

OYMAPINAR BARAJI TETİKLENMİŞ DEPREMSELLİĞİ VE DEPREM KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

INDUCED SEISMICITY OF OYMAPINAR DAM AND INVESTIGATION OF EARTHQUAKE CHARACTERISTICS

Hande AYKURT ve Yıldız ALTINOK

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar/İstanbul

Yayına Geliş (Received): 27.04.09, Yayına Kabul (Accepted): 23.12.09

ÖZ : Rezervuar kaynaklı olarak adlandırılan baraj depremleri tetiklenmiş deprem türlerindedir. Ülkemizde Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapımı tamamlanmış olan 617 baraj ve 68 yapım aşamasında olan baraj ve hidroelektrik santral vardır. Çalışma kapsamında, ülkemizde yapımı tamamlanmış barajlardan olan Oymapınar Barajı (Antalya)'nın depremleri incelenmiştir. Baraja ait deprem ve su seviyesi verileri DSİ Genel Müdürlüğü'nden sağlanmıştır. Çalışmada, Oymapınar Barajı'nın su tutma öncesi (STO) ve su tutma sonrası (STS) depremsellikleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca; STS dönem içindeki deprem karakteristiklerini ortaya koyan magnitüd-frekans dağılımlarının b değerleri; ana şok magnitüdü (M_0) ve en büyük artçı şok magnitüdü (M_1) arasındaki ilişki (M_0 - M_1 , M_1/M_0); Değiştirilmiş Omori Yasası kullanılarak öncü şok ve artçı şokların zamansal azalış oranı olan p değerleri incelenmiştir. Oymapınar barajı depremleri STS dönemi içinde 29.05.1984-08.05.1986 tarihleri arasında üç farklı durumda incelenmiştir. Genellikle öncü şoklarda düşük b değerleri, artçı şoklarda ise yüksek b değerleri bulunmuştur. Bu durum, Berg (1968), Rastogi ve diğ. (1997)'nin bulgularıyla uyumludur. Ancak elde edilen tüm b değerleri 1.0'dan küçük olduğundan Gupta ve Rastogi (1976)'nin bulgularıyla uyum göstermemektedir. M_0 - M_1 ve M_1/M_0 değerleri arasında ters orantı olması Papazachos ve diğ. (1967), Chaudhury ve Srivastava (1973), Rastogi ve diğ. (1995; 1997)'nin önerilerini desteklemektedir. Bölgedeki p değerleri ise genellikle düşüktür ve deprem etkinliği karakter olarak Değiştirilmiş Omori Yasasını sağlamamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Oymapınar Barajı, Baraj Kaynaklı Tetiklenmiş Depremsellik, Deprem Karakteristikleri

ABSTRACT : The earthquakes referred as reservoir-associated earthquakes in dams are induced activities. In our country, there are 617 constructed dams and 68 under-construction dams and hydroelectric power plants, which are administered by The General Directorate of State Hydrolicworks (DSI). Within the scope of this study, the earthquakes of Oymapınar Dam (Antalya) which is a sample of the constructed one, is investigated. Earthquake and water level data of the dam have been obtained from General Directorate of DSI. In this study, the seismic activity before water loading (STO) and after water loading (STS) of Oymapınar Dam are compared. Furthermore, earthquake characteristics which are the b-values of magnitude-frequency distribution, relationships (M_0 - M_1 , M_1/M_0) between the magnitudes of the mainshock (M_0) and the largest aftershock (M_1), using the Modified Omori Law, p-values that are temporal decay rate of the foreshocks and aftershocks are analyzed. The earthquakes in the Oymapınar Dam area are investigated for three different states in the STS period between the dates 29.05.1984-08.05.1986. In general, the b-values are low for the foreshocks and high for the aftershocks. This result is coherent with the findings of Berg (1968) and Rastogi et al. (1997). However, since overall deduced b-values are lower than the value of 1.0, they are not in coherence with the findings of Gupta and Rastogi (1976). In respect to the inverse proportion between M_0 - M_1 and M_1/M_0 values is consistent with the proposals of Papazachos et al. (1967), Chaudhury and Srivastava (1973), Rastogi et al. (1995; 1997). The p-values are generally low and seismicity characteristics in the region do not obey the Modified Omori Law.

Key Words: Oymapınar Dam, Reservoir Induced Seismicity (RIS), Earthquake Characteristics

Giriş

Dünya üzerinde depremlerin oluşumlarını anlamak ve deprem üretecek bölgeleri incelemek yaşamsal ve ekonomik açıdan önemlidir. Rezervuar kaynaklı depremler/baraj depremleri tetiklenmiş depremsellik (induced seismicity) içinde yer alır. Barajların su tutmasıyla ortaya çıkan depremselliğin incelenmesi, kurulan barajların yaratacağı deprem tehlikesinin belirlenmesi açısından önemlidir. Tetiklenmiş depremler; baraj kaynaklı depremlerin yanı sıra, yeraltı maden işletmeleri, yüksek basınçlı sıvı enjeksiyonu ve taş ocağı patlatmaları gibi mühendislik çalışmaları sonucu da oluşabilmektedir (Gupta ve Chadha, 1995).

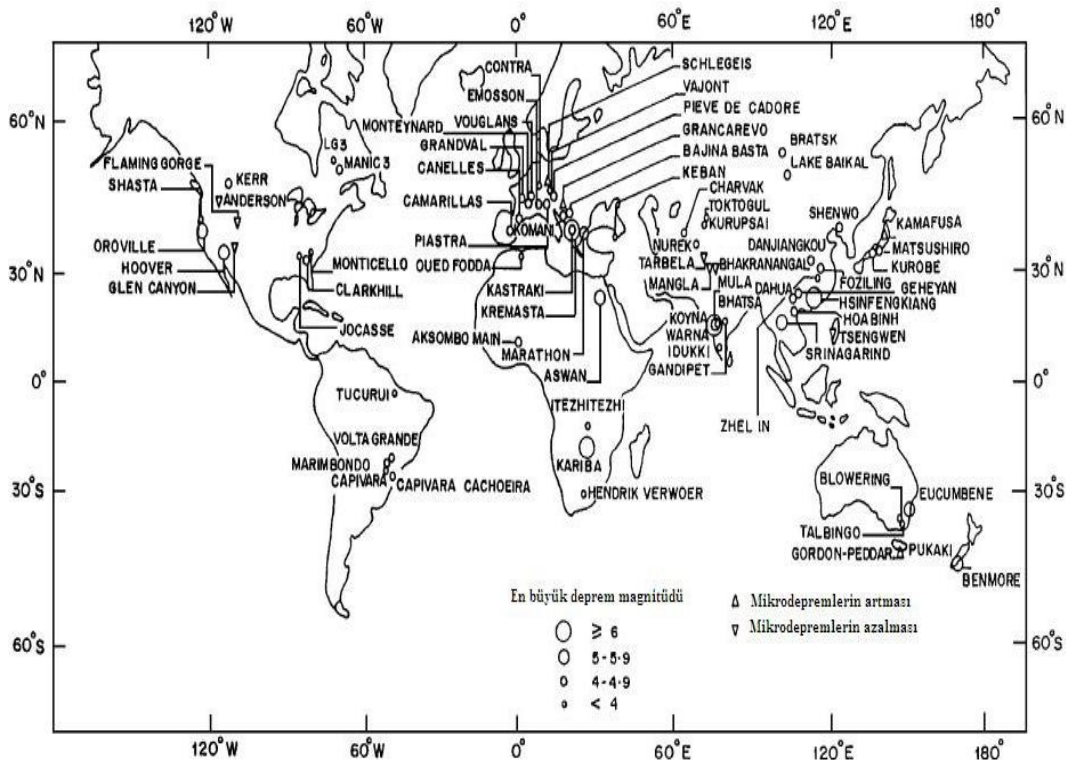
Yapay su rezervuarları tüm dünyada elektrik enerjisi, sulama, sel baskınlarını koruma amacıyla kurulmaktadır. Barajların su tutmasıyla ürettiği depremler önemli çalışma konularındandır. Depremler ve yapay su rezervuarları arasındaki ilişkiyi ilk kez ortaya koyan ABD'deki Mead Gölü için Carder (1945)'tir. Genellikle, barajın su dolumu ile depremsellikte güçlü bir artış görülür. Bazı durumlarda ise söz konusu artışın doğrudan baraj ile ilgili olup olmadığı hakkında yeterli kanıt olmayabilir. Dünya çapında birçok bölgede yapay su rezervuarlarının dolumunun depremleri etkilediği, deprem sayısındaki artışın barajların su tutmasıyla oluştuğu ileri

sürülmektedir (Gupta ve Rastogi, 1976; Simpson ve diğ., 1988).

Gupta (2002)'ye göre, rezervuarların su yüklenmesi ile tetiklenmiş depremlerin oluşmasının üç ana sebebi vardır.

