İstanbul Yerbilimleri Dergisi, C.25, S.1, SS. 55-83, Y. 2012

TÜRKİYE DEPREM VERİSİNİN İSTATİSTİKSEL AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

STATISTICAL EVALUATION OF TURKEY EARTHQUAKE DATA

Doğan KALAFAT

B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve DAE., Ulusal Deprem İzleme Merkezi (UDİM) 34684 Çengelköy/ İstanbul

Yayına Geliş (Received): 24.12.12, Yayına Kabul (Accepted): 27.02.13

ÖZ: Bu çalışmada genel olarak Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından hazırlanan 1900-2009 yılları arası deprem katalogunun analizi yapılmıştır. Katalog Türkiye ve Yakın Çevresi depremlerini (32^{o}-45^{o}K/23^{o}-48^{o}D) kapsamaktadır. Mevcut deprem katalogu verilerinin zamana bağlı değişimi ve farklı bölgeler açısından da tamamlılığı kontrol edilmiş, özellikle 1976 yılı öncesi ve veri setinin tamamlılığı bu çalışmada değerlendirme açısından eksik bulunmuştur. Deprem istasyonlarının gelişimi farklı bölgelerde farklı zaman periyotlarını içerdiğinden, mevcut sismik ağın gelişmesini de göz önüne alınarak veri seti farklı bölgelere ve farklı periyotlara göre değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Toplam 7 bölge, tektonik özellikleri ve veri setine göre değerlendirilmiştir. Bu çalışmada her bölge için orjinal veri kullanılarak herhangi bir işlem yapmadan b-değerleri, a-değerleri, Magnitüd tamamlılık Mc (Magnitude of completeness) değerleri ZMAP yazılım paketi (Wiemer, 2001) kullanılarak hesaplanmıştır. b-değerleri hesaplanırken deprem odak derinlikleri h=0-50 km. olarak seçilmiştir. Ayrıca her bölge için Derinlik-Zaman, Magnitüd-Zaman, Magnitüd-Deprem Oluş Sayısı, Deprem Oluş Sayısı-Derinlik, Deprem Oluş Sayısı-Zaman grafikleri, b-değeri, a-değeri, Deprem Yoğunluğu (Earthquake Density Map), Magnitüd Tamamlılık (M completeness) vb. haritalar oluşturulmuştur. Sismik kataloglarda en önemli sorunlardan birisi de genel olarak gerçek sismik olayların, yapay olarak yaratılan sismik olaylardan ayrıştırılmasıdır. Bu yüzden mevcut katalog sırası ile declustering (Reasenberg, 1985), dequarry (Wiemer ve Baer, 2000) ayrıştırma yöntemleri ile orjinal veri setinden yapay kaynaklı taş ocağı, maden ocağı patlatmaları ayrılmıştır. Declustering işlemi ile özellikle termal alanlarda, büyük su havzalarında, maden sahalarında görülen küçük tetiklenmiş depremler (induced earthquakes) orjinal katalogdan ayıklanmıştır. Daha sonra her bölge için tekrar b-değeri (patlatmalardan ayıklanmış veri setinden, dequarry data), a-değeri ve Mc değerleri hesaplanmış, harita, grafik ve veri seti ile ilgili tablolar çizilmiştir. Böylece b ve a-değerleri karşılaştırılması yapılmıştır. Kalafat ve diğ., 2009 tarafından hazırlanan mevcut moment tensor kataloğu ile bölgenin faylanma haritası hazırlanmıştır. Mevcut data seti ve her deprem için doğrultu, dalım, kayma açısı bilgileri kullanılarak 7 ayrı bölgedeki hakim gerilme eksenlerinin doğrultuları bulunmuş ve bölgesel stress analizi (regional stress analysis) yapılmıştır. Sonuçta her bölge için bulunan faylanma tipi, ve b-değerleri arasında bir ilişki olup olmadığına bakılmıştır. Bu çalışmada daha önceki çalışmalarda da değerlendirilen, ve ülkemizde günümüzde de halen süregelen açılma, sıkışma ve doğrultu-atımlı faylanma rejimlerinin b-değeri ile ilişkisi hipotezi bir kez daha test edilmiştir. Sonuç olarak normal faylanma veren olaylarda (örneğin Batı Anadolu ve Marmara Bölgesi) yüksek b-değerleri, doğrultu-atımlı olaylarda orta (KAFZ, DAFZ) ve ters faylanma veren olaylarda (GD Türkiye) düşük b-değerleri bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler : Katalog, patlatma, b-değeri, tamamlılık magnitüdü (Mc)

ABSTRACT: In this study, Earthquake catalog of the events within the time period of 1900-2009 prepared by Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute is analyzed. The catalog consists of earthquakes occurred in Turkey and surrounding area (32^{o}-45^{o}N/23^{o}-48^{o}E). The current earthquake catalog data has been checked in two aspects; the time dependent variation and compliance for different regions. Specifically the data set prior to 1976 was found deficient. As the development of earthquake seismic stations took place in different regions at different time periods, current seismic network catalog data set have been analyzed for different time period and regions. In total, 7 regions were evaluated according to the tectonic specifications and data set. In this study for every region original data were used without any change; b- values, a- values, Magnitude of completeness (Mc) were calculated by using ZMAP software package (Wiemer, 2001). For the calculation of b- values focal depth was selected as h= 0-50 km. In addition to this, for each region; Depth-Time, Magnitude-Time, Magnitude-Earthquake occurrence number, Earthquake occurrence number-Depth, Earthquake occurrence number-Time graphics, b- values, a-values, Earthquake Density Map (Ed) and Magnitude of completeness (Mc) map were prepared. One of the impor-

tant complications for the seismic catalogs is discriminating real (natural) seismic events from artificial (unnatural) seismic events. Therefore within the original current catalog events especially artificial quarry blasts and mine blasts have been separated by declustering (Reasenberg, 1985), and dequarry (Wiemer ve Baer, 2000) methods. Declustering process eliminates induced earthquakes especially occurred in thermal regions, large water basins, mine regions from the original catalogs. Then for each region b-value (the data set eliminated from the explosions), a- values and Mc values were calculated, map, graphics and related data tables were prepared. In this way b and a- values were compared. Current moment tensor catalog prepared by Kalafat and et al., 2009 the faulting type map of the region was prepared. By using the current data set and strike, dip, rake values for each earthquake 7 different dominant stress axis directions were found and regional stress analysis is done. As a result, for each region it is examined if there is a relation between fault type and b- values. In this study, the hypothesis of the relation between previously evaluated and currently ongoing extensional, compression, strike-slip fault regimes in Turkey and b- values are tested one more time. We found normal faulting events (such as Western Turkey, Marmara Region) have the highest b-values, strike slip events (NAFZ, EAFZ) intermediate values and thrust events (SE Turkey) the lowest b-values.

Key words: Catalog, explosion, b-value, magnitude compliteness (Mc)

GİRİŞ

Ülkemizde hemen her yörede ekonomik kaynaklı maden ve taş oçağı işletmeleri bulunmaktadır. Resmi yayınlanan istatistiklere göre yalnızca 2009 yılında kaçak olduğu belirlenen 228 ocak (kömür ocağı) kapatılmıştır. Bunun yanında resmi ruhsatı bulunmayan pek çok taş ocağı işletmesinin bulunduğu da bilinmektedir. Özellikle alt yapı çalışmalarında yol ve baraj vb. çalışmalarda yoğun olarak taş (natural stone) kullanılmaktadır. Ayrıca Mermer (marble), kireçtaşı (limestone), mozaik, granit, bazalt, altın vb. madenlerin çıkartılmasında patlatma (blast) ve büyük kazı (excavation) yapıldığı bilinmektedir. Patlatma yapılan taş ocakları alanlarına örnek olarak Eskişehir-Sivrihisar, Kayseri, Antalya, Balıkesir, Bursa, Torbalı, Bergama, Bilecik, Diyarbakır, Amasra, Erzincan, Denizli, Konya, Afyon, Sungurlu, Bandırma, Marmara Adası, Edremit, Armutlu, İstanbul, Gebze, Çanakkale-Ezine, Çatalca, Kırşehir, Gümüşhane, Tekirdağ verilebilir. Ayrıca taş kömürü açısından da Kütahya-Tavşanlı-

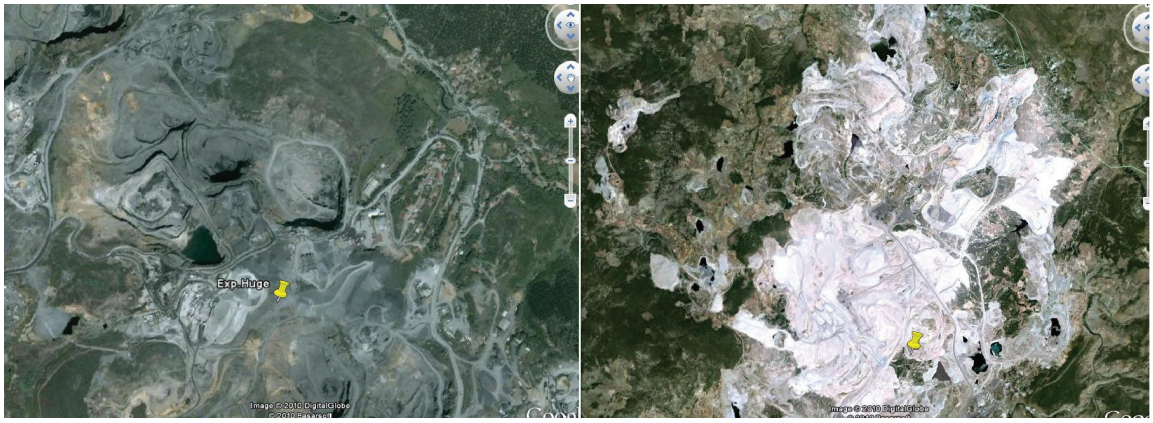
Tunçbilek, Manisa-Soma, Afşin-Elbistan, Ereğli-Zonguldak, Çeltek-Amasya, Bilecik, Erzurum, Şırnak, Çorum-Alpagut-Dodurga, Bolu-Mengen, Ankara, Balıkesir, Tekirdağ, Alibeyköy-İstanbul, İskenderun, Mersin, Adana örnek olarak verilebilir.

Bu işlemler sırasında açığa çıkan sismik enerji özellikle bölgeye yakın sismik istasyonlar tarafından kaydedilmekte ve bunlar sismik ağ işleten operatörler tarafından deprem gibi değerlendirilerek deprem kataloglarında veri olarak gösterilmektedir. Mevcut katalogun değerlendirilmesi açısından seçilen her bölgedeki patlatmalar, Wiemer ve Baer (2000) tarafından geliştirilen algoritma kullanılarak ayıklanmıştır. Böylece mevcut katalogdan taş ocağı, maden ocağı patlatmaları ve büyük kazılar yapılarak yaratılan sismik olayların ayıklanması yapılmıştır. Bilindiği gibi patlatmalar özellikle inşaat mühendisliği alanındaki uygulamalarda (tünel, metro, yol, baraj vb.) çoğunlukla kullanılmaktadır.



Şekil 1a. Türkiye'de patlatma alanlarının yalnızca bazılarını gösteren örnek harita.

Figure 1a. The yellow symbols indicate the location of some blast sources in Turkey.



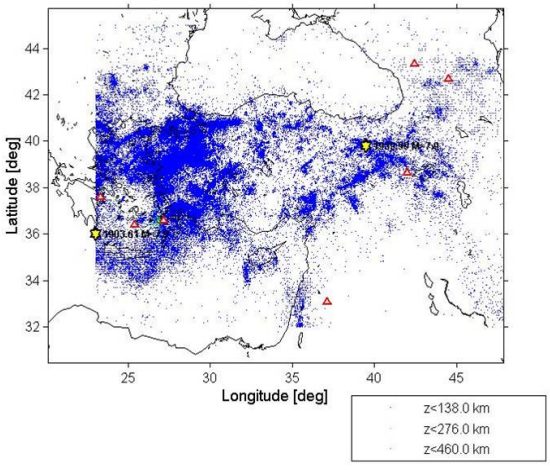
Şekil 1b. Bazı patlatma alanlarından görünüm.
Figure 1b. A view of some of the blasting areas.

Son yarım yüzyıldaki çalışmalarda, gerilme (stress) veya gözenek basıncının (pore pressure), depremlerin boyutunun dağılımı ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (Schorlemmer ve diğ., 2005; Gulia ve Wiemer, 2010). Gutenberg-Richter yasası (Gutenberg ve Richter, 1944) olarak tanımlanan Magnitüd-Frekans ilişkisi logN=a-b-M, burada N kümülatif deprem sayısı, M büyüklük, a ve b ise sabitlerdir, bunlar deprem etkinliğinin ve relatif büyüklük dağılımını tarif ederler. Son yıllarda özellikle benzer çalışmalar yapılmaktadır (Utsu, 1965; Wyss, 1973; Rydelek ve Sacks, 1989; Ogata ve Katsura, 1993; Okuda ve diğ., 1993; Wiemer ve Wyss, 1997; Schorlemmer ve diğ. 2005; Gulia ve Wiemer, 2010; Tormann ve diğ., 2010). Çünkü b-değeri sismik risk değerlendirme olasılığı için kritik bir parametredir, sismik risk değerlendirme çalışmaları için b-değerinin bölgesel faylanma modeli ile ilişkilendirilmesi açısından sıkı ilişkisi vardır. Bütün farklı data setlerinden yapılan çalışmalar göstermiştir ki faylanma mekanizması ile b-değeri arasında benzer bir bağımlık olduğunu, örneğin yüksek b-değeri (≈1.1) normal faylanmalar için, doğrultu-atımlı faylar için (≈0.9) ve ters faylar için (≈0.7) olarak verilmektedir (Schorlemmer ve diğ., 2005).

Kullanılan Yöntem

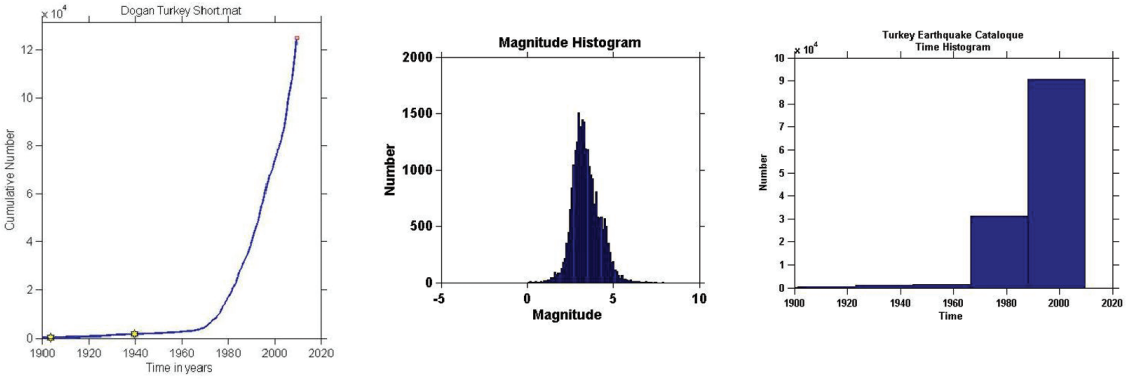
Ele alınan deprem kataloğu Türkiye ve çevresi verilerini kapsamaktadır. Koordinat aralığı 32°-45 °K Enlemleri ile 23 °-48 °D Boylamları arasını kapsamaktadır (toplam veri sayısı = 125350).

Bölgenin çok geniş olması ve çeşitli ölçekteki büyüklük ve derinlik dağılımını içermesi, ülke sismik ağının dışındaki, özellikle deniz alanları ve sınır alanlarındaki depremleri içermesi ve katalogdaki veri sayısının yıllara göre artışındaki düzensizlik, kullanılacak algoritma ve hesaplamalar açısından mevcut hali ile değilde, yeterli büyüklük ve derinlik aralığında ve bölgedeki deprem istasyonlarının ve deprem sayısının zaman bağlı olarak dağılımının düzenli olmaması, ana kara içinde kalan depremler (on-shore) dikkate alınarak, karadan uzak depremlerin (off-shore) çalışma kapsamı dışında tutulmasına dikkat edilmiştir. Özellikle b-değeri hesaplamalarında genel olarak kabuk içi depremler kullanıldığından seçilen veri setinde derinlik dağılımının h=0-50 km. olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 2. Mevcut orijinal katalog verisi kullanılarak üretilen sismisite haritası.
Figure 2. The current seismicity map produced using the original catalog data.

