için Deprem Senaryolarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri İstanbul için Deprem Senaryolarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı, ITU, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, Kuvaterner Çalıştay IV, 164-173.

Yılmaz, M. 2002, Deprem kaynak parametrelerinin On-Line belirlenmesi, Y.lisans, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.