- Barajın dolumu ile elastik gerilimin artması
- Elastik gerilimin artmasıyla, kayaçların içindeki boşluk sıvı basıncının artması
- Sıvı göçüne bağlı olarak gözenek basıncı değişimi

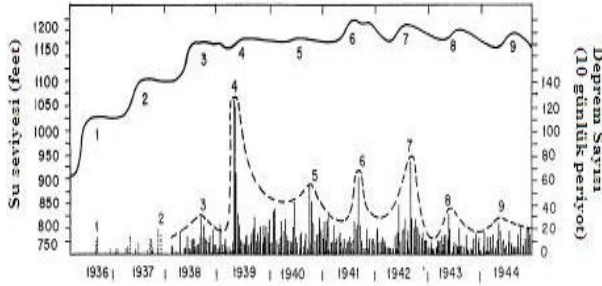
Barajın derinliği ve hacminin yanısıra, bölgenin jeolojisi ve gerilme rejimi gibi faktörler rezervuar kaynaklı depremsellik için önemli parametrelerdir (Assumçao ve diğ., 2002). Dünya üzerinde rezervuar kaynaklı depremsellik ile ilgili yapılan birçok çalışma vardır. Dünya üzerinde 95 bölgede barajların tetiklediği depremler kaydedilmiştir. Depremler magnitüdülerine ve baraj sayılarına göre $M \geq 6.0$, 4; $M = 5.0-5.9$, 10; $M = 4.0-4.9$, 28; $M < 4.0$, 53 olarak gruplanmıştır. Ayrıca, dünya üzerinde barajın su yüklenmesi sonrasında 8 baraj bölgesinde mikrosismik etkinliğin azaldığı ve 16 bölgede ise tetiklenmiş depremselliğin kanıtlanamadığı barajlar vardır. Şekil 1'de ise baraj ve barajların çevresinde oluşan depremselliğin dünyadaki dağılımı gösterilmektedir (Gupta, 2002).



Şekil 1. Baraj kaynaklı tetiklenmiş depremselliğin dünyadaki dağılımı (Gupta, 2002)

Figure 1. Worldwide distribution of reservoir triggered seismicity (Gupta, 2002)

İlk bilinen baraj depremi Amerika Birleşik Devletleri'nde Colorado nehri üzerinde bulunan Hoover (Boulder) barajının oluşturduğu Mead baraj gölünde 1935 yılında kaydedilmiştir (Carder, 1945; Gupta ve Rastogi, 1976; Gupta ve Chadha, 1995). Hoover barajı dolmadan önce Nevada-Arizona sınırında düşük olan sismik etkinlik 1936 yılında artmaya başlamıştır (Şekil 2). Barajın su tutmasıyla Mayıs, 1939 yılında 5.0 büyüklüğünde depremler oluşmuştur (Gupta, 2002).



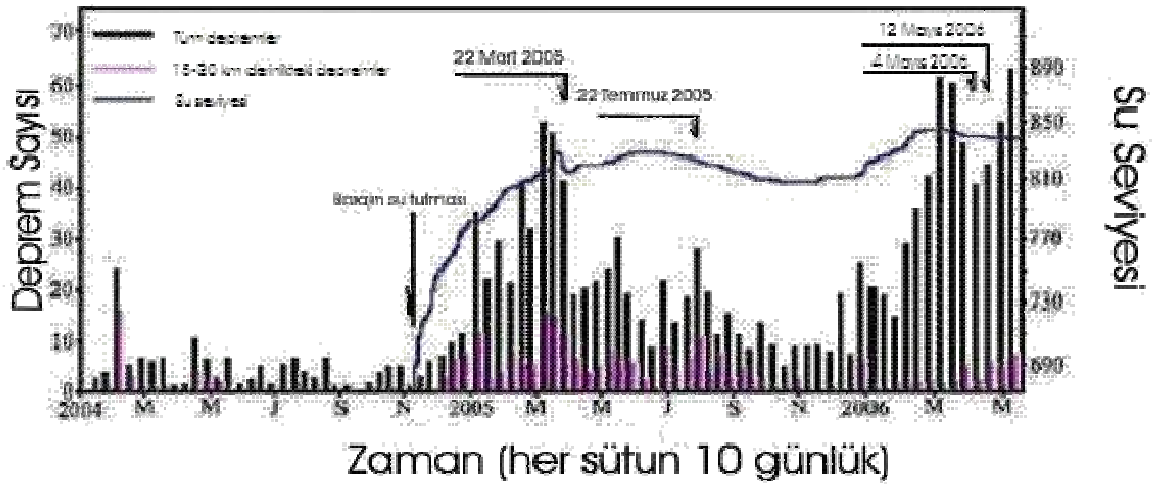
Şekil 2. Mead Gölü su seviyesi-yerel depremselliği. Su seviyesindeki artışla sismik aktivitedeki artış karşılıklı numaralandırılmıştır. Deprem frekansındaki değişim kesikli çizgi ile gösterilmiştir. (Carder, 1945'den değiştirilerek alınmıştır; Gupta, 2002)

Figure 2. Lake Mead water levels and the local seismicity. The rises in water levels and the corresponding bursts of seismic activity are numbered. General trend of earthquake-frequency variation is shown by dotted lines (after Carder, 1945; Gupta 2002)

Baraj kaynaklı tetiklenmiş depremsellik çalışmalarında Koyna barajı, Hindistan'ın batı

sahillerinde yer alan, en önemli tetiklenmiş depremsellik bölgelerindedir. Depremler baraj gölünün 1961 yılında ilk su tutmaya başlanması ile ortaya çıkmış ve uzun süre devam etmiştir (Gupta, 2005). En büyük tetiklenmiş deprem olan 6.3 magnitudündeki deprem 10 Aralık 1967 tarihinde olmuştur. Bu depremde yaklaşık 200 kişinin öldüğü, 1500 kişinin yaralandığı ve binlerce kişinin evsiz kaldığı bilinmektedir. Ayrıca, yapılan çalışmalarda bölgede magnitudü 5.0 ve 5.0'dan büyük 17 deprem, magnitudü 4.0 ve üzerinde 150 deprem ve binlerce küçük deprem olmuştur. Sismik olarak aktif olan bu bölgede lokal depremler, bölgesel ve uzak depremler ve bölgesel olarak kayalardaki yamulma (strain) değişimleri izlenmektedir (Chadha ve diğ., 2008).

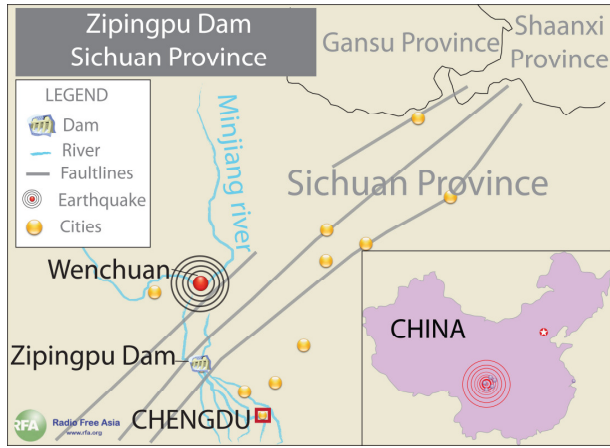
Karun III barajı Izeh (Khuzestan ili, Güneybatı İran) şehrinin 21 km doğusunda Karun Nehri üzerinde kurulmuştur. Karun III barajının istatistiksel incelenmesi sonucunda, depremselliğin artışı ile barajın su seviyesinin uyumlu olduğu ve aralarında dikkate değer bir korelasyon olduğu ortaya çıkmıştır. Barajı incelemek amacıyla çevresine 01.01.2004 tarihinde deprem istasyonları kurulmuştur. Yaklaşık 10 ay sonra ise baraj su tutmaya başlamış, barajın dolumundan 4 ay sonra 22.03.2005'te $M_L=3.7$ büyüklüğünde ilk ana şok olmuştur. 22.07.2005 tarihinde $M_L=4.0$ büyüklüğünde diğer bir ana şok ortaya çıkmıştır. Barajdaki su seviyesinin hızlı artışıyla 04.05.2006 ve 12.05.2006 tarihlerinde $M_L=4.1$ ve $M_L=4.3$ büyüklüğünde depremler olmuştur (Şekil 3). Yapılan çalışmada Karun III baraj depremlerinin tetiklenmiş depremler olduğu düşünülmektedir (Kangi ve Heidari, 2008).



Şekil 3. Karun III barajı (2004-2006) su seviyesine bağlı deprem sayısı (Kangi ve Heidari, 2008)

Figure 3. Water level relative to the seismicity on Karun III dam (Kangi and Heidari, 2008)

Çin'de 12 Mayıs 2008 tarihinde 06:27:59 (UTC) $M_w=7.9$ büyüklüğünde oluşan, Sichuan (veya Wenchuan) depremini Zippingpu barajının tetiklemiş olduğu düşünülmektedir. Baraj kırılan faydan yalnızca 500 m uzakta ve depremin dış merkezinden 5.5 km uzaktadır (Şekil 4). Baraj Aralık 2004 tarihinde su tutmaya başlamış ve 2 yıl içerisinde su seviyesi 120 m'ye yükselmiştir. Araştırmacılar bu büyük depremin baraj ile ilgili olabileceğini tartışmaktadırlar (<http://www.emsc.org>, www.sciencemag.org).



Şekil 4. Sichuan bölgesi ve Zippingpu barajı konumu (<http://www.rfa.org/>)

Figure 4. The location of Sichuan Province and Zippingpu dam (<http://www.rfa.org/>)

Ülkemizde bu tür depremlere örnek olarak Oymapınar barajı ve çevresindeki depremsellik incelenmiştir.