Uygulamada, ZMAP yazılımı (Wiemer, 2001) kullanılmış olup, ilk olarak Türkiye Deprem katalogu kullanılan yazılıma girdi teşkil edecek şekilde formatı uygun hale getirilmiştir. Daha sonra ülke fayları yine aynı şekilde format değişikliği yapılarak programda çalışır hale getirilmiştir. Bu işlemler sonucu test amaçlı sismisite haritası oluşturulmuştur (Şekil 2).



a **b** **c**

Şekil 3. a) 1900-2009 yılları arası depremlerin kümülatif dağılımı; **b)** Deprem Sayısı –Magnitüd **c)** Deprem Sayısı-Zaman Histogramları.

Figure 3. a) Cumulative distribution of earthquakes between the years 1900-2009; **b)** Frequency as a function of magnitude **c)**Number of Earthquake-Time Histograms.

Şekilden 3a' dan görüldüğü gibi özellikle 1976 yılı öncesi depremlerin büyüklüğe ve zamana göre dağılımı istatistiksel açıdan ve kullanılan yöntem açısından uygun bulunmamıştır. Bu yüzden her bölge uygun zaman periyodu içerisinde değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Deprem ve patlatma ayırımı ile ilgili çeşitli istatistik çalışmalar yapılmaktadır (Wiemer ve Wyss, 1994; Wiemer ve Katsumata, 1999).

Verinin analizinde bölgede saat 08-15 arası deprem sayısında saat bazında çok önemli değişim gözlenmektedir. Bu ise bölgedeki patlatma kaynaklı taş ocağı, maden ocağı çalışmalarından kaynaklanmaktadır. Bu konuda son yıllarda yapılan çalışmalar yoğun olarak sürmektedir (Hedlin ve diğ. 1990; Kim ve diğ., 1994; Wiemer ve Wyss, 1997; Wiemer ve Baer, 2000; Horasan ve diğ, 2009). Mevcut deprem katalogları özellikle istatistik sismoloji ile uğraşan bilim adamları tarafından kullanılmaktadır ve bu problem yazılan çeşitli algoritmalar ile çözülmeye çalışılmaktadır. Bunlardan en yoğun kullanılan Wiemer ve Baer (2000) tarafından geliştirilen algoritmadır.

Frekans-Magnitüd ilişkisi bu tür çalışmalarda çok önem taşımaktadır. Konu ile ilgili benzer çalışmalar yapılmıştır (Wyss, 1973; Ogata ve Katsura,1993; Wiemer and Wyss, 1997; Wiemmer ve Katsumata, 1999; Wiemer ve Baer, 2000; Wiemer ve Wyss, 2000, 2010 baskıda). Genellikle ekonomik kaynaklı taş ocağı patlatmaları yapay olarak yüksek b-değeri (b>1.5) göstermektedir. Çünkü patlatmalar çoğunluğu tekrarlayan, benzer ve küçük boyutta olayları temsil ederler. Patlatmaların ayırt edilebilmesi basit bir iş değildir. Birçok sismik network operatörü konu ile ilgili özellikle patlatmaların tanımlanmasına ve gün boyu düzenli yapılan data analizinde uğraş verirler, fakat bu tam olarak yapılamamaktadır. Bununla birlikte sayısal veri analizi ve diğer spektrum analizi teknikleri ile son yıllarda ayırma işlemi yapılmaktadır. Buna rağmen gün içerisinde büyük yoğunluktaki deprem verisi analizi yüzünden bu konuda detaylı analiz halen birçok sismoloji merkezinde yapılamamaktadır. Tabi ki bu olayların göstergelerinden birisi deprem odak derinliğidir. Bununla birlikte deprem odak derinliği özellikle küçük olaylar için güvenilir bir ayrıcı ola-

mayabilir. Çoğunlukla ileri istatistiksel tanımlama kriterleri bu işte faydalı olmaktadır. Patlatmalar genellikle gün içerisinde yapıldığı, histogramlardaki olay sayısının özellikle gün içerisideki belli saat aralıklarında artışından açıkça görülmektedir. En açık yöntem bütün gün içerisi patlatmaları çıkarmaktır. Bununla birlikte bu yaklaşım kullanılabilen veri sayısını yaklaşık olarak % 50 oranında azalmaktadır (Wiemer and Baer, 2000). Bu yöntemde bazı gün içi tektonik kaynaklı depremler de kaçınılmaz olarak veri setinden çıkarılmaktadır.

Gün içi zamanı/gece zamanı olayları oranı (daytime/nighttime ratio) olarak tanımlanan Rq olasılıkla patlatma lokasyonlarını tanımlayabilir. Kullanılan algoritma bu temele dayanır, böylece gün içi olaylar ki bunlar büyük olasılıkla bölgedeki taş ocağı patlatmalarından ve maden ocaklarından kaynaklanmaktadır. Bu Rq' nun değerinin aynı zamanda yüksek olması anlamını taşımaktadır. Böylece mikro-deprem çalışmaları içinde uygun bir şekilde kullanılabilir veri setinden taş ocağı patlatmaları ayrılabilir.

Bu konuda çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Özellikle Wüster, 1993; Zuniga ve Wiemer, 1999; Wiemer ve Katsumata, 1999; Wiemer ve Baer, 2000 genellikle taş ocağı ve benzer maden ocağı patlatmaların gündüz ve belirli saatlerde yapıldığını belirtmişlerdir. Bu tür doğal olmayan sismik olayların deprem kataloglarından ayıklanması önemli bir sorun oluşturmaktadır. Ayrıca bu olaylar bölgedeki b-değerinin de yüksek çıkmasına (b>1.5) sebep olmaktadır. Çünkü bunlar benzer ve küçük boyuttaki tekrarlanmış olayları temsil eder. Patlatmaların tanımlanması oldukça zordur. Sismik ağ operatörleri hergünkü gözlem ve değerlendirme esnasında bu işlemi yapabilirler, bu konuda sayısal veri analizi teknikleri de (waveform analysis techniques) yardımcı olur. Fakat büyük kataloglarda ve eski yıllara ait depremlerde bu işlemi yapmak zorlaşmaktadır. Depremin odak derinliği iyi bir belirleyici olabilir, ama özellikle ülkemizde meydana gelen küçük olayların ayrılabilmesi güvenilir olmayabilir. Genellikle istatistiksel tanımlama kriterleri patlatmaların gün içerisinde meydana geldiğini göstermektedir (Rydylek and Sacks,1982, 1992; Wuster, 1993; Wiemer ve Bear, 2000; Wiemer ve Wyss, 2010).

Kullanılan yöntemde önce katalogun üst büyüklük eşiği belirlenir (upper magnitude treshold). Reasenberg (1985) metodu kullanılarak artçı şok serisi çıkarılır, genellikle Wiemer ve Baer (2000) tarafından geliştirilen kod artçı şok serisini tanımlamaktadır (bir gün içerisindeki güniçi olayların % 20'sinden fazlası), bu olaylardan arındırılmış katalog açıkça onları ayıklar.

Güniçi zaman' ın gece zamanı oranı olan Rq'nın uzaysal haritası (spatial map) patlatma lokasyonlarının tanımlanmasında önemli bir algoritma olarak son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Algoritma gün içerisindeki belli zaman aralıklarında genel olarak patlatma bölgelerinde Rq' nun yüksek olduğunu göstermektedir. Bu algoritma patlatmaların ayıklanmasında uygun olabilmektedir. Gün/Gece oranı (D/N ratio) hesaplanırken her nodda 0.1^{o}x0.1^{o}'lik ayrılmış hücreler ve en yakın 100 olay kullanılmıştır. Ayrıca kataloglardan artçı şokların, tetiklenmiş depremlerin, deprem fırtınalarının vb. tamamlılık açısından gerekli ise deprem kümeleri ayıklama (de-clustering) işlemi yapılmıştır. Böylece bölgedeki deprem kümeleri (clusters) görülebilmekte ve bunlar gerekirse kataloglardan ayrılabilmektedir.

Wiemer ve Baer (2000) algoritmasının tabanı taşocağı patlatmalarının genellikle gün içinde yapıldığı esasına dayanır; güniçi zamanda meydana gelen olayların gece zamanı içerisindeki olaylara oranı (Rq), bölgenin patlatma aktivitesini belirler, bu bölgelerde oran Rq> 1.5 olarak bulunmaktadır. Aslında gündüz boyunca çevresel gürültüler deprem kayıtlarını etkilemektedir ve sayılarının azaldığı görülmektedir. Taş ocağı bakımından zengin bölgelerde tam tersi görülür; Şekil 4' de tipik saatlik olayların dağılım histogramı görülmektedir. Patlat-

ma bakımından zengin bir bölgede saatte yer alan patlatmaların dağılım dağılım histogramı Şekil4a da görülmektedir ve Şekil 4b de aynı bölgede taş ocağı patlatmaları çıkarıldıktan sonra elde edilen saatlik histogram görülmektedir (Wiemer ve Baer, 2000).

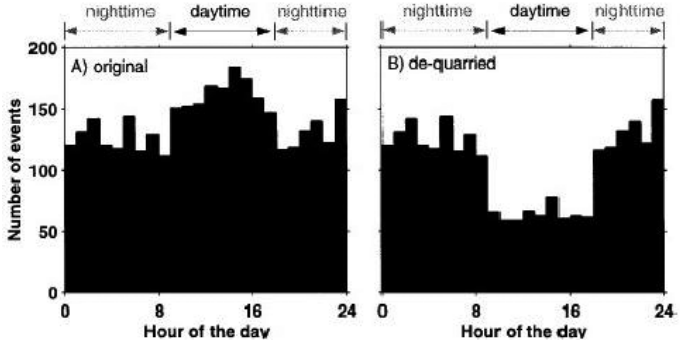
Gün içi olayları, gece zamanı olaylarına oranı Wiemer ve Baer, 2000 'e göre aşağıdaki şekilde normalize edilmiştir;

Rq=Nd Ln /(Nn Ld)

Burada, Nd güniçi meydana gelen olayların sayısı, Nn gece-zamanı boyunca meydana gelen olay sayısını vermektedir. Sırasıyla Ln, Ld her periyod içindeki saatin sayısıdır (Ln+Ld=24).

Ld gün içi saatlerin sayısı, Ln gece saatlerinin sayısı (D/N) oranı düzenli aralıklı ağ (regular spaced grid) kullanılarak hesaplanmaktadır.

Yazılım, bir kısmı açık kaynak yazılım paketi ZMAP in bir parçası olup, zamana bağlı haritada bu oran sık grid aralıkları ve örneklemeyle sadece N (N=Nd+Nn) her noda çok yakın episantrlar bütün katalogdan kullanılır. Yani farklı örnekleme aralıkları için N hesaplanır (N=Nd+Nn) ve her bir Rq (x,y,N) değeri hesaplanarak $P_{Rq\,(N)}$ ye (probability of occurence $P_{RQ(N)=}$99%) dönüştürür; eğer en önemli nod %99 güvenlik seviyesini geçerse tüm güniçi olayları silinir. Tabi ki kaçınılmaz olarak bazı güniçi tektonik depremler de bu şekilde silinmektedir. Örnekleme aralığı N_{SIZE}, serbest bir parametredir, haritalama için ve uygulanan grid aralığı N_{MIN}=50, N_{MAX}=400, N_{ADIM}=50, ile örneğin 4 farklı hesaplama yapılmıştır. Örnekleme aralığı önemlidir ve her bölgedeki veri yoğunluğu dikkate alınarak seçilmelidir. Sonuçta 3 boyutlu veri: enlem, boylam ve N_{size}.



a b

Böylece uygun nod ile yüksek ve anormal Rq oranı tanımlanır. Ayrıca artçı şok serisi içinde bu test uygulanmaktadır, çünkü ana şok ile artçı şokların büyük bir kısmı ilk gün, gün içerisindeki zamanlarda patlatmaların yoğun olduğu zaman içinde olabilir ve patlatmalara benzeyebilir.

Rq yoğunluğu hesaplanmış farklı örnek boyutları (N) için karşılaştırılmıştır, ancak yine de Rq yalnızca tek başına yeterli bir ölçüt değildir. Gözlemlenen Rq(N) değerinin ne kadar anomalitesi olduğunu saptamak için, sayısal simülasyon kullanarak Rq oranını gerçekleşme ihtimaline çevirmek gerekir.

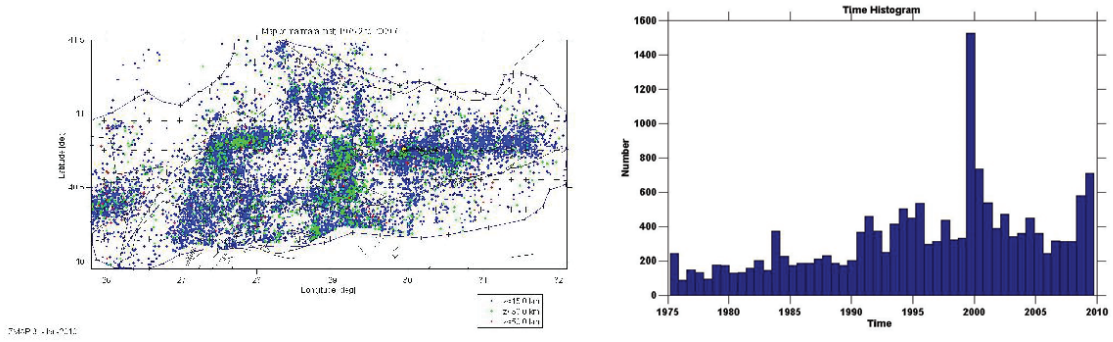
Bölge Uygulamaları (Region Applications):

1. Bölge: KB Türkiye-Marmara Bölgesi (NW Turkey-Marmara Region)

Bölgede 1975-2009 yılları arası depremler çalışma kapsamında değerlendirilmiştir (Şekil 5a,b). Seçilen periyottaki deprem sayısı 16682, Magnitüd aralığı =0.2-7.7, Derinlik =0-50 km.' dir. Depremlerin yıllara göre dağılımında, özellikle 1999 depremleri sonrası birikimli olarak bir artış görülmektedir (Şekil 6a,b). Bu birikimli sismik moment diyagramında da net olarak görülebilmektedir.

Ayrıca 1977-1999, 1999-2009 yılları arası mukayesesi yapılmıştır. Burada gözlenen 1975-1999

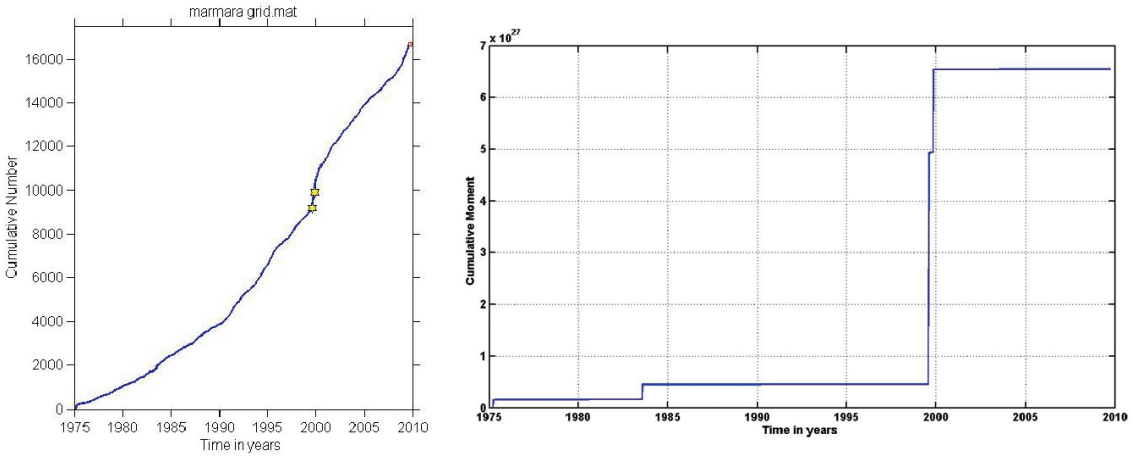
arası Mc yaklaşık 3.0 olmasına rağmen 1999-2009 arası hassasiyet daha çok artmıştır. 2 dönem arasındaki değişim yaklaşık %98 olarak gözlenmiştir. b-değerinin büyüklükle değişiminde özellikle büyüklüğü M=1-3 arası depremlerde hata barlarının oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir. b-değerinin zaman içerisindeki değişimi özellikle 1999-2009 yılları arası oldukça değişken ama hata limitlerinin düşük olduğu görülmüştür. Frekans-Magnitüd Dağılımı 2 ayrı yöntem kullanılarak bulunmuştur. Bunlar Maximum Likelihood (MLM; Wiemer, 2001; Wiemer Schorlemmer, 2007) ve Entire Magnitude Range (EMR; Woessner ve Wiemer, 2005) methodlarında veri F-M kanununa göre güvenli bulunmuştur. Deprem tamamlılık haritası özellikle Marmara Denizi'nin tamamında ortalama Mc nin 2.7 olduğunu, ancak batıya ve doğuya gittikçe hassasiyetin azaldığını (Mc=3.1-3.2) göstermektedir (Şekil 7a,b).



a **b**

Şekil 5. a) Bölgenin deprem etkinliği haritası ; **b)** Depremlerin yıllara göre dağılımı.