Oymapınar Barajı

Oymapınar barajı ve Hidro Elektrik Santrali (HES) Akdeniz kıyısında Antalya iline 76 km uzaklıkta Manavgat Çayı üzerinde enerji üretimi amacı ile kurulmuştur. Oymapınar barajı genel görünüşü ve özellikleri Şekil 5 ve Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Oymapınar barajı görünüşü (<http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=90>)

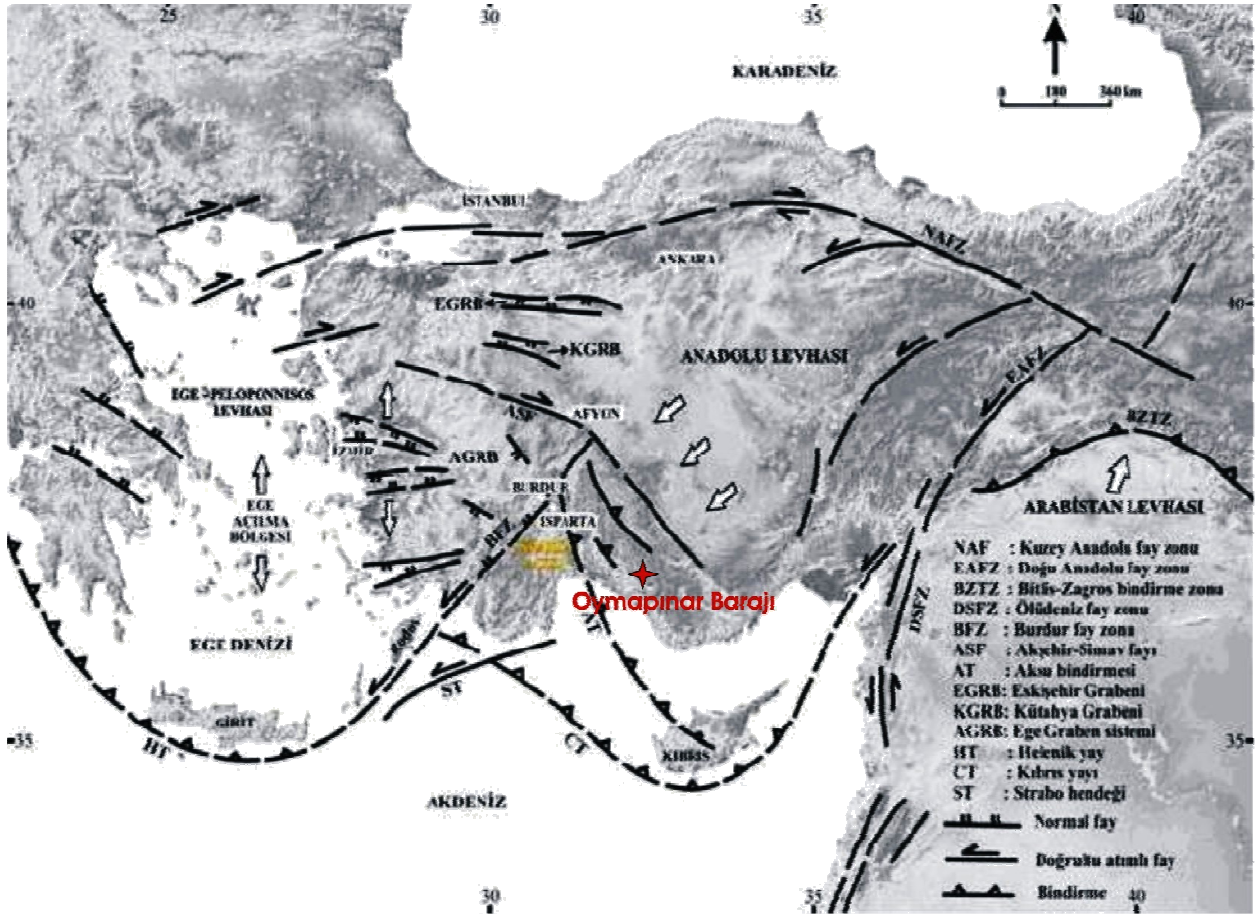
Figure 5. General view of Oymapınar dam (<http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=90>)

Tablo 1. Oymapınar barajı özellikleri (<http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=90>)

Table 1. General characteristics of Oymapınar dam (<http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=90>)

Barajın Yeri:	Manavgat
Akarsuyu:	Manavgat Irmağı
Amacı:	Enerji
İnşaatın (başlama-bitiş) Yılı:	1977-1984
Gövde Dolgu Tipi:	Beton
Gövde Hacmi:	0.575 hm ³
Yükseklik (Talvegden):	155 m
Normal Su Kotunda Göl Hacmi:	235.996 hm ³
Normal Su Kotunda Göl Alanı:	4 km ²
Güç:	540 MW
Yıllık Üretim:	1620 GWh

Oymapınar baraj bölgesi ve çevresi, tektonik olarak oldukça hareketli bir bölgedir. Bölgede K-G doğrultusunda faylar, KB-GD doğrultusunda uzanan şariyajlar bulunmaktadır. Karstik bir kuşak içinde bulunan bu bölgenin kuzeyinde tektonik olaylar sonucu oluşmuş bir dizi göller bulunmaktadır. Bu bölge Afrika plakasının Anadolu plakası altına daldığı sınırın kuzeyinde ve Aksu bindirmesinin doğusunda yer almaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Türkiye ve yakın çevresindeki başlıca aktif tektonik yapılar (McClusky ve diğ. 2000'den değiştirilerek, Yağmurlu, F. Ve Şentürk, M., 2005)

Figure 6. Active tectonic settings of Turkey and near surrounding (Modified from McClusky and et. all. 2000, Yağmurlu, F. and Şentürk, M., 2005)

Malzeme ve Yöntem

Oymapınar baraj bölgesinin depremselliğini araştırmak ve barajın su tutma öncesi ve su tutma sonrası deprem etkinliğini incelemek amacıyla, Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından baraj bölgesi çevresine deprem istasyonları kurulmuştur. 1975 yılında Sevinç (SEV) ve Fatmalar (FAT) deprem istasyonları ve 1977 yılında ise Sarılar (SAR) ve Ayseler deprem istasyonları devreye girmiştir. Ayseler istasyonunun baraj göl alanında kalması nedeniyle 1982 yılında yeri değiştirilerek Sinanhoca (S.HOC) olarak devam etmiştir. Devlet Su İşleri tarafından Oymapınar barajı'nın depremselliği incelenirken ayrıca B.Ü.

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne ait Elmalı (36.74°K, 29.9°D), Yerkesik (37.13°K, 28.8°D) ve Bucak (37.45°K, 30.05°D) istasyon verilerinden de faydalanılmıştır (Kocabaş ve Ada, 1988; 1992; 1998).

Oymapınar barajı deprem istasyonlarında kullanılan deprem kayıt cihazları W.F. Sprengnether marka MEQ-800 model sismograflardır. Alet, düşey bileşenli portatif sismograftır. Periyodu 1.5-2.0 s ve kazancı 60 dB ile 120 dB arasında ayarlanabilir türdendir. DSİ tarafından işletilen Oymapınar baraj bölgesi deprem istasyon yerleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Oymapınar barajı DSİ deprem istasyonları
Figure 7. DSI seismic stations of Oymapınar dam

DSİ Genel Müdürlüğü, deprem dış merkezlerinin belirlenmesi amacı ile B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Estitüsü'nden sağlanan EPISA adlı program kullanmıştır. Oymapınar baraj bölgesinde oluşan depremlerin dış merkez koordinatları ve süreye bağlı magnitüdüleri DSİ tarafından saptanmış değerlerdir. Bu çalışmada depremlerin dış merkez dağılımlarını gösteren haritalar The Generic Mapping Tools (GMT), Version 3.4 programı kullanılarak oluşturulmuştur (Wessel ve Smith, 1998).

Rezervuar Depremlerinin Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Rezervuar depremlerinin karakteristiklerinin araştırılması, baraj depremlerinin oluş nedenlerinin incelenmesi açısından önemlidir. Bu konudaki başlıca çalışmalar;

- Oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi,
- En büyük artçı şok magnitüdünün ana şok magnitüdüne oranı ve farkı,
- Öncü ve artçı şokların zamansal dağılımları

dır. Depremlerin bu karakteristikleri ortamın mekanik yapısına ve uygulanan gerilmenin özelliğine bağlıdır. Tektonik kaynaklı depremler ile rezervuar depremleri farklı karakteristikleri yansıtır (Gupta ve Rastogi, 1976).

Oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi:

Belli bir zaman aralığında, bir bölgede oluşan deprem magnitüdüleri ve sayıları arasında doğrusal bir ilişki vardır. Bu ilişki, Gutenberg- Richter (1954) tarafından;

$$\log N = a - bM$$

bağıntısı ile açıklanır. Bu tanımda; N birikimli deprem sayısı, M magnitüd, a ve b katsayılarıdır.

Frohlich ve Davis (1993)'e göre, deprem etkinliği bulunan bölgelerde genelde $b=1$ olarak kabul edilir. Gerilme ve heterojenite gibi iki önemli fiziksel parametre b değeri değişimini etkilemektedir. Mogi (1962; 1967)'de, laboratuvar çalışmalarında b değerinin heterojeniteyle doğru orantılı olduğunu ileri sürmüştür. Heterojen malzemenin bulunduğu bölgelerde b değeri yüksek çıkmaktadır. Malzeme özellikleri kayaçların içerdiği kırık yoğunluğu, kırılma direnci ve gözenek basıncı gibi parametrelerdir. Örneğin; çok kırıklı bir yapı içeren kayaçlar küçük depremleri fazla sayıda üretebileceklerinden, büyük b değeri gözlenir. Başka bir deyişle, malzeme heterojenliğine bağlı olarak b değerinde değişim gözlenmektedir (Wiemer ve Katsumata, 1999). Ayrıca, ısı akısındaki artış, b

değerinde artışa neden olabilmektedir (Warren ve Latham, 1970). Volkanik bölgelerde gözlenen yüksek b değerleri magma odaları yakınlarında ve aşırı çatlaklı hacimlerde elde edilmiştir (Wiemer ve Mc Nutt, 1997; Wyss ve diğ., 1997; Wiemer ve diğ., 1998). Guo ve Ogata (1997), b değerlerinin 0.7-1.3, Wiemer ve Katsumata (1999); Olsson (1999) 0.6-1.4, Turcotte (1986) 0.5-1.5 ve Utsu (1971) ise yaklaşık 0.3-2.0 arasında değişim gösterdiğini belirtmişlerdir.

Gupta ve Rastogi (1976)'ye göre; rezervuar kaynaklı depremlerde b değeri genellikle ≥ 1.0 'dır. Rezervuar kaynaklı depremlerin öncü şoklardan hesaplanan b değerleri, artçı şoklardan hesaplanan b değerlerinden yüksektir. Ayrıca, öncü ve artçı şok b değerleri, bölgedeki tektonik depremlerden elde edilen b değerlerinden büyüktür. Bu nedenle baraj depremleri normal depremlerden ayrılabilir.

Berg (1968), Japonya, Alaska, Yunanistan ve Şili'de oluşan depremlerin öncü ve artçı şoklarının b değerlerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlarda, öncü şokların b değerleri (0.3-0.6), artçı şokların b değerlerine (0.75-1.2) göre daha düşüktür. Aynı zamanda, büyük magnitudlü deprem olma işareti olan öncü şok dizisinde yüksek b (≥ 0.5) değerini bulmuştur. Mogi (1962) ve Scholz (1968)'ün deneysel sonuçlarını değerlendiren Berg (1968)'e göre; düşük b değerleri yüksek gerilme ve dayanıklılık ile ilgilidir, buna karşın yüksek b değerleri ana şoktan sonra dayanıklılığın azalması ve düşük gerilme ile ilgilidir. Kariba, Kremasta ve Koyna baraj kaynaklı deprem sonuçları Berg (1968)'in elde ettiği sonuçlardan farklı sonuçlar vermiştir. Bu baraj depremlerinin öncü şok b değerleri 1.18, 1.41 ve 1.87 iken artçı şok b değerleri ise sırasıyla 1.02, 1.12 ve 1.09'dur (Gupta ve Rastogi, 1976).

Oymapınar baraj bölgesi için oluşum sayısı-magnitud ilişkisinde a ve b değerleri En Küçük Kareler Yöntemi ile hesaplanmıştır.

En büyük artçı şok magnitudünün ana şok magnitudüne oranı ve farkı:

Ana şokun magnitudü M_0 ve artçı şokun magnitudü M_1 olmak üzere, M_0 ve M_1 arasında ilişki olduğu gözlenmiştir. Bath (1965), büyük ve sığ depremlerde aşağıdaki bağıntıyı saptamıştır.

$$M_0 - M_1 = 1.2$$

Papazachos (1974)'ün Tablo 2'de verilen altı baraj kaynaklı deprem için 0.3 standart sapma ile M_0 ve M_1 arasındaki bağıntısı;

$$M_0 - M_1 = 0.6$$

dır.

Tablo 2. Baraj kaynaklı depremlerin ana şok- en büyük artçı şok magnitudleri ve b değerleri (Papazachos, 1974)

Table 2. The magnitudes of the main shock- largest aftershock and b values for reservoir induced seismicity (Papazachos, 1974)

Bölge	M_0	M_1	M_0-M_1	M_1/M_0	b
Mead Gölü	5.0	4.4	0.6	0.88	1.4
Monteynard	4.9	4.5	0.4	0.92	0.72
Mangia	3.5	3.3	0.2	0.94	0.96
Kariba	6.1	6.0	0.1	0.98	1.02
Kremasta	6.2	5.5	0.7	0.89	1.12
Koyna	6.0	5.2	0.8	0.83	1.09

Bu bağıntı Bath (1965)'in verdiği sığ, büyük ve normal depremler için geçerli olandan farklıdır. Rezervuar kaynaklı depremlerde deprem fırtınası şeklinde de aktiviteler görüldüğünden M_0-M_1 değeri küçük olabilir (Gupta ve Rastogi, 1976).

Utsu (1969)'a göre, M_0-M_1 ve b değerleri arasında pozitif bir ilişki vardır. Bazı deprem dizileri için küçük b değerine karşın, küçük M_0-M_1 değeri, büyük b değerine karşın büyük M_0-M_1 değeri saptanmıştır. Bununla beraber, Gupta ve Rastogi (1976) baraj depremleri için büyük b değerlerine karşın küçük M_0-M_1 değeri elde etmişlerdir. M_0-M_1 yerine, iki magnitudün oranı da M_1/M_0 göz önüne alınabilir. Utsu (1969)'un gözlemlerine göre, büyük b değeri için küçük M_1/M_0 , küçük b değeri için büyük M_1/M_0 oranı söz konusudur. Benzer gözlemleri Mc Evilly ve Casaday (1967), Mc Evilly ve diğ. (1967) Kaliforniya depremleri için yapmışlardır. Küçük b değerleri (0.4-0.5) için M_1/M_0 oranı büyük (yaklaşık 0.9), büyük b değerleri için (0.6-0.8) M_1/M_0 oranı (0.6-0.7) küçük değerlerde bulunmuştur.

Hindistan'daki Nisan 1969 Godovari Vadisi depreminde, $M_0=5.7$, $M_1=5.0$ ve $M_1/M_0=0.9$ bulunmuştur. Ayrıca, b değeri ise 0.51 gibi düşük değer almaktadır. Mart 1970 Broach depreminde ise yüksek M_1/M_0 oranına (0.8), 0.4 gibi düşük b değeri elde edilmektedir (Gupta ve diğ., 1972).

Mogi (1963), ana şokun magnitudü ve en büyük artçı şokun magnitudü arasındaki farkın, gerilme koşullarına ve sismik bölgedeki materyalin heterojenliğine bağlı olduğunu ve yapay göllerin mekanik özellikleri ve gerilme dağılımıyla ilgili olduğunu ileri sürmüştür.

Papazachos ve diğ. (1967) ve Chaudhury ve Srivastava (1973) rezervuar kaynaklı depremlerde büyük b değerlerine karşın, küçük M_0-M_1 ve büyük M_1/M_0 değerlerinin görüldüğünü ve benzer durumun bazı tektonik kökenli depremlerde de olduğunu belirtmişlerdir.

Öncü ve artçı şokların zamansal dağılımları:

Artçı depremlerin zamanla değişimini gösteren Omori bağıntısı üstel azalım oranı ile tanımlanır. Utsu (1961)'ya göre bu bağıntı aşağıdaki şekildedir:

$$n(t) = k / (t + c)^p$$

Bu bağıntıda; $n(t)$, ana şoktan sonraki t birim zamanda oluşan artçı deprem sayısı ve p , c , k sabit değerlerdir.

p değeri, oluşan artçı depremlerin üstel azalımı ile ilişkilidir (Kisslinger, 1996). Oluşan ana şoktan sonra, gerilme dereceli olarak azalmakta ve zaman içinde sabitlenmektedir. Büyük p değeri, artçı deprem etkinliğinin hızla azaldığını, küçük p değeri ise artçı deprem etkinliğinin daha yavaş olarak azaldığını göstermektedir (Mogi, 1967).

Utsu (1957)'de Omori bağıntısında artçı şokların zaman içindeki azalmalarını aşağıdaki ilişki ile açıklamıştır. Söz konusu Değiştirilmiş Omori Bağıntısı (Modified Omori Law):

$$n(t) = Ct^{-p}$$

şeklinde. t ana şoktan sonra geçen zaman ve C , p sabitlerdir.

Ana şok sonrasında oluşan depremlerin azalım katsayısı p , 0.5-1.8 değerleri arasında değişmektedir (Utsu ve diğ., 1995; Olsson, 1999). Liu (1986)'ya göre ise; büyük bir ana şok ardından izlenen artçı şokların p değerleri 1.0 değerinden büyük, normal depremlerde ise 1.0'den küçüktür. Gou ve Ogata (1997)'ye göre, $p=0.9-1.8$ arasında, Kisslinger ve Jones (1991)'e göre $p=0.7-1.8$ arasında, Olsson (1999)'a göre, $p=0.5-1.8$, Wiemer ve Katsumata (1999)'a göre, p , 0.6-1.4, Utsu ve diğ. (1995); Enescu ve Ito (2002)'ye göre p , 0.9-1.5 arasında değişim göstermektedir. p değeri; kabuk yapısının sıcaklığına, heterojenliğine ve gerilme durumuna bağlıdır (Mogi, 1962; Kisslinger ve Jones, 1991).

Bulgular

Barajların su tutması ortamın tektonik gerilme rejimini değiştirir. Rezervuar kaynaklı depremlerin oluşum mekanizması; kayma gerilmesi, normal gerilme ve gözenek basıncı arasındaki karmaşık etkileşim ile açıklanabilir (Mekkawi, 2004).

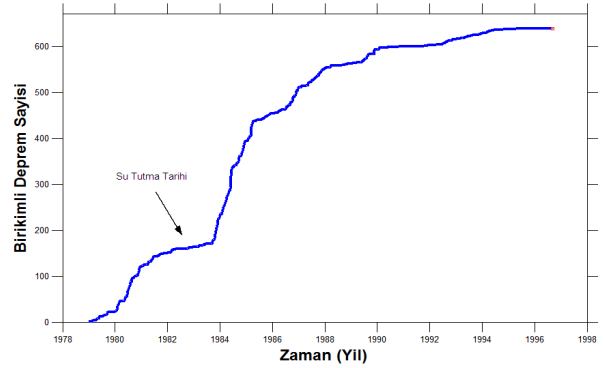
Baraj bölgelerinin deprem etkinliğini araştırmak ve baraj göl alanında su tutulmaya başladıktan sonra su yükünün etkisi ile oluşabilecek tetiklenmiş depremleri incelemek ve kontrol altında tutabilmek amacı ile, büyük barajların yapımı ile birlikte göl alanı ve çevresine deprem kayıt cihazları yerleştirilmektedir.