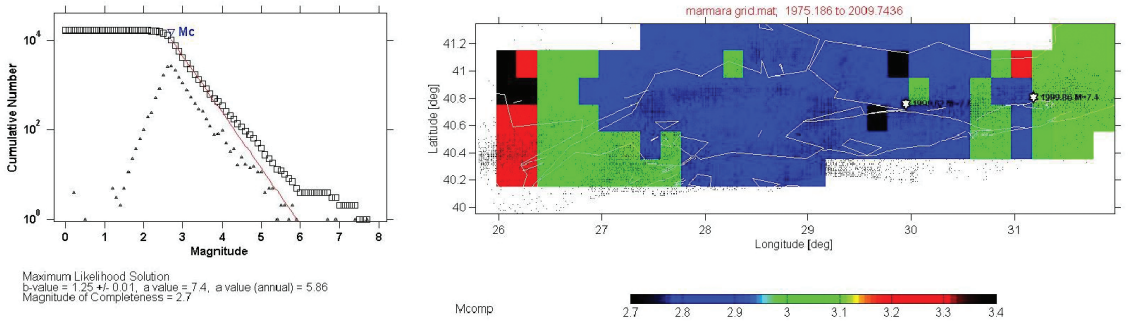
Figure 5. a) Seismicity map of the region ; **b**) The distribution of earthquakes per year.



a **b**

Şekil 6. a) Deprem oluş sayısı –zaman ilişkisi; **b)** Açığa çıkan sismik moment-zaman ilişkisi.

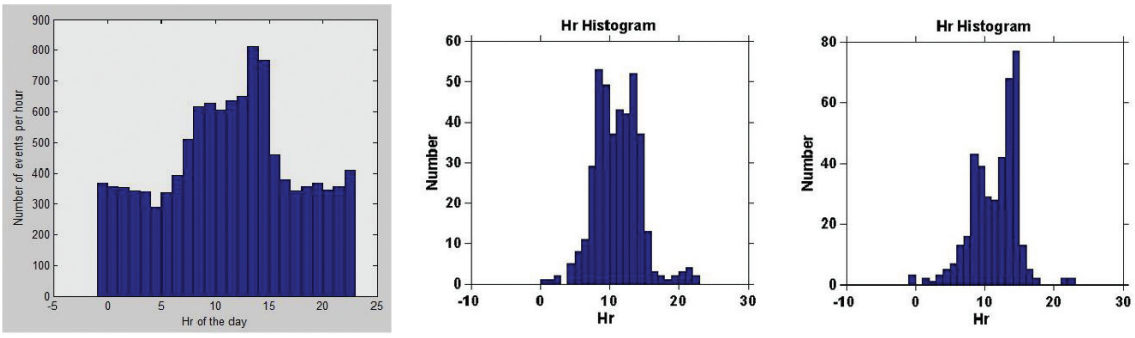
Figue 6. a) The relationship of occurence number of earthquakes-time; **b)** The release of seismic moment-time relationship. Cumulative number of the selected earthquakes as a function of time.



a **b**

Şekil 7. a) Bölgedeki F-M ilişkisi, b, a, Mc değeri ; **b.** Bölgenin büyüklük tamamlılık haritası.

Figure 7. a) F-M relationship for region, b, a, Mc value. Frequency magnitude distribution of the over-all catalog. Plotted is both the cumulative (squares) and non-cumulative form (triangles); **b)** Magnitude of completeness Mc Map of the region.



c **d**

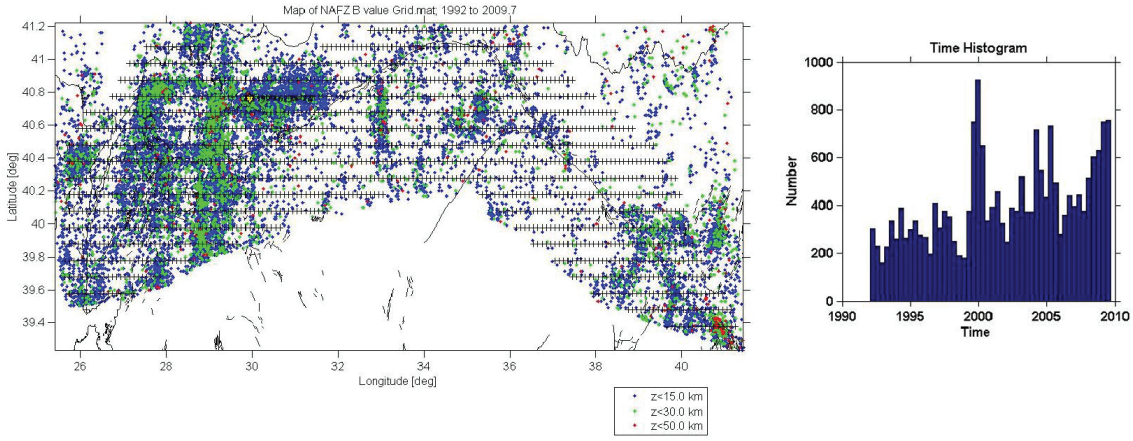
Şekil 7. c) Bölgedeki gün içerisindeki saatlik olay sayısı; **d)** Bölgedeki taş ocağı mevkilerindeki güniçi olay sayısındaki değişim örneği

Figure 7. c) The number of events within hours of the day in the region; **d)** Sample of daily variations of the number of events in the quarry blast region.

De-clustering işlemi Reasenberg (1975) metodu kullanılarak yapılmıştır. De-clustering sonucu bölgede 554 küme (cluster) bulunmuş olup, işlem sonucu kalan datadan, patlatmalar ayıklanmıştır. Böylece patlatmalardan ayıklanmış katalog datası (de-quarry catalog) oluşturulmuştur. Bunla ilgili data bilgisi Sonuç kısmında Tablo 1-2' de verilmiştir. Aşağıda patlatmalar ayıklanmadan ve patlatmalar ayıklandıktan sonraki ve patlatma mevkinden gün içi deprem sayısını gösteren örnek histogramlar verilmiştir (Şekil 7c, d).

2. Bölge: Kuzey Anadolu Fay Zonu (North Anatolian Fault Zone NAFZ)

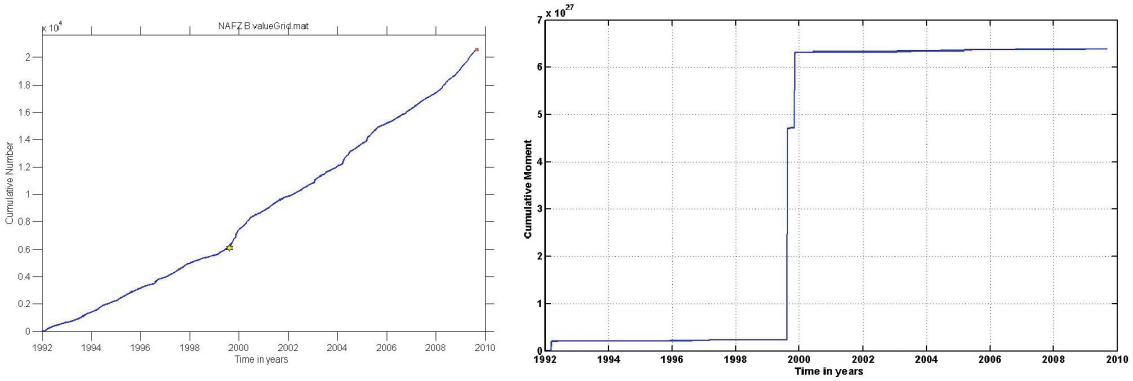
Bölgede 1992-2009 yılları arası depremler çalışma kapsamında değerlendirilmiştir (Şekil 8). Bölgedeki deprem sayısı 20572, Magnitüd aralığı=1.2-7.7, Derinlik =0-50 km. seçilmiştir. Depremlerin yıllara göre dağılımında, 1999 depremleri sonrası biraz değişse de düzenli bir artış görülmektedir. Bu açığa çıkan birikimli sismik moment diyagramında daha net olarak görülebilmektedir (Şekil 9a,b).



a **b**

Şekil 8. a) Bölgenin deprem etkinliği haritası; **b)** Depremlerin yıllara göre dağılımı.

Figure 8. a) Seismicity map of the region ; **b)** The distribution of earthquakes per year.

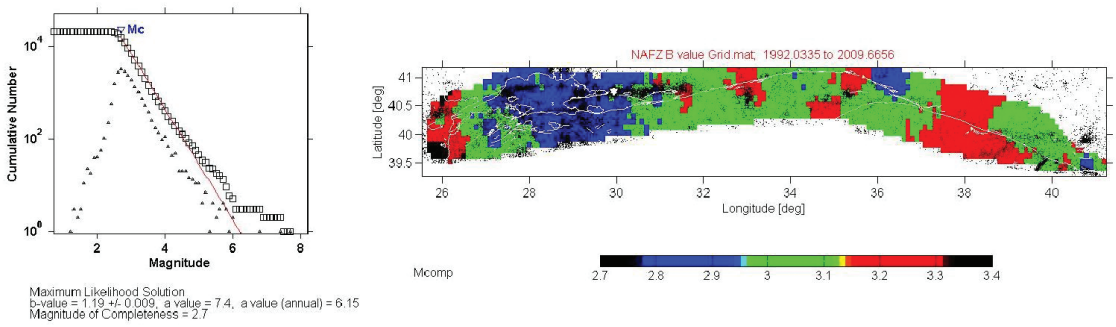


a **b**

Şekil 9. a) Deprem oluş sayısı –zaman ilişkisi; **b)** Açığa çıkan sismik moment-zaman ilişkisi.

Figure 9. a) The relationship of occurence number of earthquakes-time; **b)** The release of seismic moment-time relationship.

Ayrıca 1992-2004, 2004-2009 yılları arası karşılaştırılması yapılmıştır. Burada gözlenen her iki dönemde de Mc yaklaşık 2.5 olmasına rağmen 2004-2009 arası hassasiyet özellikle 2.5-3.5 arası deprem sayısındaki artıştır. 2 dönem arasındaki değişim yaklaşık %49.3 olarak gözlenmiştir. b-değerinin büyüklükle değişiminde özellikle büyüklüğü M=1-2.5 arası depremlerde hata barlarının oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir. b-değerinin zaman içerisindeki değişimi özellikle 2000-2009 yılları arası çok değişken olmadığı görülmüştür. Frekans-Magnitüd Dağılımı güvenirliği FMD (MLM ve EMR göre) güvenli bulunmuştur (Şekil 10a). Deprem tamamlılık haritası tüm bölgede tamamlılık magnitüdü (Magnitude of Completeness) Mc=2.7-3.3 arasında değişmektedir. Özellikle Marmara Denizinin tamamında ortalam Mc 2.7 olmakla birlikte NAFZ boyunca genel olarak Mc=3.0-3.3 arasında değiştiği görülmüştür (Şekil 10b).



a **b**

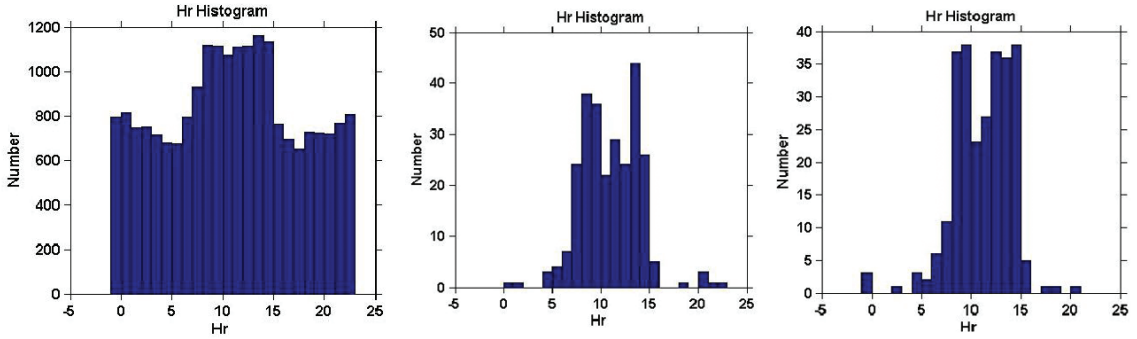
Şekil 10. a) Bölgedeki F-M ilişkisi, b, a, Mc değeri; **b)** Bölgenin büyüklük tamamlılık Haritası.

Figure 10. a) F-M relationship for region, b, a, Mc value; **b)** Magnitude of completeness Mc Map of the region.

De-clustering işlemi sonucu bölgede 681 küme (cluster) bulunmuş olup, işlem sonucu kalan datadan, patlatmalar ayıklanmıştır. Böylece patlatmalardan ayıklanmış katalog datası oluşturulmuştur (de-quarry catalog). Bunla ilgili data bilgisi Tablo 1-2' de verilmiştir. Aşağıda patlatmalar ayıklanmadan ve patlatmalar ayıklandıktan sonraki ve patlatma mevkinden gün içi deprem sayısını gösteren örnek histogramlar verilmiştir (Şekil 11a,b).

3. Bölge: Batı Anadolu (Western Turkey)

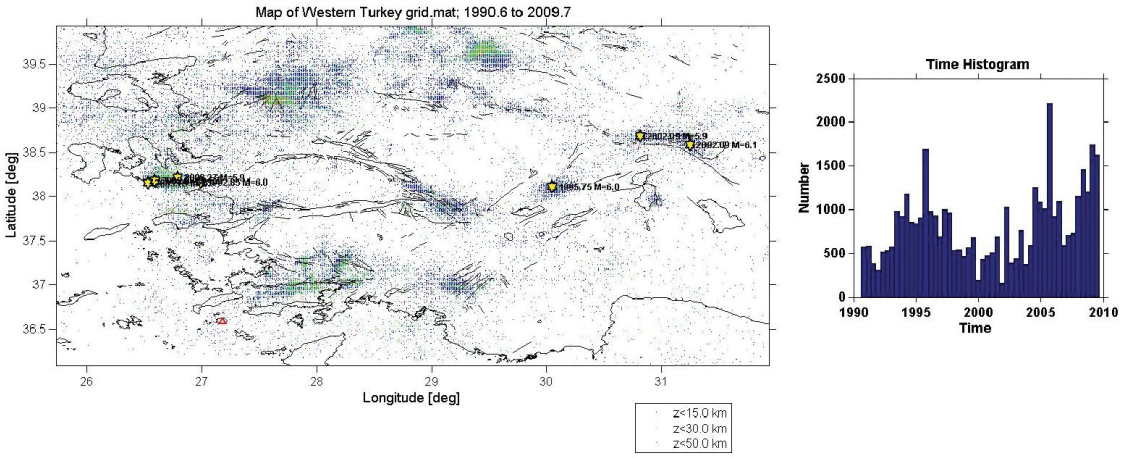
Bölgede 1990-2009 yılları arası depremler çalışma kapsamında değerlendirilmiştir (Şekil 12a,b). Seçilen bölgedeki deprem sayısı 40957, Magnitüd aralığı =0.3-6.1, Derinlik =0-50 km. seçilmiştir.



a **b**

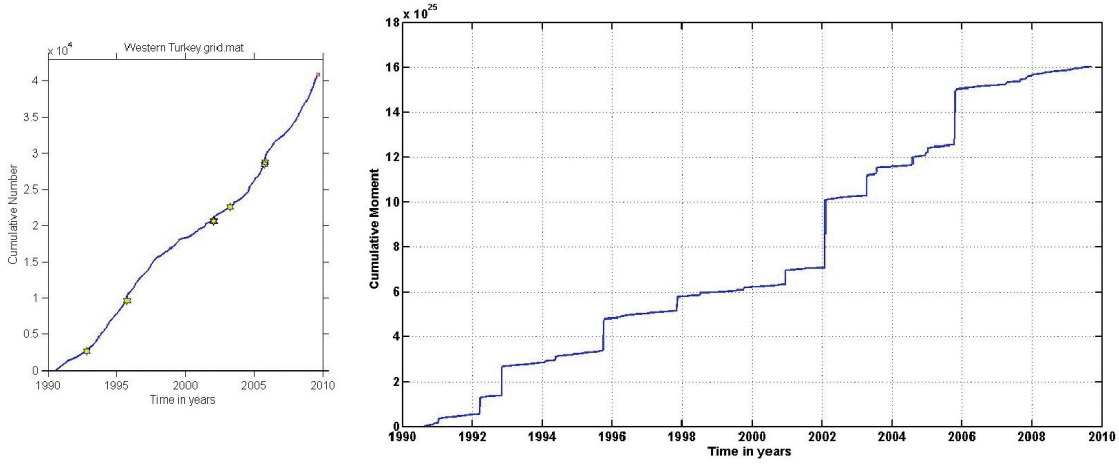
Şekil 11. a) Bölgedeki gün içerisindeki saatlik olay sayısı; **b)** Bölgedeki taş ocağı mevkilerindeki güniçi olay sayısındaki değişim örneği.