Oymapınar baraj bölgesinde 01.01.1979-31.05.1997 tarihleri arasında baraj çevresine yerleştirilen sismograflarla kaydedilen ve DSİ Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları (YAS) Daire Başkanlığı Jeofizik Etütler Şube Müdürlüğü'nden

sağlanan veriler kullanılmıştır. Baraja ait su seviyeleri ise DSİ Genel Müdürlüğü İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı İşletme Hidrolojisi Şube Müdürlüğü'nden sağlanmıştır. Oymapınar barajı çevresini kapsayan 36.7-37.2°K ve 31.3-31.8°D koordinatları arasındaki 0.5°'lik bölgenin depremselliği incelenmiştir.

Oymapınar barajı 09.08.1983 tarihinde su tutmaya başlamıştır. Bu tarihe göre Oymapınar baraj bölgesi çevresi inceleme süresince iki döneme ayrılmıştır. Bu dönemler, barajın su tutmaya başlamasından önceki dönem; 01.01.1979- 09.08.1983 tarihleri arası Su Tutma Öncesi Dönem (STO) ve baraj su yüklenmeye başladıktan sonraki dönem; 09.08.1983-31.05.1997 tarihleri arası Su Tutma Sonrası Dönem (STS) olarak adlandırılmıştır.

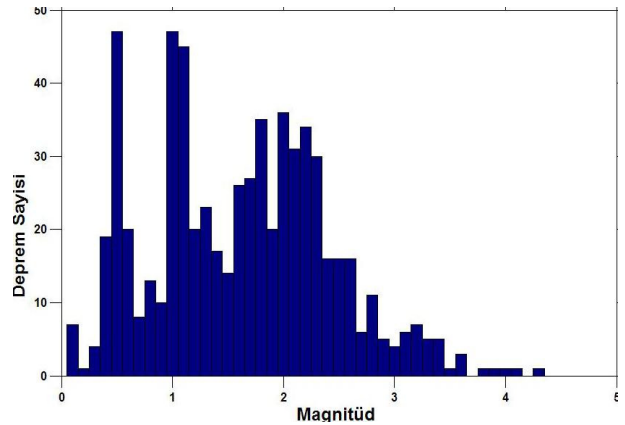
Baraj bölgesi içerisinde tüm (STO+STS) gözlem süresince toplam 640 depremin birikimli sayısı Şekil 8' de gösterilmektedir.



Şekil 8. STO+STS dönemi birikimli deprem sayısı

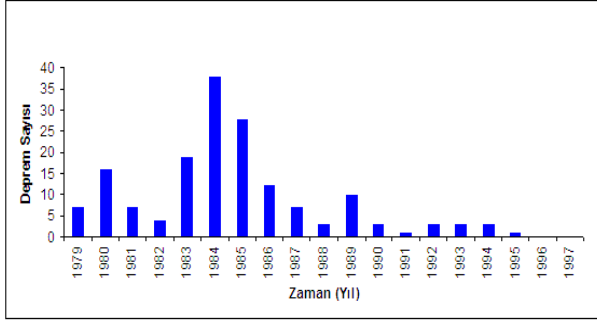
Figure 8. Cumulative number of earthquake for STO+STS period

Gözlem süresince depremlerin magnitüd dağılımı Şekil 9'da ve yıllara göre oluşan depremler sayısı ise Şekil 10'da gösterilmektedir.



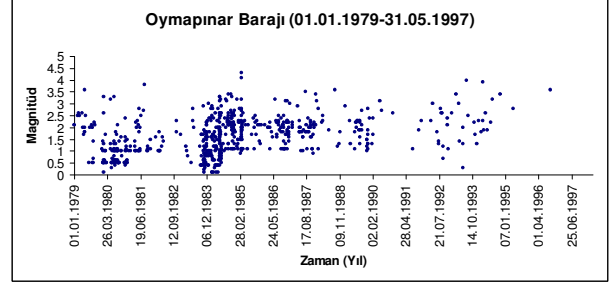
Şekil 9. STO+STS dönemi magnitüd-deprem sayısı dağılımı

Figure 9. Distribution of magnitude number of earthquakes for STO+STS period



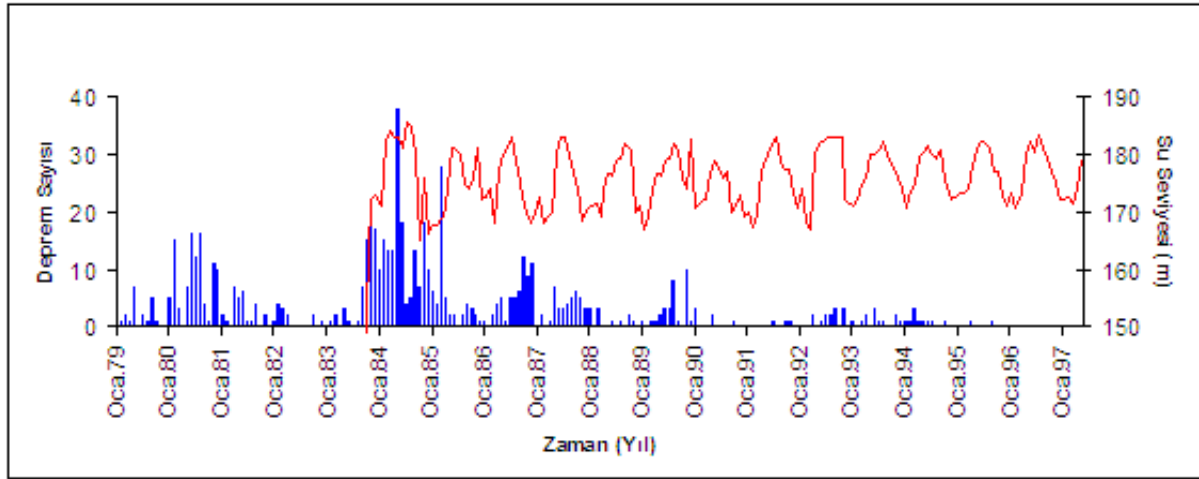
Şekil 10. STO+STS dönemi yıllık deprem sayısı
Figure 10. Annual number of earthquakes for STO+STS period

Şekil 11'de inceleme süresindeki depremlerin magnitüd-zaman dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 11. STO+STS dönemi magnitüd-zaman dağılımı
Figure 11. Distribution of magnitud-time for STO+STS period

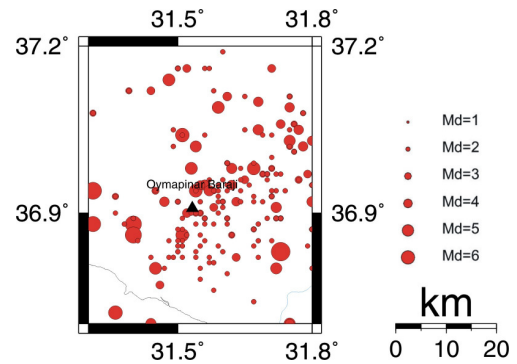
Barajın su tutmasına bağlı olarak oluşan depremlerin incelenmesi amacıyla, 0.5°'lik baraj çevresi bölgesinde oluşan aylık deprem sayısı-barajın su seviyesi grafiği Şekil 12'de verilmektedir. Baraj 1983 yılının 8. ayında su tutmaya başlamış ve 1984 yılının 7. ayında 185.5 m ile en yüksek su seviyesine ulaşmıştır.



Şekil 12. STO+STS dönemi aylık deprem sayısı-su seviyesi
Figure 12. Monthly number of earthquakes-water level for STO+STS period

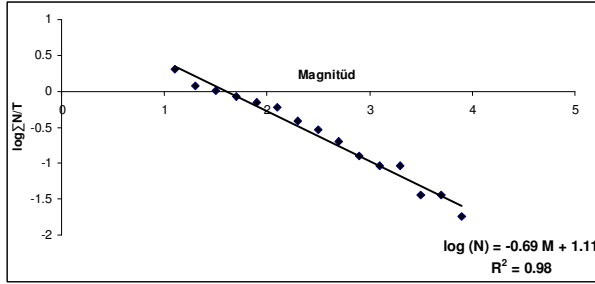
Su Tutma Öncesi (STO) Depremsellik

Su Tutma Öncesi (STO) dönem olarak adlandırılan, barajın su tutma tarihi olan 09.08.1983 tarihine kadar 55 aylık süre içerisinde Oymapınar baraj bölgesini kapsayan 0.5°'lik alan olan 36.7-37.2°K ve 31.3-31.8°D arasındaki bölgede oluşan depremlerin dış merkezleri Şekil 13'te gösterilmiştir. 55 aylık STO döneminde 0.5°'lik bu bölgede 170 adet deprem kaydedilmiştir.



Şekil 13. STO dönemi deprem dış merkez dağılımları
Figure 13. Location of epicenters for STO period

Tüm veri seti incelendiğinde $M=1.1$ civarında deprem sayılarının yoğunluğu nedeniyle kesme magnitüdü (M_c) 1.1 olarak seçilmiştir. Bölgede oluşan deprem verileri için, birim zaman 1 ay ve $M_c=1.1$ olmak üzere oluşum sayısı-magnitüd grafiği Şekil 14'te görüldüğü gibi $a=1.11$ ve $b=0.69$ olarak bulunmuştur.

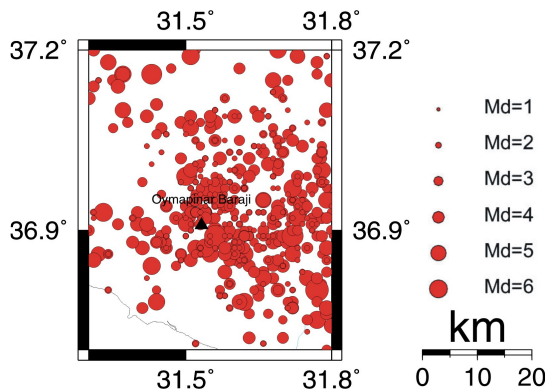


Şekil 14. STO dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği ($M_c=1.1$)

Figure 14. Magnitude-frequency graphs for STO period ($M_c=1.1$)

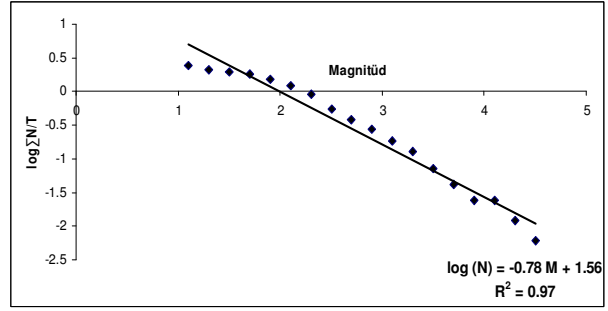
Su Tutma Sonrası (STS) Depremsellik

Oymapınar barajı 09.08.1983 tarihinde su tutmaya başlamıştır. DSİ Genel Müdürlüğü tarafından 31.05.1997 tarihine kadar baraj bölgesinin depremselliği inceleme çalışmaları devam etmiştir. Oymapınar barajı, STS dönemi, 0.5° 'lik bölgede 470 deprem oluşmuştur. Depremlerin dış merkez dağılımları Şekil 15'de gösterilmektedir. Bu dönemde oluşan depremler $M_c=1.1$ seçilerek, birim zaman 1 ay olmak üzere, oluşum sayısı-magnitüd grafiğinden $a=1.56$ ve $b=0.78$ olarak saptanmıştır (Şekil 16).



Şekil 15. STS dönemi deprem dış merkez dağılımları

Figure 15. Location of epicenters of STS period



Şekil 16. STS dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği ($M_c=1.1$)

Figure 16. Magnitude-frequency graphs for STS period ($M_c=1.1$)

Oymapınar barajı, STO+STS, STO ve STS dönemlerinin 0.5° 'lik inceleme bölgesi için, $M_c=1.1$ seçilerek elde edilen oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları ve determinasyon katsayıları (R^2) aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3).

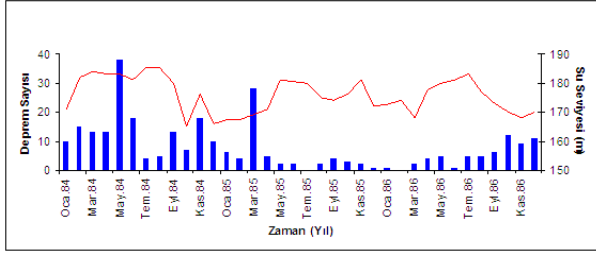
Tablo 3. STO+STS, STO ve STS dönemleri oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları ($M_c=1.1$)

Table 3. The constant of magnitude-frequency relationship for STO+STS, STO and STS periods ($M_c=1.1$)

Dönem	a	b	R^2
STO+STS	1.56	0.81	0.95
STO	1.11	0.69	0.98
STS	1.56	0.78	0.97

Oymapınar Barajı Deprem Karakteristikleri

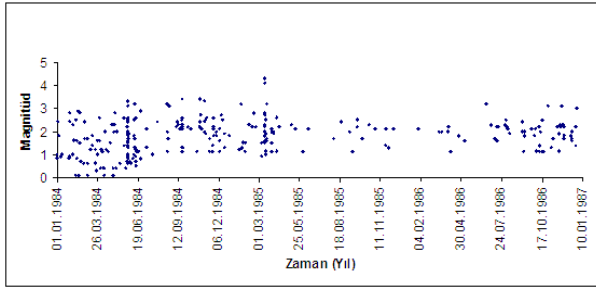
Oymapınar barajı su tutmasıyla birlikte baraj çevresinde oluşan mikro depremlerin sayısında da artış gözlenmiştir. 0.5° 'lik alanda, STS dönem içinde yer alan deprem sayısının artmaya başladığı 1984 yılından, azalmaya başladığı 1986 yılına kadar olan sürede oluşan depremlerin karakteristikleri incelenmiştir. 1984-1986 yılları arasında bölgede oluşan aylık deprem sayısı ve baraj gölü su seviyesi ilişkisini gösteren grafik, Şekil 17'de gösterilmiştir.



Şekil 17. 1984-1986 yılları arası aylık deprem sayısı-su seviyesi grafiği

Figure 17. Monthly number of earthquakes-water level for 1984-1986 period

1984-1986 yıllarında oluşan depremlerin magnitüd-zaman dağılımı Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 18. 1984-1986 yılları arası magnitüd-zaman dağılımı

Figure 18. Distribution of magnitud-time for 1984-1986 period

29.05.1984 tarihinde başlayan etkinlik ile deprem oluşumlarının azaldığı 08.05.1986 tarihine kadar olan inceleme zamanında oluşan depremlerin karakteristikleri **I**, **II** ve **III** olarak üç farklı durumda incelenmiştir. Belirtilen üç inceleme durumunda gözönüne alınan özellikler aşağıdaki gibidir.

I. Ardışık Dönemler: 29.05.1984-08.05.1986 tarihleri aralığında oluşan depremler magnitüdlarının büyüklüklerine ve birbirini izleyiş sırasına göre gruplanmıştır. Belirtilen zaman aralığında gruplanan depremler A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M dönemi olmak üzere 13 farklı dönem olarak adlandırılmıştır (Ek 1).

II. Birleşik Dönemler: 29.05.1984-08.05.1986 tarihleri arasında ardışık olan dönemlerin öncü ve artçı dönem olarak oluşturulan veri grubudur. Dönemler $M_d \geq 3.3$ olan depremlerle başlamaktadır. **I** durumdaki A, F ve J dönemleri öncü, ve diğerlerinin birleştirilmesi ile oluşturulan B+C+D+E, G+H+I, K+L+M artçı dönemler olarak öngörülmüştür.

III. Yoğun Dönemler: 29.05.1984-08.05.1986 tarihleri arasında oluşan depremler incelendiğinde 29.05.1984-31.05.1984, 20.09.1984-10.11.1984 ve 13.03.1985-18.03.1985 tarihlerinde diğer günlere göre deprem sayılarında artış gözlenmiştir. 29.05.1984 tarihinde 3.3 büyüklüğünde 2 deprem ve 31.05.1984 tarihine kadar devam eden sürede toplam 27 depremden oluşan dönem, 1. Dönem olarak seçilmiştir. 20.09.1984 ve 27.10.1984 tarihlerinde 3.4 büyüklüğünde iki depremin olduğu ve 20.09.1984-10.11.1984 tarihleri arası 19 depremin gözlemlendiği zaman dilimi 2. Dönem olarak adlandırılmıştır. 13.03.1985 ve 14.03.1985 tarihlerinde sırasıyla 4.3 ve 4.1 büyüklüğünde depremler olmuştur. 13.03.1985 tarihinden 16.03.1985 tarihine kadar oluşan deprem sayısında artışın olduğu bu zaman dilimi ise 3. dönem olarak adlandırılmıştır. Söz konusu tarihlerdeki 1, 2, 3 dönemleri, a (öncü) ve b (artçı) olarak iki alt döneme ayrılmıştır.

29.05.1984-08.05.1986 tarihleri arasında oluşan depremler göreceli olarak deprem kümeleri olarak değerlendirilmiş ve bu kümeler Ardışık Dönemler (**I**), Birleşik Dönemler (**II**) ve Yoğun Dönemler (**III**) olarak adlandırılmıştır. Herbir dönem içerisinde oluşan depremlerin, birim zaman 1 dakika alınarak, $M_c=1.1$ olmak üzere, oluşum sayısı- magnitüd ilişkisi (a ve b değerleri) saptanmıştır. Bu dönemlerde (**I**, **II**, **III**) deprem oluşumu, büyük bir deprem ve bu depremi izleyen deprem kümeleri şeklindedir. Bu bağlamda her dönem için, büyük depremin büyüklüğü ana şok magnitüdü ve dönem içinde oluşan en büyük depremin büyüklüğü artçı şok magnitüdü olarak kabul edilmiştir. Farklı gruplama şekilleriyle incelenen dönemlerin en büyük artçı şok magnitüdü (M_1) ile ana şok magnitüdünün (M_0) oranı ve farkı değerleri ve **I**, **II** ve **III** inceleme durumları için hesaplanmıştır. Ayrıca, Değiştirilmiş Omori bağıntısı ile öncü ve artçı şoklarının zamansal dağılımı ile elde edilen p değeri sonuçları elde edilmiş ve deprem karakteristiği olarak elde edilen tüm sonuçlar aşağıda Tablo 4, 5 ve 6'da verilmiştir.