Figure 11. a) The number of events within hours of the day in the region; **b)** Sample of daily variations of the number of events in the quarry blast region.



a **b**

Şekil 12. a) Bölgenin deprem etkinliği haritası; **b)** Depremlerin yıllara göre dağılımı.
Figure 12. a) Seismicity map of the region; **b)** The distribution of earthquakes per year.



a **b**

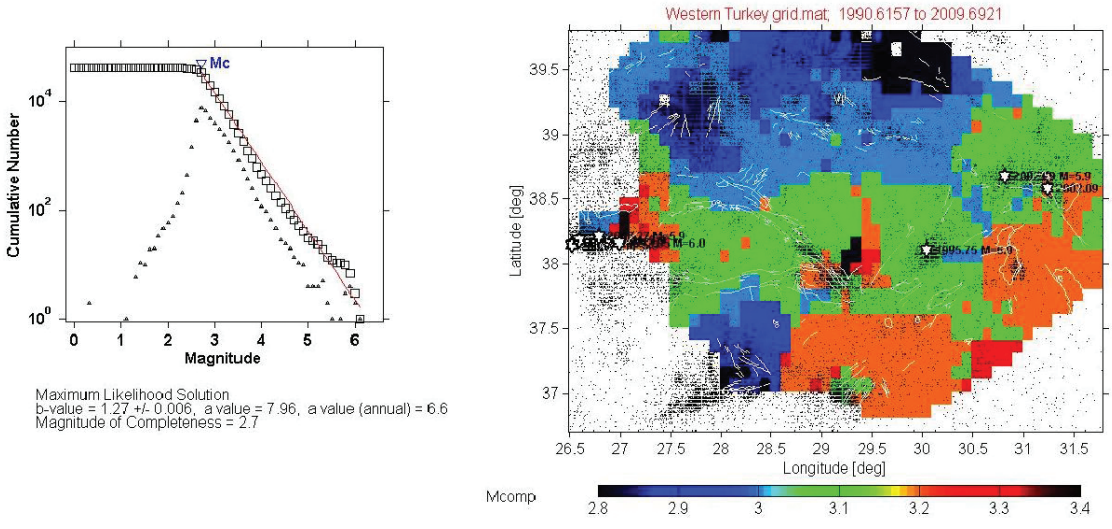
Şekil 13. a) Deprem oluş sayısı –zaman ilişkisi; **b)** Açığa çıkan sismik moment-zaman ilişkisi.
Figure 13. a) The relationship of occurence number of earthquakes-time; **b)** The release of seismic moment-time relationship.

Deprem oluş sayısında yıllara göre düzenli bir artış görülmektedir. Açığa çıkan kümülatif sismik moment de de düzenli sayılabilecek basamaklı bir artışın olduğu gözlenmiştir (Şekil 13a,b).

Ayrıca 1990-2000, 2000-2009 yılları arası katalogun mukayesesi yapılmıştır. Burada gözlenen her iki periyotta deprem dağılımının nispeten uygun olduğu veri sayısının özellikle büyüklüğü M=2.5-3.5 arası depremlerde artış ve 2 dönem arası değişim %22.9 olarak gözlenmiştir.

Her iki dönem Mc =2.7 olarak bulunmuştur. b-değerinin büyüklükle değişiminde özellikle büyüklüğü M=0.3-2.7 arası depremlerde hata barlarının yüksek olduğu gözlenmiştir. b-değerinin zaman içerisindeki değişimi 1990-1998 yılları arası oldukça değişken olduğu görülmüştür. Frekans-Magnitüd Dağılımı güvenirliği FM kanununa göre güvenli bulunmuştur. b-değeri =1.27, a değeri =7.96 ; Mc=2.7 (Şekil 14a). Bölgenin büyüklük tamamlılık haritası (Magnitude of completeness)

çıkartılmış, Mc =2.9-3.3 arasında değiştiği, özellikle güney batıya doğru hassasiyetin düştüğü Mc'in 3.2-3.3 lere çıktığı görülmüştür (Şekil 14b).



a **b**

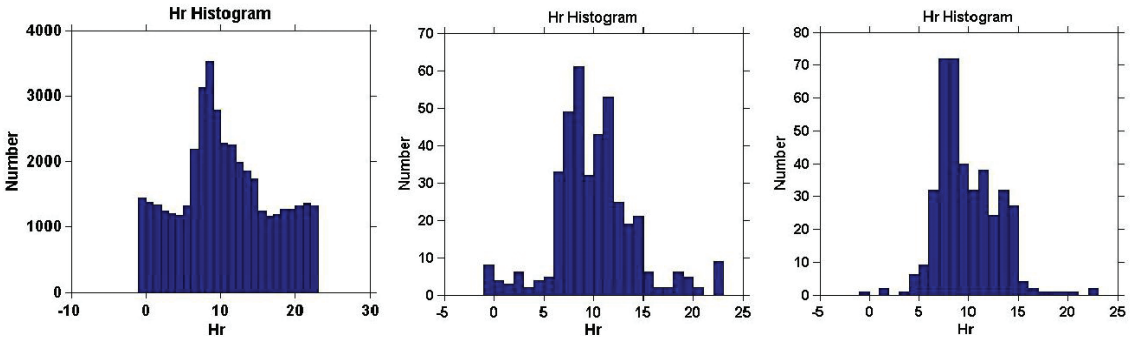
Şekil 14. a) Bölgedeki F-M ilişkisi, b, a, Mc değeri; **b)** Bölgenin büyüklük tamamlılık Haritası.

Figure 14. a) F-M relationship for region, b, a, Mc value; **b)** Magnitude of completeness Mc Map of the region.

De-clustering işlemi sonucu bölgede 1741 küme (cluster) bulunmuş olup, işlem sonucu kalan datadan, patlatmalar ayıklanmıştır. Böylece patlatmalardan ayıklanmış katalog datası oluşturulmuştur (de-quarry catalog). Bunla ilgili data bilgisi Tablo 1-2' de verilmiştir. Aşağıda patlatmalar ayıklanmadan ve patlatmalar ayıklandıktan sonraki ve patlatma mevkinden gün içi deprem sayısını gösteren örnek histogramlar verilmiştir (Şekil 15a,b).

4.Bölge : Doğu Anadolu Fay Zonu (East Anatolian Fault Zone)

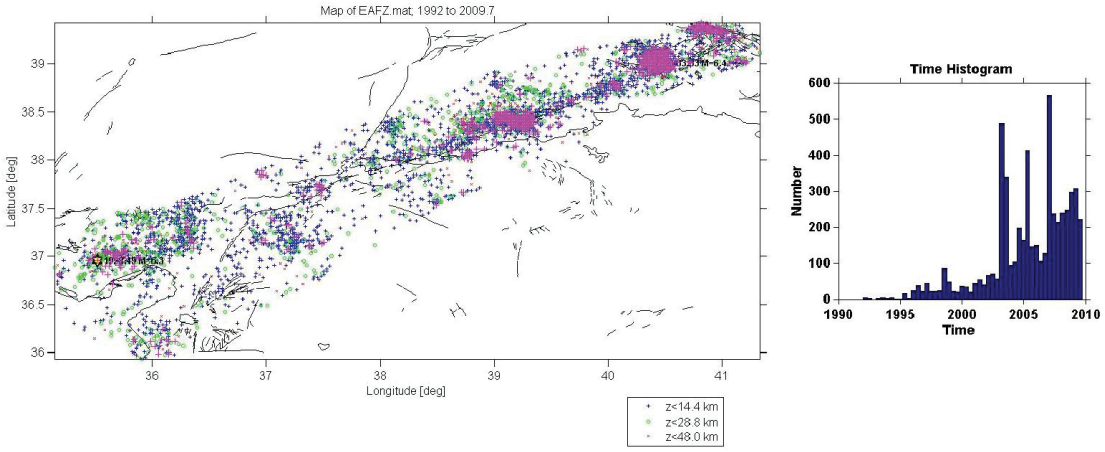
Bölgede 1992-2009 yılları arası depremler çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Seçilen bölgedeki deprem sayısı 5480, Magnitüd aralığı = 0.7- 6.4, Derinlik =0- 48 km. seçilmiştir (Şekil 16). Bölgedeki deprem sayısında özellikle 2003 sonrası önemli bir artış görülmektedir. Burada bölgede kurulan deprem istasyonlarının artışının önemi büyüktür (Şekil 16b).



a **b**

Şekil 15. a) Bölgedeki gün içerisindeki saatlik olay sayısı; **b)** Bölgedeki taş ocağı mevkilerindeki güniçi olay sayısındaki değişim örneği.

Figure 15. a) The number of events within hours of the day in the region; **b)** Sample of daily variations of the number of events in the quarry blast region.



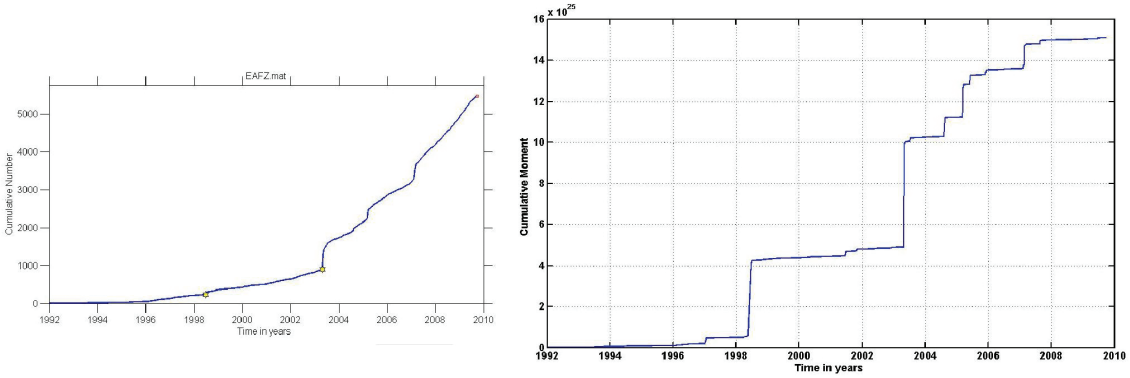
a **b**

Şekil 16. a) Bölgenin deprem etkinliği haritası ; **b)** Depremlerin yıllara göre dağılımı.
Figure 16. a) Seismicity map of the region; **b**) The distribution of earthquakes per year**.**

Deprem oluş sayısının yıllara göre dağılımında 2003 yılı sonrası önemli miktarda bir artış görülmektedir. Açığa çıkan kümülatif sismik moment de de 1998 ve 2003 yılları sonrası büyük miktarda basamaklı bir artışın olduğu gözlenmiştir (Şekil 17a,b).

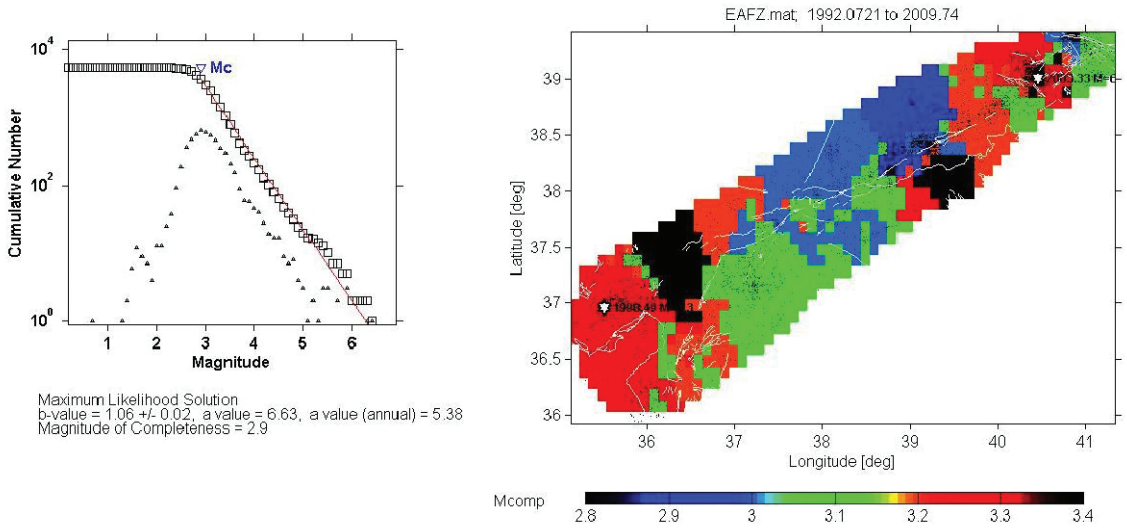
Ayrıca 1992-2004, 2004-2009 yılları arası katalogun mukayesesi yapılmıştır. Burada gözlenen her iki periyotta büyüklük tamamlılığın Mcomp 3.1 den 2.6 ya düştüğü, deprem dağılımının nispeten uygun olduğu veri sayısında özellikle büyüklüğü M=2.1-3.2 arası depremlerde önemli artış olduğu ve 2 dönem arası değişim %352.0 olarak gözlenmiştir.

Bölge için Mc =2.7 olarak bulunmuştur. b-değerinin büyüklükle değişiminde özellikle büyüklüğü M=0.7-2.7 arası depremlerde hata barlarının çok yüksek olduğu gözlenmiştir. b-değerinin zaman içerisindeki değişimi özellikle 1999-2003 yılları arası oldukça değişken olduğu görülmüştür. Ayrıca b-değerinin özellikle son yıllarda yükseldiği görülmüştür. Bunda bölgedeki ekonomik kaynaklı taş-ocakları ile ilgili olayların etkisi olduğu düşünülmektedir. Frekans-Magnitüd dağılımı (FMD) güvenirliği uygulanan metodlara (ML ve EMR Metods) ve F-M Kanununa göre güvenli bulunmuştur. b-değeri =1.06, a değeri =6.63 ; Mc=2.9 (Şekil 18a). Bölgenin büyüklük tamamlılık haritası çıkartılmış, Mc =2.8-3.4 arasında değiştiği, özellikle güneybatıya ve kuzeydoğuya doğru hassasiyetin düştüğü Mc'un 3.1-3.3 lere çıktığı görülmüştür (Şekil 18b).



a **b**

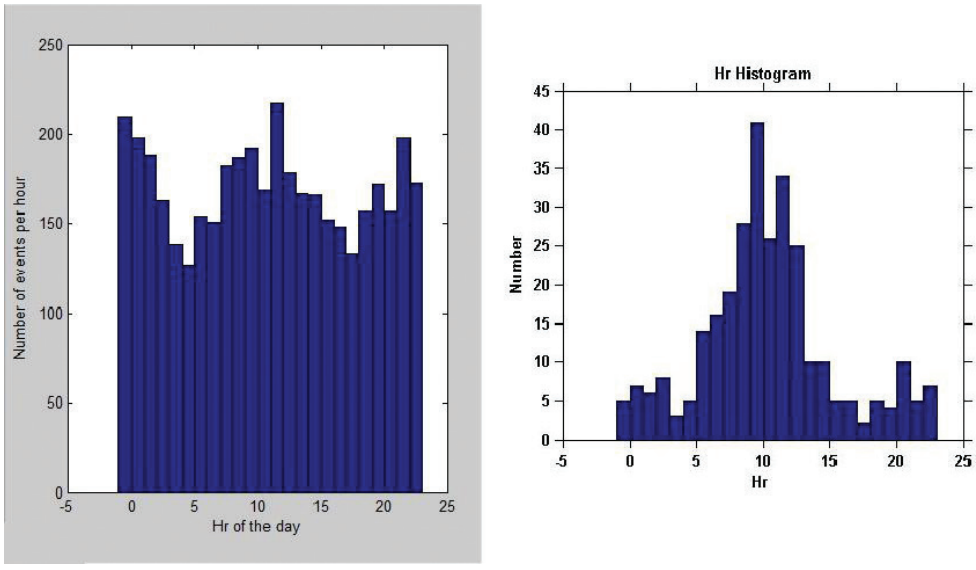
Şekil 17. a) Deprem oluş sayısı –zaman ilişkisi; **b)** The relationship of occurence number of earthquakes-time.
Figure 17. a) Açığa çıkan sismik moment-zaman ilişkisi; **b**) The release of seismic moment-time relationship.



a **b**

Şekil 18. a) Bölgedeki F-M ilişkisi, b, a, Mc değeri ; **b)** Bölgenin büyüklük tamamlılık Haritası.