Tablo 4. Ardışık dönem (I. Durum) deprem karakteristikleri
Table 4. Earthquake characteristics of successive term (State I)

Dönem	Oluşum Sayısı-Magnitüd İlişkisi			Magnitüd Farkı ve Oranları				Azalm İlişkisi	
	a	b	R ²	M ₀	M ₁	M ₀ -M ₁	M ₁ /M ₀	p	R ²
A	0.49	0.55	0.88	3.3	2.6	0.7	0.27	0.24	0.47
B	0.43	0.63	0.90	3.3	2.4	0.9	0.38	0.48	0.62
C	2.10	0.80	0.85	3.1	2.5	0.6	0.24	0.23	0.84
D	3.45	0.48	0.91	3.2	2.9	0.3	0.10	0.20	0.62
E	3.06	0.53	0.77	3.2	3.1	0.1	0.03	0.25	0.31
F	3.26	0.47	0.77	3.4	2.5	0.9	0.36	0.35	0.89
G	2.81	0.30	0.60	3.4	2.7	0.7	0.26	0.44	0.80
H	2.89	0.53	0.86	3.3	2.7	0.6	0.22	0.42	0.50
I	2.99	0.58	0.87	3.2	2.8	0.4	0.14	0.70	0.73
J	1.54	0.52	0.84	4.3	2.8	1.5	0.54	0.35	0.68
K	1.77	0.59	0.94	4.1	2.7	1.4	0.52	0.24	0.47
L	2.81	0.45	0.92	3.2	2.1	1.1	0.52	0.48	0.42
M	3.46	0.65	0.69	2.6	2.5	0.1	0.04	0.31	0.34

Tablo 5. Birleşik dönemler (II. Durum) deprem karakteristikleri
Table 5. Earthquake characteristics of joint terms (State II)

Dönem	Oluşum Sayısı-Magnitüd İlişkisi			Magnitüd Farkı ve Oranları				Azalm İlişkisi	
	a	b	R ²	M ₀	M ₁	M ₀ -M ₁	M ₁ /M ₀	p	R ²
A	0.49	0.55	0.88	3.3	2.6	0.7	0.79	0.24	0.47
B+C+D+E	2.90	0.58	0.95	3.3	3.1	0.2	0.94	0.22	0.58
F	3.26	0.47	0.77	3.4	2.5	0.9	0.74	0.35	0.89
G+H+I	2.65	0.66	0.90	3.4	2.8	0.6	0.82	0.52	0.61
J	1.54	0.52	0.84	4.3	2.8	1.5	0.65	0.35	0.68
K+L+M	2.84	0.90	0.91	4.1	2.7	1.4	0.66	0.23	0.54

Tablo 6. Yoğun dönemler (III. Durum) deprem karakteristikleri
Table 6. Earthquake characteristics of intensive terms (State III)

Dönem	Oluşum Sayısı-Magnitüd İlişkisi			Magnitüd Farkı ve Oranları				Azalm İlişkisi	
	a	b	R ²	M ₀	M ₁	M ₀ -M ₁	M ₁ /M ₀	p	R ²
1 (a)	0.49	0.55	0.88	3.3	2.6	0.7	0.79	0.24	0.47
1 (b)	1.26	0.70	0.95	3.3	3.1	0.2	0.94	0.47	0.83
2 (a)	3.26	0.47	0.77	3.4	2.5	0.9	0.74	0.35	0.89
2 (b)	2.42	0.55	0.78	3.4	2.6	0.8	0.76	0.42	0.47
3 (a)	1.54	0.52	0.84	4.3	2.8	1.5	0.65	0.35	0.35
3 (b)	2.27	0.57	0.96	4.1	3.2	0.9	0.78	0.26	0.53

Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışmada, Oymapınar barajı (Antalya) bölgesi rezervuar kaynaklı deprenselliği incelenmiştir.

Baraja ait deprem ve su seviyeleri verileri DSİ Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. Oymapınar baraj bölgesi 0.5°'lik çevreleyen alanda STO ve STS

dönemlerinde depremsellik incelenmiştir. Deprem karakteristiklerinin incelenmesi amacı ile, Oymapınar barajı için STS dönemine ait olan 29.05.1984-08.05.1986 tarihleri arasındaki depremlerin oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi, en büyük artçı şok magnitüdü ile (M_1) ana şok (M_0) magnitüdü arasındaki fark (M_0-M_1), M_1/M_0 oranı, ve depremlerin öncü-artçı şoklarının zamansal dağılımları saptanmıştır.

Oymapınar Barajı'nda yaklaşık 5 yıl olan STO döneminde (01.01.1979-09.08.1983) 170 deprem olmasına karşın, barajın Ağustos 1983'te su tutmaya başlamasıyla beraber 1986 yılı sonuna kadar 340 deprem oluşmuştur. 1987 yılı ile inceleme süresi sonu olan Eylül 1996 arasında kalan dönemde sismik aktivite azalmıştır.

Barajda oluşan depremlerin zamana bağlı magnitüd dağılımları (Şekil 9) incelendiğinde ise su tutma ile birlikte, özellikle ilk iki senelik dönemde gözlenen kümelenme dikkate değerdir. Bu sürede, 13.03.1985 tarihinde $M_d=4.3$ ve 14.03.1985 tarihinde de $M_d=4.1$ magnitüdüdeki depremler, Oymapınar barajında kaydedilmiş en büyük depremlerdir. Su tutma ile beraber, sismik aktivitedeki artış 1987 yılından sonra azalmaya başlamıştır. Barajın su tutmasıyla gözlenen deprem sayısındaki dikkate değer artış, inceleme alanındaki depremlerin rezervuar kaynaklı olması ile açıklanabilir.

Oymapınar barajının deprem karakteristiklerini incelemek amacıyla, STS dönemde deprem sayısında artışın fazla olduğu ve büyük magnitüdü depremlerin olduğu 29.05.1984 tarihinden depremlerin azaldığı 08.05.1986 tarihine kadar olan süre Ardışık Dönemler (I), Birleşik Dönemler (II) ve Yoğun Dönemler (III) olarak incelenmiştir. I, II ve III durumlarında incelenen depremler için a ve b katsayıları, M_0-M_1 ve M_1/M_0 değerleri, zamansal dağılım katsayısı olan p-değeri bulunmuştur.

I durumunda; b katsayıları en küçük 0.30 ve en büyük 0.80 olarak hesaplanmıştır. Bu dönemdeki a değerleri ise 0.43 ile 3.46 arasındadır. M_0-M_1 0.10 ile 0.90 arasında, M_1/M_0 ise 0.03 ile 0.54, p değerleri 0.20 ile 0.70 arasında değişmektedir.

II durumunda ise; incelenen 29.05.1984-08.05.1986 tarihleri arasında; A, F, J öncü dönemlerinde düşük b değerine karşılık (0.55, 0.47, 0.52), B+C+D+E, G+H+I, K+L+M artçı dönemlerinde b değerleri daha yüksektir (0.58, 0.66, 0.90). M_0-M_1 , öncü dönemlerde büyük (0.70, 0.90, 1.50), artçı dönemlerde daha küçüktür (0.20, 0.60, 1.40). M_1/M_0 ise öncü dönemde küçük, artçı dönemde büyük değerler göstermektedir. Bu inceleme grubunda elde edilen p değerleri 0.22 ve 0.52 arasında değişmektedir.

III durumunda; 20.09.1984-09.11.1984, 29.05.1984-31.05.1984 ve 13.03.1985-18.03.1985 zaman aralıklarındaki depremler değerlendirilmiştir. İncelenen öncü dönem b değerleri (0.55, 0.47, 0.52),

artçı dönem b değerlerinden küçük (0.70, 0.55, 0.57) katsayılarıdır. M_0-M_1 , ise öncü dönemlerde büyük (0.70, 0.90, 1.50), artçı dönemlerde ise küçüktür (0.20, 0.80, 0.90). M_1/M_0 ise, öncü dönemlerde küçük (0.79, 0.74, 0.65) ve artçı dönemlerde (0.94, 0.76, 0.78) daha büyüktür. p değerleri 0.24 ile 0.47 arasında değişmektedir.

Oymapınar barajı deprem karakteristiklerinin incelenmesinde I, II, III inceleme durumlarında $b \leq 1$ olarak saptanan b değerleri de Gupta ve Rastogi (1976)'nın sonucunu sağlamamaktadır. I inceleme durumunda elde edilen b değerleri öncü şok-artçı şok grubu olarak irdelenmeye elverişli değildir. II ve III inceleme durumlarındaki dönemlerin Berg (1968) ile Rastogi ve diğ. (1997)'de belirtildiği gibi, öncü şok b değerleri küçük, artçı şok b değerleri yüksektir. Düşük b değerleri yüksek gerilme düşümü, yüksek b değerleri ise düşük gerilme düşümüne karşılık geldiğinden, artçı dönemlerdeki yüksek b değerleri, oluşan depremler sonucunda gerilme düşümündeki azalmayı işaret etmektedir. Oymapınar barajı II ve III durumlarında bulunan dönemlerde, yüksek b değerlerine karşılık düşük M_0-M_1 ve yüksek M_1/M_0 değerleri Papazachos ve diğ. (1967), Chaudhury ve Srivastava (1973), Rastogi ve diğ. (1995; 1997)'nin önerilerini desteklemektedir.

Tüm durumlar için sismik etkinlik küçük p değerleri göstermektedir; ancak karakter olarak Değiştirilmiş Omori Bağıntısını sağlamamaktadır. Gupta (2002)'ye göre; rezervuar kaynaklı depremlerin artçı şokları zamana göre yavaş azalmayı gösterirler. Elde edilen küçük p değerleri incelenen dönemlerde bölgedeki sismik aktivitenin yavaş sönümlendiğinin işareti olabilir. Bölge, tektonik depremlerde olduğu gibi büyük bir deprem ve artçı depremlerinin hızlı azalmayı ilişkisini göstermemektedir.

Türkiye'de 617 adet yapılmış ve 68 adet yapımı devam eden baraj bulunmaktadır. Bu barajların civarında yalnızca 6 barajda, toplam 4 geniş bantlı sismometre ve 8 adet ivme ölçer çalışmaktadır. Yapımı ve projesi devam eden barajlarda deprem kayıtlarının bulunmaması rezervuar kaynaklı depremlerin saptanmasında en önemli eksikliklerdir. Bu depremlerin kaydedilmesi ve incelenmesi gerek baraj, gerekse baraj çevresi için büyük önem taşımaktadır.