Figure 18. a) F-M relationship for region, b, a, Mc value; **b)** Magnitude of completeness Mc Map of the region.



a **b**

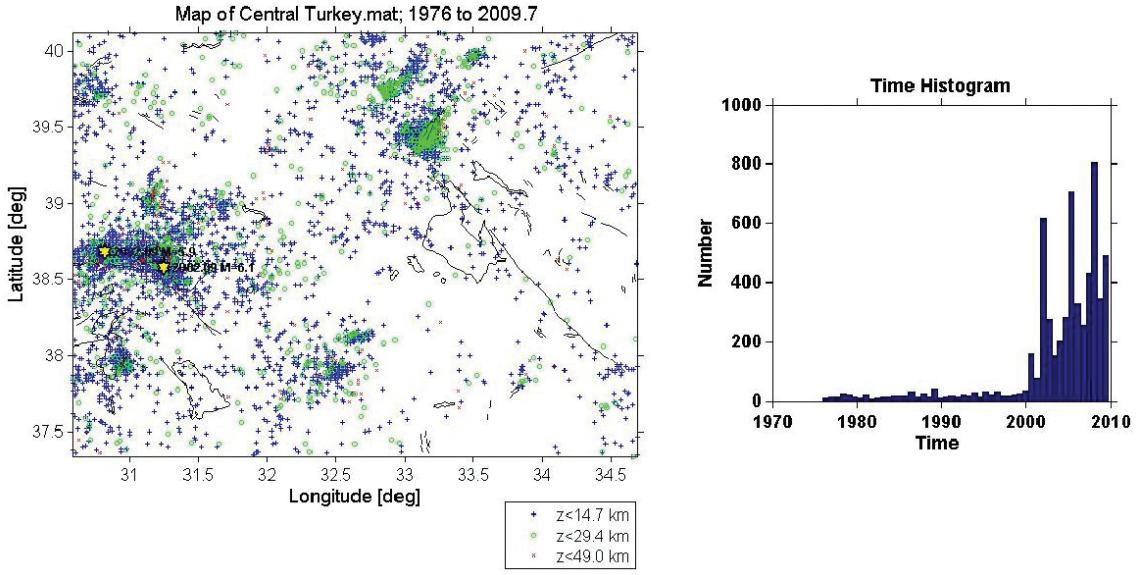
Şekil 19. a) Bölgedeki gün içerisindeki saatlik olay sayısı; **b)** Bölgedeki taş ocağı mevkilerindeki güniçi olay sayısındaki değişim örneği.

Figure 19. a) The number of events within hours of the day in the region; **b**) Sample of daily variations of the number of events in the quarry blast region.

De-clustering işlemi sonucu bölgede 147 küme (cluster) bulunmuş olup, işlem sonucu kalan datadan, patlatmalar ayıklanmıştır. Böylece patlatmalardan ayıklanmış katalog datası (de-quarry catalog) oluşturulmuştur. Bunla ilgili data bilgisi Tablo 1-2' de verilmiştir. Aşağıda patlatmalar ayıklanmadan ve patlatmalar ayıklandıktan sonraki ve patlatma mevkinden gün içi deprem sayısını gösteren örnek histogramlar verilmiştir (Şekil 19).

5.Bölge : İç Anadolu-Türkiye (Central Turkey) Bölgede 1976-2009 yılları arası depremler

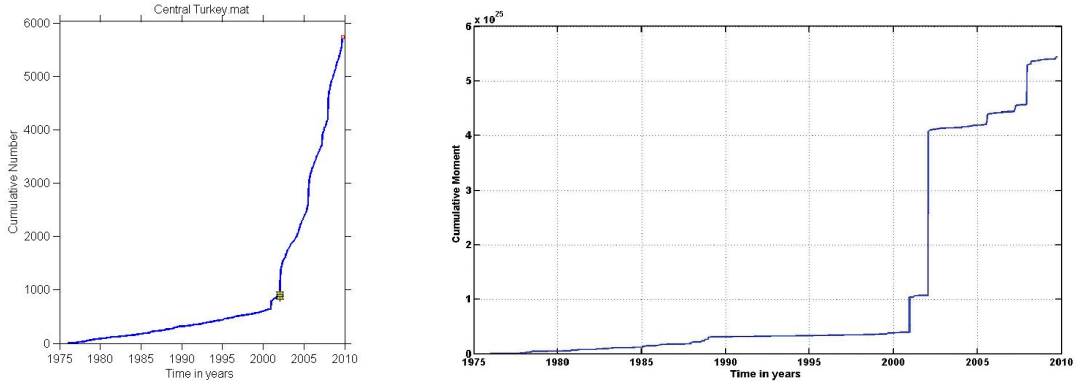
çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Seçilen bölgedeki deprem sayısı 5741, Magnitüd aralığı = 0.2- 6.1, Derinlik =0- 49 km. seçilmiştir (Şekil 20a). Bölgedeki deprem sayısında özellikle 2000 yılı sonrası önemli bir artış görülmektedir. Burada da bölgede kurulan deprem istasyonlarının artışının önemi büyük olmuştur (Şekil 20b).



a **b**

Şekil 20. a) Bölgenin deprem etkinliği haritası; **b**) Depremlerin yıllara göre dağılımı**.**

Figure 20. a) Seismicity map of the region; **b)** The distribution of earthquakes per year.



a **b**

Şekil 21. a) Deprem oluş sayısı –zaman ilişkisi; **b)** Açığa çıkan sismik moment-zaman ilişkisi.

Figure 21. b) The relationship of occurence number of earthquakes-time; **b)** The release of seismic moment-time relationship.

Deprem oluş sayısının yıllara göre dağılımında 1976-2000 yılları arası oldukça az olmasına rağmen 2000 yılı sonrası önemli miktarda bir artış görülmektedir. Açığa çıkan kümülatif sismik moment de de 2002 yılı sonrası çok büyük miktarda basamaklı bir artışın olduğu gözlenmiştir (Şekil 21a,b).

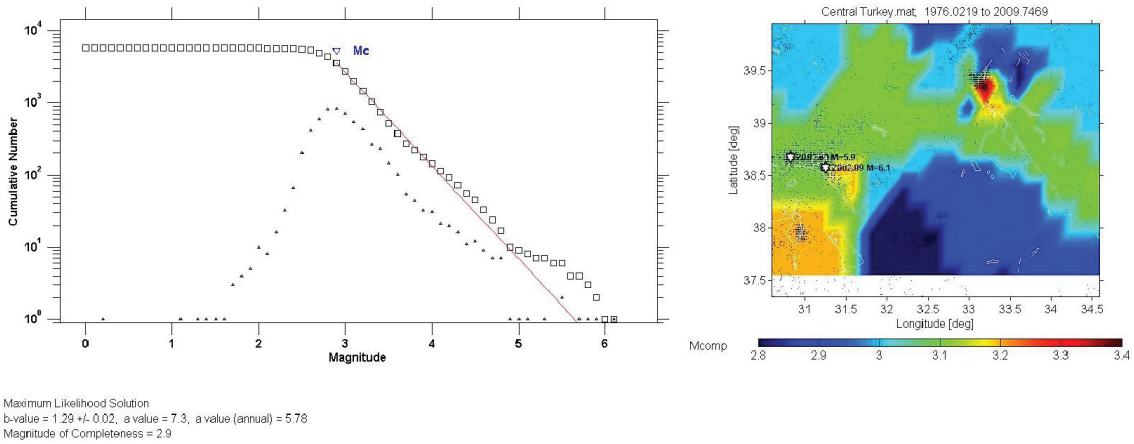
Ayrıca 1976-2004, 2004-2009 yılları arası katalogun mukayesesi yapılmıştır. Burada gözlenen her iki periyotta büyüklük hassasiyetinin 2.9 dan 2.6 ya düştüğü, her iki periyot arasında deprem dağılımında önemli fark olduğu, veri sayısında özellikle büyüklüğü M=2.3-3.2 arası depremlerde önemli

artış olduğu ve 2 dönem arası değişim %1125.7 olarak gözlenmiştir. Bölge için Mc=2.9 olarak bulunmuştur. b-değerinin büyüklükle değişiminde özellikle büyüklüğü M=0.2-2.7 arası depremlerde hata barlarının çok yüksek olduğu gözlenmiştir. b-değerinin zaman içerisindeki değişimi özellikle 2001 yılı sonrası değişken olduğu görülmüştür. Ayrıca b-değerinin özellikle son yıllarda yükseldiği görülmüştür. Frekans-Magnitüd dağılımı (FMD) güvenirliği F-M kanununa göre güvenli bulunmuştur. b-değeri =1.29, a değeri =7.3 ; Mc=2.9 (Şekil 22a). Bölgenin büyüklük tamamlılık haritası (Magnitude of completeness) çıkartılmış, Mc =2.8-3.4 arasında değiştiği, özellikle güneybatıya ve Afyon-Tuz Gölü bölgesine doğru hassasiyetin düştüğü Mcomp'un 3.1-3.3 lere çıktığı görülmüştür (Şekil 22b).

De-clustering işlemi sonucu bölgede 174 küme (cluster) bulunmuş olup, işlem sonucu kalan datadan, patlatmalar ayıklanmıştır. Böylece patlatmalardan ayıklanmış katalog datası (de-quarry catalog) oluşturulmuştur. Bunla ilgili data bilgisi Tablo 1-2de verilmiştir. Aşağıda patlatmalar ayıklanmadan ve patlatmalar ayıklandıktan sonraki ve patlatma mevkinden gün içi deprem sayısını gösteren örnek histogramlar verilmiştir (Şekil 23).

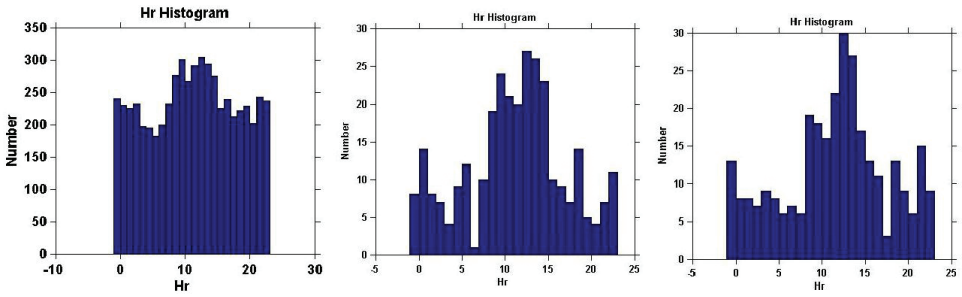
6.Bölge : Kuzeydoğu Türkiye (Northeastern Turkey)

Bölgede 1984-2009 yılları arası depremler çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Seçilen bölgedeki deprem sayısı 1726, Magnitüd aralığı = 1.8- 5.5, Derinlik =0- 48 km. seçilmiştir (Şekil 24a). Bölgedeki deprem sayısında özellikle 2004 yılı sonrası çok önemli bir artış görülmektedir. Burada bölgede 2004 yılı sonrası kurulan deprem istasyonlarının artışının önemli rolü olmuştur (Şekil 24b).



a **b**

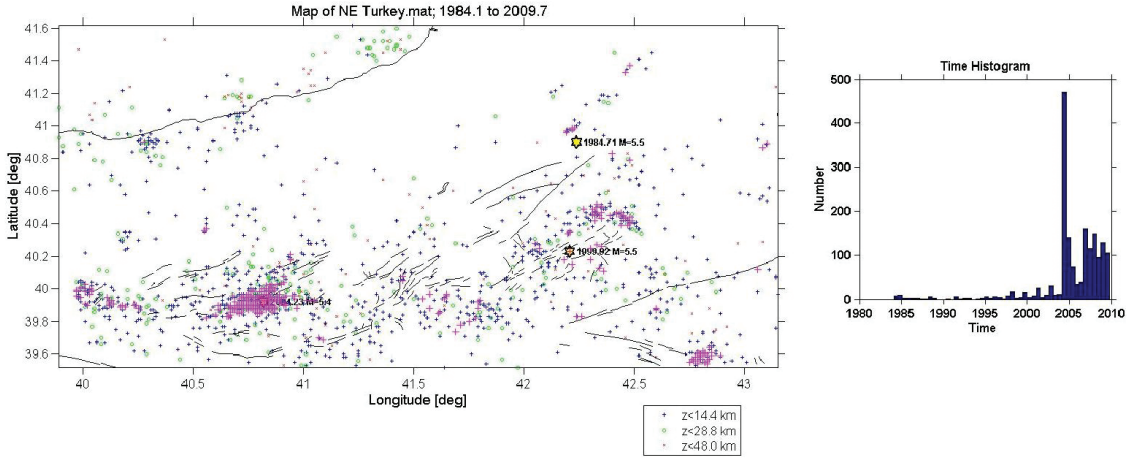
Şekil 22. a) Bölgedeki F-M ilişkisi, b, a, Mc değeri; **b)** Bölgenin büyüklük tamamlılık haritası.
Figure 22. b) F-M relationship for region, b, a, Mc value **b)** Magnitude of completeness Mc Map of the region.



a **b**

Şekil 23. a) Bölgedeki gün içersindeki saatlik olay sayısı; **b)** Bölgedeki taş ocağı mevkilerindeki güniçi olay sayısındaki değişim örneği.

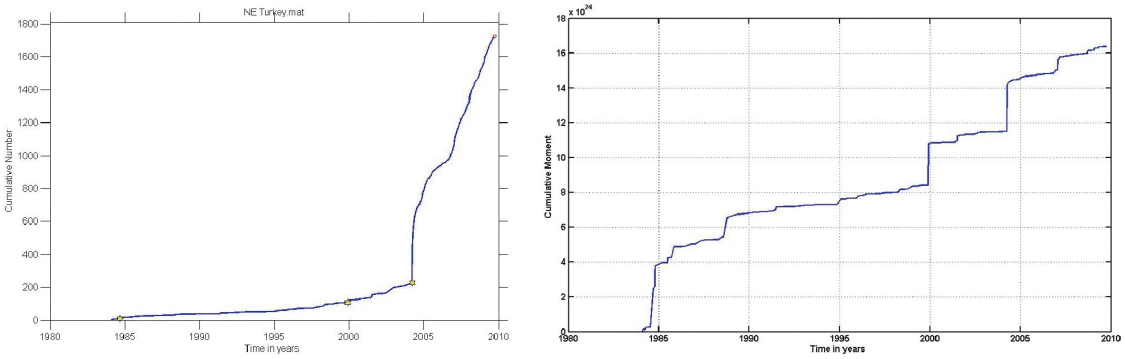
Figure 23. a) The number of events within hours of the day in the region; **b)** Sample of daily variations of the number of events in the quarry blast region.



a **b**

Şekil 24. a) Bölgenin deprem etkinliği haritası; **b)** Depremlerin yıllara göre dağılımı.

Figure 24. a) Seismicity map of the region; **b)** The distribution of earthquakes per year.



a **b**

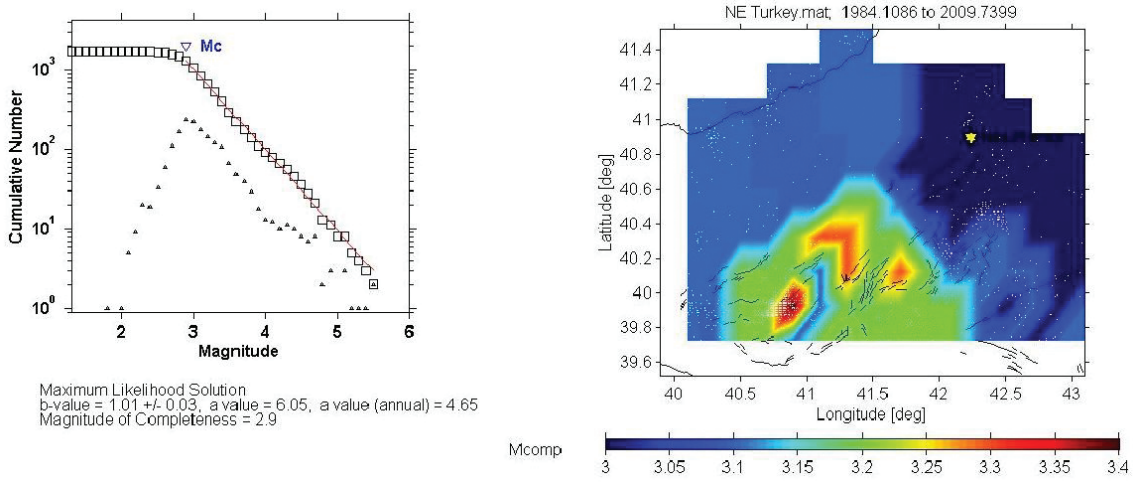
Şekil 25: a) Deprem oluş sayısı –zaman ilişkisi; **b**) Açığa çıkan sismik moment-zaman ilişkisi.

Figure 25: a) The relationship of occurence number of earthquakes-time; **b)** The release of seismic moment-time relationship.

Deprem oluş sayısının yıllara göre dağılımında 1984-2004 yılları arası çok fazla artış görülmemesine rağmen 2004 yılı sonrası önemli miktarda bir artış görülmektedir (Şekil 25a). Açığa çıkan sismik moment miktarında da 1999 ve 2004 yılları sonrası büyük miktarda basamaklı bir artışın olduğu gözlenmiştir (Şekil 25b).

Ayrıca 1984-2004, 2004-2009 yılları arası katalogun karşılaştırılması yapılmıştır. Burada gözlenen her iki periyotta büyüklük hassasiyetinin 3.4 den 2.9' a düştüğü, her iki periyot arasında deprem dağılımında önemli fark olduğu, veri sayısında özellikle büyüklüğü M=2.0-3.8 arası depremlerde önemli artış olduğu ve 2 dönem arası değişim %2294.0 olarak gözlenmiştir.

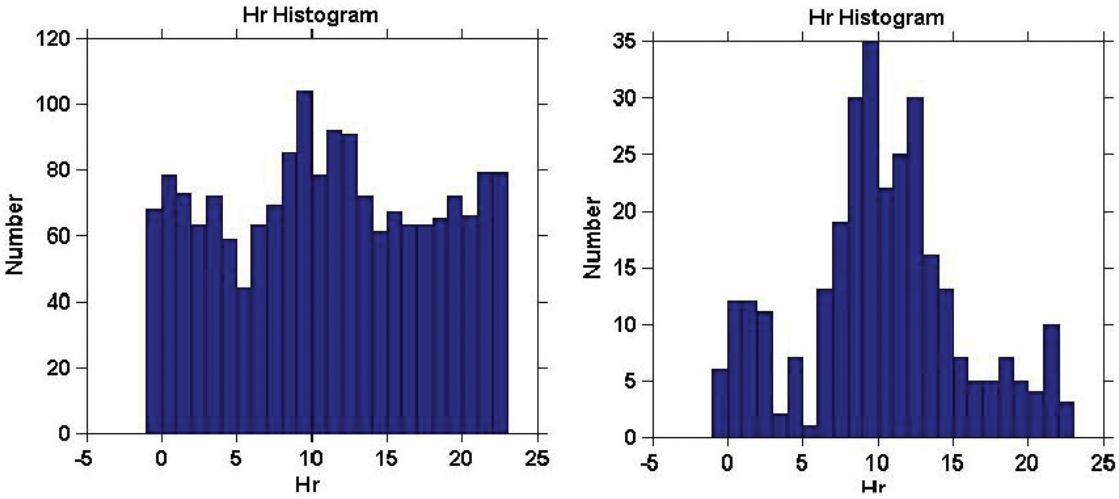
Bölge için Mc=2.9 olarak bulunmuştur. b-değerinin büyüklükle değişiminde büyüklüğü M=1.8-2.7 arası depremlerde hata barlarının çok yüksek olduğu gözlenmiştir. b-değerinin zaman içerisindeki değişimi özellikle 2005 yılı öncesi değişken olduğu görülmüştür. Ayrıca b-değerinin son yıllarda yükseldiği ve düzenli olduğu görülmüştür. Frekans-Magnitüd dağılımı (FMD) güvenirliği F-M kanununa göre güvenli bulunmuştur. b-değeri =1.01, a değeri =6.05 ; Mc=2.9 (Şekil 26a). Bölgenin büyüklük tamamlılık haritası (Magnitude of completeness Mc) çıkartılmış, Mc =3.0-3.4 arasında değiştiği, hassasiyetin Erzurum, Horasan, Narman civarlarında Mc'in 3.2-3.4' lere çıktığı görülmüştür (Şekil 26b).



a **b**

Şekil 26. a) Bölgedeki F-M ilişkisi, b, a, Mc değeri; **b)** Bölgenin büyüklük tamamlılık haritası**.**

Figure 26. a) F-M relationship for region, b, a, Mc value; **b)** Magnitude of completeness Mc Map of the region.



a b

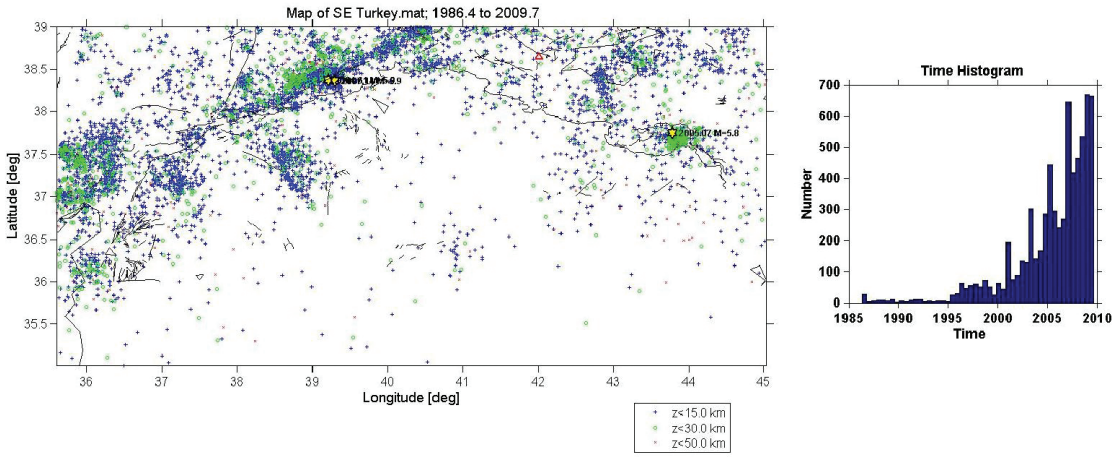
Şekil 27. a) Bölgedeki gün içerisindeki saatlik olay sayısı; **b)** Bölgedeki taş ocağı mevkilerindeki güniçi olay sayısındaki değişim örneği.

Figure 27. a) The number of events within hours of the day in the region; **b)** Sample of daily variations of the number of events in the quarry blast region.

De-clustering işlemi sonucu bölgede 55 küme (cluster) bulunmuş olup, işlem sonucu kalan datadan, patlatmalar ayıklanmıştır. Böylece patlatmalardan ayıklanmış katalog datası (de-quarry catalog) oluşturulmuştur. Bunlar ile ilgili data bilgisi Tablo 1-2de verilmiştir. Aşağıda patlatmalar ayıklanmadan ve patlatmalar ayıklandıktan sonraki ve patlatma mevkinden gün içi deprem sayısını gösteren örnek histogramlar verilmiştir (Şekil 27).

7.Bölge : Güneydoğu Türkiye (Southeastern Turkey)

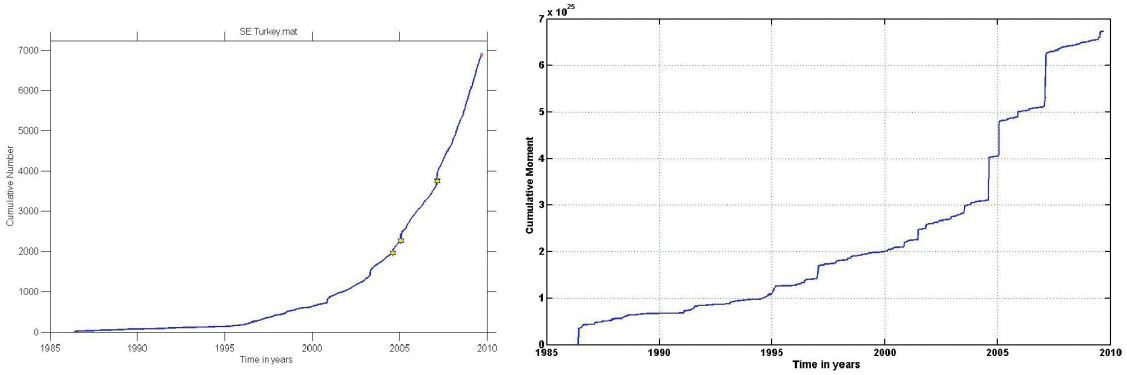
Bölgede 1986-2009 yılları arası depremler çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Seçilen bölgedeki deprem sayısı 6886, Magnitüd aralığı = 0.7- 5.9, Derinlik =0- 50 km. seçilmiştir (Şekil 28a). Bölgedeki deprem sayısında özellikle 2004 yılı sonrası çok önemli bir artış görülmektedir (Şekil 28b).



a b

Şekil 28. a) Bölgenin deprem etkinliği haritası; **b)** Depremlerin yıllara göre dağılımı.

Figure 28. a) Seismicity map of the region; **b)** The distribution of earthquakes per year.



a **b**

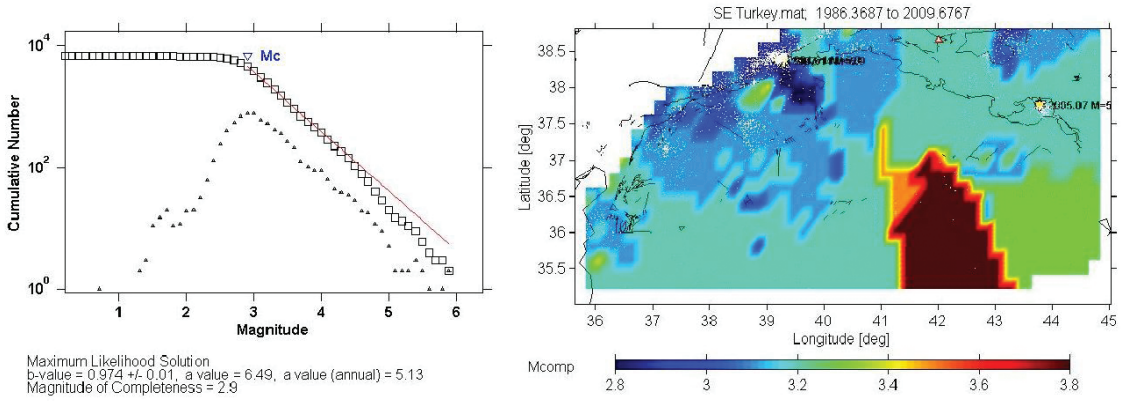
Şekil 29. a) Deprem oluş sayısı–zaman ilişkisi; **b)** Açığa çıkan sismik moment-zaman ilişkisi.

Figure 29. a) The relationship of occurence number of earthquakes-time; **b)** The release of seismic moment-time relationship.

Deprem oluş sayısının yıllara göre dağılımında 1984-1999 yılları arası çok fazla artış görülmemesine rağmen 2002 yılı ve sonrası önemli miktarda bir artış görülmektedir. Açığa çıkan sismik moment miktarında da 2004 ve 2007 yılları sonrası büyük miktarda basamaklı bir artışın olduğu gözlenmiştir (Şekil 29).

Ayrıca 1986-2002, 2002-2009 yılları arası katalogun mukayesesi yapılmıştır. Burada gözlenen her iki periyotta büyüklük hassasiyetinin M=3.1 den 2.9' a düştüğü, her iki periyot arasında deprem dağılımında önemli fark olduğu, veri sayısında özellikle büyüklüğü M=2.2-3.6 arası depremlerde önemli artış olduğu ve 2 dönem arası değişim %1041.6 olarak gözlenmiştir.

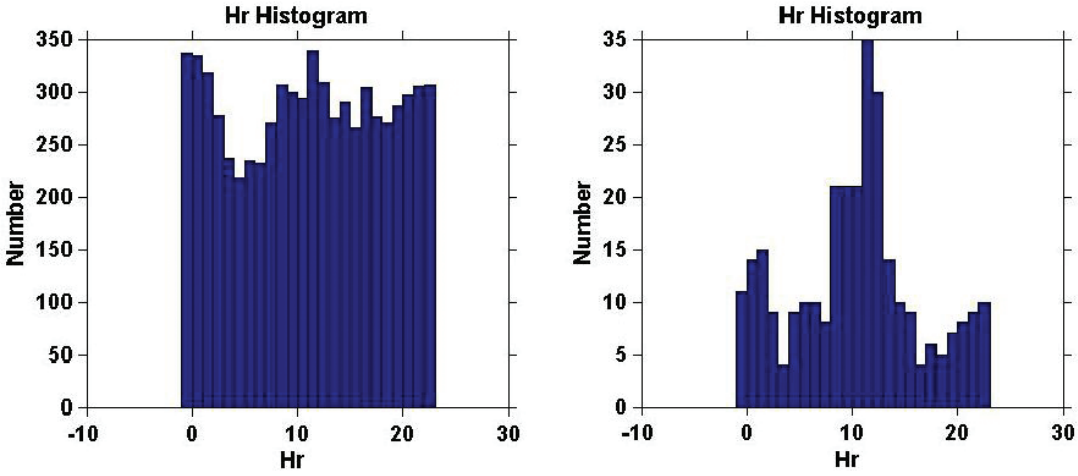
Bölge için Mc =2.9 olarak bulunmuştur. b-değerinin büyüklükle değişiminde büyüklüğü M=0.7-2.7 arası depremlerde hata barlarının çok yüksek olduğu gözlenmiştir. b-değerinin zaman içerisindeki değişimi özellikle 2004 yılı öncesi değişken olduğu görülmüştür. Ayrıca b-değerinin son yıllarda yükseldiği ve çok düzenli olmadığı görülmüştür. Frekans-Magnitüd dağılımı (FMD) güvenirliği F-M kanununa göre güvenli bulunmuştur. b-değeri =0.974, a değeri =6.49 ; Mc=2.9 (Şekil 30a). Bölgenin büyüklük tamamlılık haritası (Magnitude of completeness) çıkartılmış, Mc =2.8-3.8 arasında değiştiği, hassasiyetin güneye ve güneydoğuya indikçe özellikle Suriye sınır bölgesi civarlarında Mc'in değerinin 3.4-3.8 lere çıktığı görülmüştür (Şekil 30b).



a **b**

Şekil 30. a) Bölgedeki F-M ilişkisi, b, a, Mc değeri; **b)** Bölgenin büyüklük tamamlılık haritası.

Figure 30. a) F-M relationship for region, b, a, Mc value; **b)** Magnitude of completeness Mc Map of the region**.**



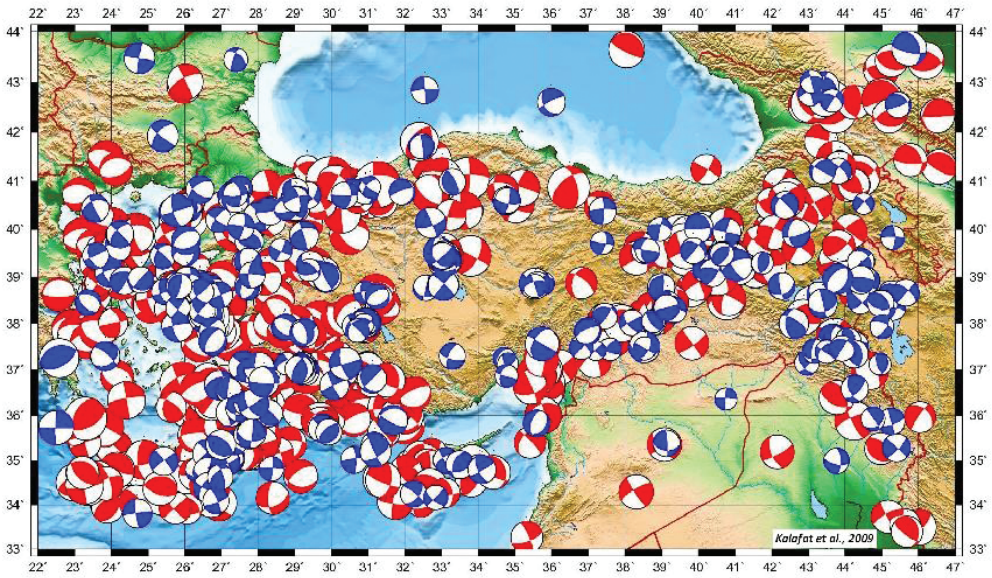
Şekil 31. a) Bölgede gün içerisindeki saatlik olay sayısı; **b)** Bölgedeki taş ocağı mevkilerindeki güniçi olay sayısındaki değişim örneği.

Figure 31. a) The number of events within hours of the day in the region; **b)** Sample of daily variations of the number of events in the quarry blast region.

De-clustering işlemi sonucu bölgede 204 küme (cluster) bulunmuş olup, işlem sonucu kalan datadan, patlatmalar ayıklanmıştır. Böylece patlatmalardan ayıklanmış katalog datası (de-quarry catalog) oluşturulmuştur. Bunla ilgili data bilgisi Tablo 1-2' de verilmiştir. Aşağıda patlatmalar ayıklanmadan ve patlatmalar ayıklandıktan sonraki ve patlatma mevkinden gün içi deprem sayısını gösteren örnek histogramlar verilmiştir (Şekil 31a,b).

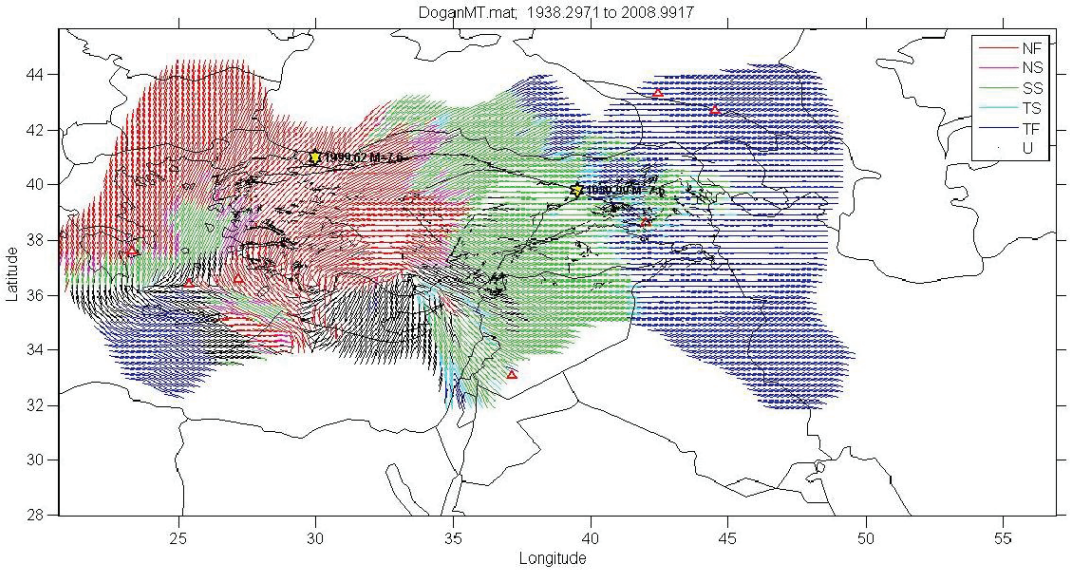
Stress Analizi

Kalafat ve diğ., 2009 tarafından hazırlanan Türkiye ve Çevresi Faylanma Mekanizması Kataloğu (MT kataloğu) konu ile ilgili olarak kullanılmıştır (Şekil 32). Önce mevcut katalog kullanılarak bölgesel faylanma tipi haritası hazırlanmıştır. Hazırlanan harita genel anlamda Türkiye'de çok farklı tektonik rejimlerin günümüz de de etkili olarak devam ettiğini ortaya koymaktadır (Şekil 33).



Şekil 32. Çalışmada kullanılan MT Kataloğu (Kalafat ve diğ., 2009).

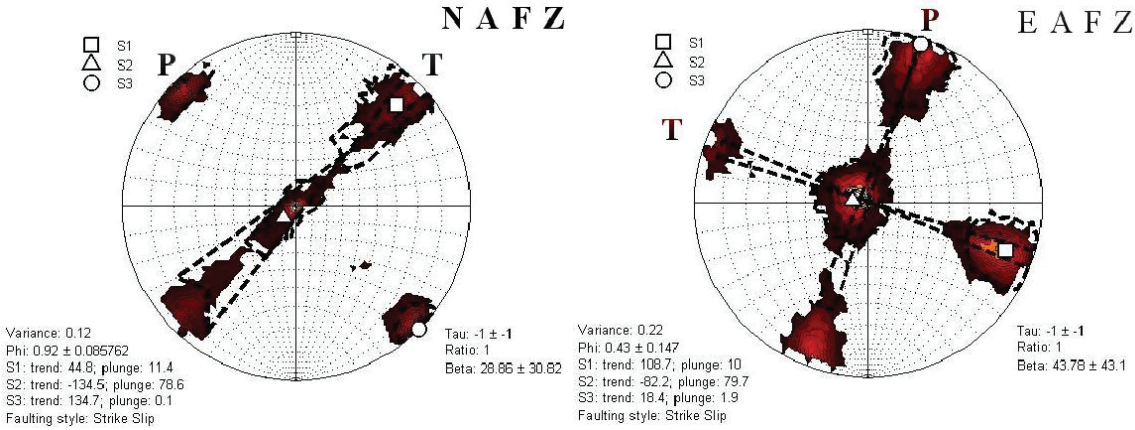
Figure 32. MT catalog used in this study (Kalafat et al., 2009).



Şekil 33. Türkiye' nin faylanma tipi haritası ve etkili olan faylanma tipleri.

Figure 33. Faulting Style Map of Turkey and Surrounding Area: Stress tensor inversion results for the Turkey and Surrounding Area.

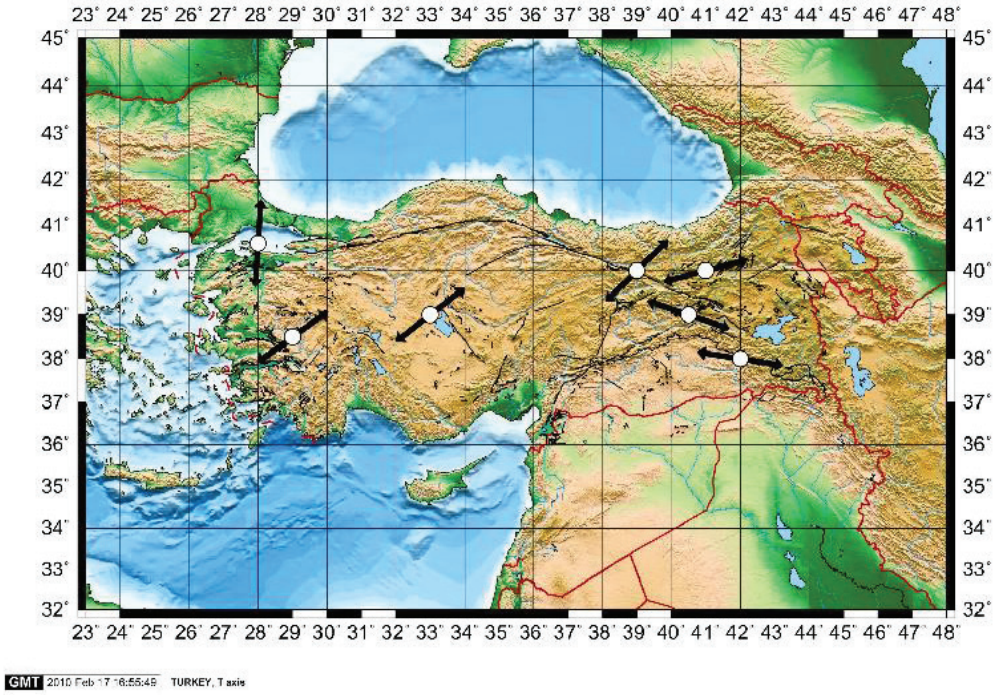
Mevcut katalog verileri daha önce belirlenen 7 ana tektonik çatı dikkate alınarak her bölge için genel stress analizi (Michael, 1987) kullanılarak yapılmıştır Buna örnek olarak KAFZ (NAFZ) ve DAFZ (EAFZ) gerilme analizleri verilmiştir (Şekil 34a,b). Ayrıca 7 ana tektonik çatı için hakim gerilme eksenleri (En büyük P, En büyük T) haritası oluşturulmuştur Şekil 35, 36).



a **b**

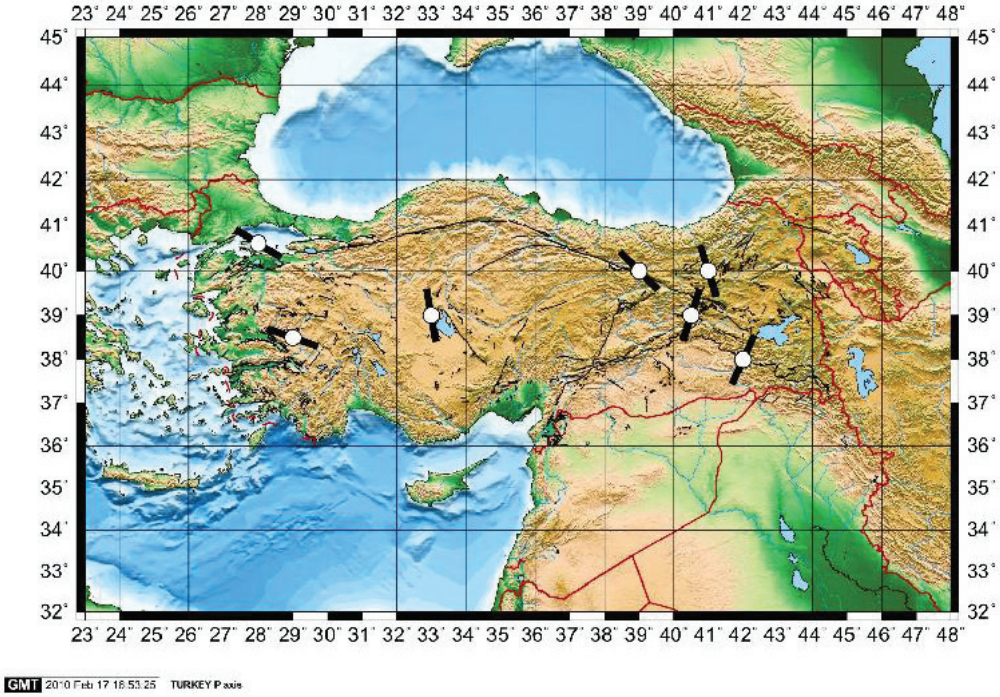
Şekil 34. a) KAFZ Gerilme Analizi Sonucu; **b)** DAFZ Gerilme Analizi Sonucu.

Figure 34. a) NAFZ Stress Analysis Results; **b)** EAFZ Stress Analysis Results.



Şekil 35. Bölgesel Gerilme Tensör Analizi (7 ana tektonik bölge için Gephard, 1990'a göre belirlenen maksimum T eksenleri; Şekil GMT (Wessel ve Smith, 1995)'de çizilmiştir.

Figure 35. The Regional stress tensor analysis: Regional main stress directions (T axis, MIN compressional deformation) for 7 main tectonic regions in Turkey. Stress analysis calculated from Gephard Method (1990).



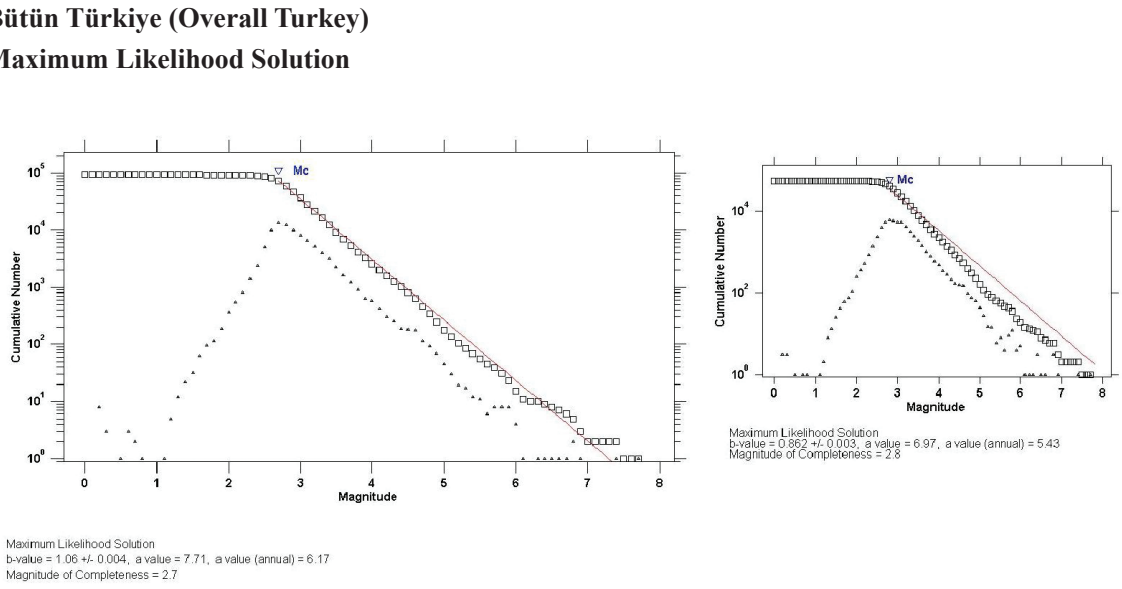
Şekil 36. Bölgesel Gerilme Tensör Analizi (7 ana tektonik bölge için Gephard, 1990'a göre belirlenen maksimum T eksenleri ; Şekil GMT (Wessel ve Smith, 1995)'de çizilmiştir.

Figure 36. The Regional stress tensor analysis : Regional main stress directions (P axis, MAX compressional deformation) for 7 main tectonic regions in Turkey. Stress analysis calculated from Gephard Method (1990).

SONUÇLAR

Her bölge için önce orijinal katalog (original catalog) verisi kullanılarak, daha sonra declustering ve dequarry işlemi yapılarak ayıklanmış katalog verisinden (dequarry catalog) b-değerleri hesaplanmıştır. Tüm Türkiye'de 1975-2009 yılları arası toplam 3426 deprem kümesi (clusters) bulunmuştur. Ayrıca Tablo1-ve 2 de verildiği gibi, kullanılan toplam veri sayısı, Mc, a- değerleri hesaplanmış ve her iki veri setinin sonuçları mukayese edilmiştir. Sonuç olarak patlatmalar ayıklanmış veri setinden (dequarry catalog) elde edilen b-değerleri bazı bölgelerde biraz daha düşük, bazı bölgelerde biraz daha yüksek bulunmuştur. Ancak genel olarak b-değerlerinin düştüğü görülmüştür. Bütün Türkiye için b- değeri b=0.86 bulunmuştur. Türkiye için magnitüd tamamlılık eşiği ise Mc=2.8 bulunmuştur (Şekil 37a,b). 7 Bölgede ve tüm Türkiye'de patlatmalardan ayıklanmamış ve ayıklanmış veri kullanılarak günlük olay sayısını gösteren histogramlar çizilmiştir. Bu histogramlarda patlatmaların olay sayısını ne kadar etkilediği açıkça görülmektedir (Şekil 38a,b).

Mevcut data seti ile bölgesel stress analizi (regional stress analysis) yapılmıştır, ve her bölge için bulunan faylanma tipi, ve b-değerleri arasında bir ilişki olup olmadığına bakılmıştır. Sonuç olarak normal faylanma veren olaylarda (örneğin Batı Anadolu ve Marmara Bölgesi) yüksek b-değerleri, doğrultu-atımlı olaylarda orta (KAFZ, DAFZ) ve ters faylanma veren olaylarda (GD Türkiye) düşük b-değerleri bulunmuştur (Çizelge 1-2).



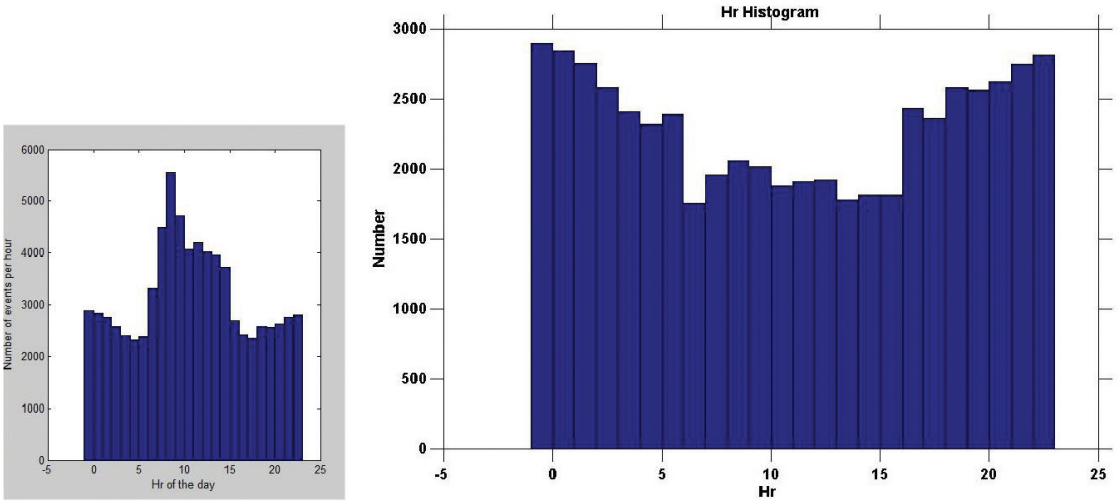
(from original catalog) (from dequarry catalog)

a **b**

Şekil 37. a) Tüm Türkiye orjinal veriden F-M ilişkisi, b, a, Mc değeri; **b)** Tüm Türkiye patlatmalar ayıklanmış veriden F-M ilişkisi, b, a, Mc değeri

Figure 37. a) F-M relationship for all Turkey from original catalog, b, a, Mc value; **b)** F-M relationship for all Turkey from dequarry catalog, b, a, Mc value.

Histograms of the number of events



a **b**

Şekil 38. Tüm türkiye'de Olay oluş sayısının saatlik gösteren histogram (Türkiye Deprem Kataloğu 1975-2009 yıllarını verisi kullanılmıştır). **a)** orijinal katalogdan **b)** de-quarry katalogdan elde edilmiştir. Bununla birlikte bazı tektonik olaylarda de-quarry algoritmasıyla atılmıştır.

Figure 38. Histogram of number of events per hour for whole of Turkey. The histogram is based on the Turkish seismicity catalog from 1975 to 2009. **a)** The original distribution, with a clear increase in the number of detected events during daytime hours due to quarry explosions**. b)** "De-quarried" catalog. Alo Some tectonic events have been removed by the de-quarry algorithm.

Çizelge 1. Belirli zaman peryotlarına bağlı olarak bulunan tamamlılık Magnitüdü (Mc) ve b değerleri a- değerleri ve bölgelerdeli ana tektonik çatıların onlarla ilişkisi (patlatmalar ayıklanmamış-orjinal katalog)

Table 1. Magnitude of completenesses (Mc) with relative time periods and obtained the b-values, a-values from the orijinal catalog and their relationship with the main tectonic frames in Turkey (original catalog; h=0- 50 km.)

Zone Code	Zone Name	General Fault Types	Time Period	Number of Earthquakes	Mc	b-value	a-value
1	Marmara	Normal-Oblik	1975-2009	16682	2.7	1.25±0.01	7.4
2	NAFZ	Strike-Slip	1992-2009	20572	2.7	1.19±0.009	7.4
3	Western Turkey	Normal	1990-2009	40957	2.7	1.27±0.006	7.96
4	EAFZ	Strike-Slip	1992-2009	5480	2.9	1.06±0.02	6.63
5	Central Turkey	Normal	1976-2009	5741	2.9	1.29±0.02	7.3
6	NE Turkey	Strike-Slip	1984-2009	1726	2.9	1.01±0.03	6.05
7	SE Turkey	Trust	1986-2009	6886	2.9	0.974±0.01	6.49
8	Overall Turkey	Mix	1975-2009	92999	2.7	1.06±0.004	7.71

Çizelge 2. Belirli zaman peryotlarına bağlı olarak bulunan tamamlılık Magnitüdü (Mc) ve b değerleri a- değerleri ve bölgelerdeki ana tektonik çatıların onlarla ilişkisi (patlatmalar ayıklanmış katalog)

Table 2. Magnitude of completenesses (Mc) with relative time periods and obtained the b-values, a-values from the orijinal catalog and their relationship with the main tectonic frames in Turkey (de-quarry catalog; h=0-50 km.)

Zone Code	Zone Name	General Fault Types	Time Period	Number of Earthquakes	Mc	b-value	a-value
1	Marmara	Normal-Oblik	1975-2009	16682	2.7	1.25±0.01	7.4
2	NAFZ	Strike-Slip	1992-2009	20572	2.7	1.19±0.009	7.4
3	Western Turkey	Normal	1990-2009	40957	2.7	1.27±0.006	7.96
4	EAFZ	Strike-Slip	1992-2009	5480	2.9	1.06±0.02	6.63
5	Central Turkey	Normal	1976-2009	5741	2.9	1.29±0.02	7.3
6	NE Turkey	Strike-Slip	1984-2009	1726	2.9	1.01±0.03	6.05
7	SE Turkey	Trust	1986-2009	6886	2.9	0.974±0.01	6.49
8	Overall Turkey	Mix	1975-2009	92999	2.7	1.06±0.004	7.71

KATKI BELİRTME

Bu çalışma NERIES projesi kapmasında alınan kısa dönem araştırma bursu ile ETHZ (İsviçre-Zürih)' de yapılmıştır. Bana bu imkanı saglayan NERIES projesi (EC 026130) yöneticilerine ve makaleyi değerlendiren Prof.Dr. Yıldız Altınok, Prof.Dr. Ali Pınar ve Prof.Dr. Nurcan Meral Özel'e teşekkür ederim.

SUMMARY

In this study, Earthquake catalog of the events within the time period of 1900-2009 prepared by Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute is analyzed. The catalog consists of earthquakes occurred in Turkey and surrounding area (32°-45°N/23°-48°E). The current earthquake catalog data has been checked in two aspects; the time dependent variation and compliance for different regions. Specifically the data set prior to 1976 was found deficient. As the development of earthquake seismic stations took place in different regions no contemporarily, catalog data set have been analyzed for different time period and regions. In total, 7 regions were evaluated according to the tectonic specifications and data set.

In this study for every region original data were used without any change; b- values, a- values, Magnitude of completeness (Mc) were calculated by using ZMAP software package (Wiemer, 2001). For the calculation of b- values and depth was estimated h= 0-50 km. In addition to this, for each region; Depth-Time, Magnitude-Time, Magnitude-Earthquake occurrence number, Earthquake occurrence number-Depth, Earthquake occurrence number-Time graphics, b- values, a-values, Earthquake Density Map (Ed) and Magnitude of completeness (Mc) map were prepared.

One of the important complications for the seismic catalogs is discriminating real (natural) seismic events from artificial (unnatural) seismic events. Therefore within the original current catalog events especially artificial quarry blasts and mine blasts have been separated by declustering (Reasenberg, 1985), and dequarry (Wiemer ve Baer, 2000) methods. Declustering process eliminates induced earthquakes especially occurred in thermal regions, large water basins, mine regions from the original catalogs. Then for each region b-value (the data set eliminated from the explosions), a- values and Mc values were calculated, map, graphics and related data tables were prepared. In this way b and

a- values were compared. For the assessment of the current catalog all explosions within the selected region is cleaned out with the algorithm developed by Wiemer and Baer (2000). As a result seismic events produced by quarry blasts, mine blasts and large excavations were removed. Between 08-15h time periods, the number of earthquakes shows major differences within the region in terms of timing. The reason is the existing quarry and mine blast studies in the region. The studies on this subject are continuing intensively in recent years (Hedlin et al. 1990; Kim et al., 1994; Wiemer and Wyss, 1997; Wiemer and Baer, 2000; Horasan et al., 2009). Current earthquake catalogs are especially used by the statistical seismologists and such problems are being solved by various algorithms. The most common one of these algorithms are Wiemer and Baer (2000) algorithm. In this method, first of all, upper magnitude threshold (M_{MAX}=3.0) is calculated. By using Reasenberg (1985) method aftershock series are removed, generally the code developed by Wiemer and Baer (2000) defines aftershock series (which is the activity more than % 20 of daily activity), however the truncated catalog distorts them. In each node 0.1^{o}x0.1^{o} sized cells and the most nearest 100 events were used. Spatial map of Rq which is the ratio of daily time to night time ratio (DT/NT) is widely used in recent years. The algorithm shows that within certain time period, especially in blast regions Rq value is high. For the calculation of Day/Night ratio in each node 0.1^{o}x0.1^{o} cells and the closest 100 events have been used. In addition to this aftershock sequences, induced earthquakes, earthquake swarms and earthquake clusters are de-clustered. Thus earthquake clusters could be seen and removed if needed.

Current moment tensor catalog prepared by Kalafat and et al., 2009 the faulting type map of the region was prepared. By using the current data set and strike, dip, rake values for each earthquake 7 different dominant stress axis directions were found and regional stress analysis have been done. As a result for each region it is examined if there is a relation between fault type and b- values. In this study, the hypothesis of the relation between previously evaluated and currently ongoing extensional, compression, strike-slip fault regimes in Turkey and b- values are tested one more time. We found normal faulting events (such as Western Turkey, Marmara Region) have the highest b-values, strike slip events (NAFZ, EAFZ) intermediate values and thrust events (SE Turkey) the lowest b-values.

DEĞİNİLEN BELGELER

Gephard, J.W., 1990. FMSI: A FORTRAN program for inverting fault/slickenside and earthquake focal mechanism data to obtain the original stress tensor, Comput.Geosci., 16, p.953-989.

Gutenberg B, C.F. Richter, 1944. Frequency of earthquakes in California, Bull. Seism. Soc. Am. 34, p.185–188.

Gulia, L., S. Wiemer, 2010. The influence of tectonic regimes on the earthquake size distribution: A case study for Italy, Geophysical Research Letters, Volume 37, Issue 10, May 2010, p1-6.

Hedlin M.A.H, J.B. Minster , J.A. Orcutt, 1990. An automatic means to discriminate between earthquakes and quarry blasts, Bull. Seismol. Soc. Am. 80, p.2143–2160.

Horasan, G., A.B. Güney, A. Küsmezer, F. Bekler, Z. Oğütçü, N. Musaoğlu, 2009. Contamination of seismicity catalogs by quarry blasts: an example from Istanbul and its vicinity, northwestern Turkey, J. Asian Earth Sci. 34(1), p.90–99.

Kalafat, D., K. Kekovalı, Y. Güneş, M. Yılmazer, M. Kara, P. Deniz, M. Berberoğlu, 2009. Türkiye ve Çevresi Faylanma-Kaynak Parametreleri (MT) Kataloğu (1938-2008); A Cataloque of Source Parameters of Moderate and Strong Earthquakes for Turkey and its Surrounding

Area (1938-2008), Boğaziçi University Library Cataloging in Publication Data, p.44, İstanbul.

Kim W.Y., D.W. Simpson, P.G.Richards, 1994. High-frequency spectra of regional phases from earthquakes and chemical explosions, Bull. Seism. Soc. Am. 84(5), p.1365–1386.

Laura, G., 2010. The influence of tectonic regimes on the earthquake size distribution: A case study for Italy (in press).

Michael, A.J.,1987b. Use of Focal Mechanism to Determine Stress: A control Study, Journal of Geophysical Research, 92, p. 357-368.

Ogata, T., and K. Katsura, 1993. Analysis of temporal and spatial heterogeneity of magnitude frequency distribution inferred from earthquake cataloques, Geophy. J. Int., 113, p.727-738.

Okuda, S., T. Ouchi, and T. Terashima, 1993. Deviation of Magnitude Frequency-Distribution of Earthquakes from Gutenberg-Richter Law-Detection of Precurory Anomalies Prior to Large Earthquakes, Phys. Earth Planet. Inter. 73 (3-4), p.229-238.

Reasenberg, P.,1985. Second-order moment of central California seismicity: 1969–1982. J Geophys. Res. 90, p.5479–5495.

Rydelek, P.A., and S. Sacks, 1989. Testing the completeness of earthquake catalogs and the hypotesis of self-similarity, Nature 337, 251-253.

Rydelek, P.A., and S. Sacks, 1992. Comment on "Seismicity and detection/location treshold in the southern Great Basin seismic network" by Joan Gomberg, Journal of Geophysical Research, 97, p.15361-15362.

Schorlemmer, D., S. Wiemer, M. Wyss, 2005. Variations in earthquake-size distribution across different stress regimes, Nature 04094, Vol.437, p. 539-542.

Schorlemmer, J. S. Woessner, 2008. Probability of Detecing an Earthquake, BSSA Vol.98, No. 5, p. 2103-2117.

Tormann, T., S. Wiemer, E. Hauksson, 2010. Change of reporting rates in the Suthern Californian earthquake catalog, introduced by a new definition of Ml, BSSA (7 Nov.2009 revised, in press).

Utsu, T., 1965. A method for determining the value of b in a formula log n=a-bM showing the magnitude frequency for earthquakes, Geophys. Bull. Hokkaido Univ., 13, p.99-103.

Wessel, P., W.H.F. Smith, 1995. New version of the generic mapping tools released. Eos Trans 76, p.329.

Wiemer , S. and M. Wyss, 1994. Seismic quesence before the Lenders (M=7.5) and Big Bear (M=6.5) 1992 earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am. 84, p.900–916.

Wiemer, S. and M. Wyss, 1997. Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: and improved tecnique to calculate reccurence time?, J. Geophys. Res. 102, 1515-15128.

Wiemer, S. and K. Katsumata, 1999. Spatial variability of seismic parameters in aftershock zones, J. Geophys. Res., 104, 13, p.135-151.

Wiemer, S., M. Baer, 2000. Mapping and removing quarry blast events from seismicity catalogs.,- Bull. Seism. Soc. Am. 90(2), p.525–530.

Wiemer, S., M. Wyss, 2000. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the Western United States, and Japan. Bull. Seism. Soc. Am. 90(4), p.859–869.

Wiemer, S., 2001. A software package to analyze seismicity: ZMAP. Seismol. Res. Lett. 72, p.373–382 .

Wiemer, S. and Schorlemmer, D., 2007. ALM: An asperity-based likelihood model for California, Seismol. Res. Lett. 78, p.134–140.

Woessner, J., S. Wiemer, 2005. Assessing the quality of earthquake catalogues: estimating the magnitude of completeness and its uncertainty, Bull. Seism. Soc. Am. 95(2), p.684–698.

Wüster, J.,1993. Discrimination of chemical explosions and earthquakes in Central Europe—a case study, Bull. Seism. Soc. Am. 83(4), p.1184–1212.

Wyss, M., 1973. Toward a physical understanding of the earthquake frequency distribution, Geophy. J. Royal Astronomical Society, 31, p. 341-359.

Zuniga F.R., M. Wyss, 1995. Inadvertent changes in magnitude reported in earthquake catalogs: Influence on b-value estimates, Bull. Seism. Soc. Am. 85(6), p.1858–1866.

Zuniga F.R., S. Wiemer, 1999. Seismicity patterns: are they always related to natural causes?, Pageop 155, p.713-726.