Summary

Within the scope of this study; we investigated induced seismicity of Oymapınar Dam in Antalya. The observation covers before loading water (STO) and after loading water (STS) around the filling of the dam in 09.08.1983. After impoundment, the earthquake frequencies during the STS period increases. The earthquake characteristics have been determined from the magnitude-frequency distribution, the relationship between the magnitudes of the mainshock and the largest aftershock (M_0-M_1 , M_1/M_0) and the temporal

distributions of the foreshocks and aftershocks respectively between the dates of 29.05.1984-08.05.1986, all belonging to STS periods. While investigating the earthquakes, we determined three states; Term I (Successive State), Term II (Joint State) and Term III (Intensive State). The b values of the earthquake frequencies are small in states I, II and III. Foreshock b values are low whereas b values are high in II and III states. In the same states (II, III) we obtained large b values with small M_0 - M_1 values and large M_1/M_0 values. The p values are generally low and the earthquake characteristics do not support the Modified Omori Law. Recording and investigating reservoir induced seismicity plays an important role in the study of the seismicity patterns of the region concerned.

Katkı Belirtme: Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin T-876/02062006 numaralı projesi ile desteklenmiştir. Verilerin sağlandığı DSİ Genel Müdürlüğü (Ankara) ve yardımlarından dolayı Sn. Gülnaz Kocabaş'a teşekkür ederiz.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Assumpçao, M., Marza, V., Barros, L., Chimpliganond, C., Soares, E.J., Carvalho, J., Caixeta, D., Amorim, A., Cabral, E., 2002,** Reservoir induced seismicity in Brazil, *Pure and Appl. Geophys.*, 159, 597-612.
- Bath, M., 1965,** Lateral inhomogeneities in the upper mantle, *Tectonophysics*, vol: 2,483-514.
- Berg, E., 1968,** Relation between earthquake foreshock stress and main shocks, *Nature*, 219, 1141-1143.
- Carder, D.S., 1945,** Seismic investigations in the Boulder Dam area, 1940-1944, and the influence of reservoir loading on earthquake activity. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 35, 175-192.
- Chadha, R. K., Kuempel, H.-J., Shekar, M., 2008,** Reservoir Triggered Seismicity (RTS) and well water level response in the Koyna-Warna region, India, *Tectonophysics*, 456, 94-102.
- Chaudhury, H.M. and Srivastava, H.N., 1973,** The time of occurrence and the magnitude of the largest aftershock over India, *Pure and Appl. Geophys*, 105, 770-780.
- Enescu, B. and Ito, K., 2002,** Spatial analysis of frequency distribution and decay rate of aftershock activity of the 2000 Western Tottori earthquake, *Earth Planets Space*, 54, 847-2002.
- Frohlich, C. and Davis, S., 1993,** Teleseismic b values: or, much ado about 1.0, *J. Geophys. Res.*, 98, 631-644.
- Guo, Z. and Ogata, Y., 1997,** Statistical relations between the parameters of aftershocks in time, space and magnitude, *Journal of Geophysical Research*, vol: 102, No: B2, 2857-2873.
- Gupta, H.K., Mohan, I. and Narain H., 1972,** The Broach earthquake of March 23, 1970, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 62, 47-61.
- Gupta, H.K. and Rastogi B.K., 1976,** *Dams and Earthquakes*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 0-444-41330-8.
- Gupta, H.K. and Chadha, R.K., 1995,** *Induced Seismicity*, Birkhauser, Basel-Boston-Berlin, 3-7643-5237-X.
- Gupta, H.K., 2002,** A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India, 58, 279-310.
- Gupta, H.K., 2005,** Artificial water reservoir-triggered earthquakes with special emphasis at Koyna, *Current Science*, vol:88, no:10, 1628-1631.
- Gutenberg, R. and Richter, C.F., 1954,** Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration, *Bull. Seis and Soc. Am.*, 32, 163-191.
- Kangi, A., and Heidari, N., 2008,** Reservoir induced seismicity in Karun III dam (Southwestern Iran), *J. Seismology*, 12, 519-527.
- Kisslinger, C. and Jones, L.M., 1991,** Properties of aftershocks sequences in Southern California, *J. Geophys. Res.*, 96, 11, 947- 11, 958
- Kisslinger, C., 1996,** Aftershock and fault-zone properties, *Adv. Geophys.*, 38, 1-36.
- Kocabaş, G. ve Ada, E., 1988,** Oymapınar Baraj Gölünün Depremler Üzerine Etkisinin Araştırılması, *Deprem Araştırma Bülteni*, 60, 37-144.
- Kocabaş, G. ve Ada, E., 1992,** Oymapınar Baraj Gölünün Depremler Üzerine Etkisinin Araştırılması, DSİ Rapor V, 1-18.
- Kocabaş, G. ve Ada, E., 1998,** Oymapınar Baraj Gölünün Depremler Üzerine Etkisinin Araştırılması, DSİ Rapor VI, 1-18.
- Liu, Z.R., 1986,** Earthquake frequency and prediction, *Bull. Sais. Soc. Am.*, 74, 255-265.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradisis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N., Veis, G., 2000,** Global positioning system constrains on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus : *Journal of Geophysical Research*, V. 105, no.B3, 5695-5719.
- Mc Evilly, T.V., and Casaday, K.B., 1967,** The earthquake sequence of september 1965 Near Antioch, California, *Bull. Seimol. Soc. Am.*, 57, 113-124.

- Mc Evilly, T.V., Bakun, W.W.H. and Casaday, K.B., 1967**, The Parkfield, California, earthquakes of 1966, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 57, 1221-1224.
- Mekkawi, M., Grasso, Jr., Schnegg, P.A., 2004**, A long-lasting relaxation of seismicity at Aswan reservoir Egypt, 1982-2001, *Bulletin of the Seismological of Society of America*, 94, 479-492.
- Mogi, K., 1962**, Study of elastic shocks caused by the fracture of heterogeneous materials and its relation to earthquake phenomena, *Bull. Earthquake Res. Int., univ. Tokyo*, 40, 125-173.
- Mogi, K., 1963**, Some discussions on aftershocks, foreshocks and earthquake swarms-the fracture of a semi-infinite body caused by an inner stress origin and its relation to the earthquake phenomena, *Bull. Earthquake Res. Inst.*, 41, 615-658.
- Mogi, K., 1967**, Regional variation of aftershock activity, *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo*, 46, 175-203.
- Olsson, R., 1999**, An estimation of the maximum b value in the Gutenberg-Richter relation, *Geodynamics*, 27, 547-552.
- Papazachos, B.C., 1974**, On the Relation between certain artificial lakes and the associated seismic sequences, Paper Presented at *Int. Collog. on Seismic Effects of Reservoir Impounding*, The Royal Society, London, March, 1973.
- Papazachos, B., Delibasis, N., Liapis, N., Mousoulidis, G. and Purcasu, G., 1967**, Aftershock sequence of some large earthquakes in the region Greece, *Ann. Geofia. (Rome)*, 20, 1-93.
- Rastogi, B.K., Chadha, R.K. and Sarma, S.P., 1995**, Investigation of June 7, 1988 earthquake magnitude 4.5 near Iddukki dam in Southern India, *Pure and Applied Geophysics*, 145, no:1, 109-122.
- Rastogi, B.K., Mandal, P. and Kumar, N., 1997**, Seismicity around Dhamni Dam, Maharashtra, India, *Pure and Applied Geophysics*, 150, 493-509.
- Scholz, C.H., 1968**, The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 58, 399-415.
- Simpson, D.W., Leith, W.S. and Scholz C.H., 1988**, Two types of reservoir-induced seismicity, 78, 6, 2025-2040.
- Turcotte, D.L., 1986**, A fractal model of crustal deformation, *Tectonophy*, 132, 261-269.
- Utsu, T., 1957**, Magnitude of Earthquakes and Occurrence of Their Aftershocks, *J. Seism., Soc., Japan*, II, 10, 35-45.
- Utsu, T., 1961**, A statistical study on the occurrence of aftershocks, *Geophys. Mag. (Tokyo)*, 30 (4), 523-605.
- Utsu, T., 1969**, Aftershocks and earthquake statistic I. some parameters which characterize an aftershock sequence and their interrelations, *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. 7 (Geophysics)*, 3, 129-195.
- Utsu, T., 1971**, Aftershock and Earthquake Statistic (III): Analyses of the Distribution of Earthquakes in Magnitude, Time and Space with Special Consideration to Clustering Characteristics of Earthquake Occurrence (1), *J. faculty Sci., Hokkaido University, Ser., VIII (Geophys.)*, 3, 379-441.
- Utsu, T., Ogata, Y., and Matsu'ura, R.S., 1995**, The centenary of the Omori formula for a decay law of aftershock activity, *J. Phys. Earth*, 43, 1-33.
- Warren, N.W. and Latham, G.V., 1970**, An experimental study of thermally induced microfracturing and its relation to volcanic seismicity, *J. Geophys. Res.*, 75, 4455-4464.
- Wessel, P. and W.H.F., Smith, 1998**, New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, 79, 579.
- Wiemer, S. and Mcnutt, S., 1997**, Variations in frequency-magnitude distribution with depth in two volcanic areas: Mounth St. Helens. Washington, and Mt. Spurr, Alaska, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 189-192.
- Wiemer, S. and Katsumata, K., 1999**, Spatial variability of seismicity parameters in aftershock zones, *J. Geophys. Res.*, 104, 13135-13151.
- Wiemer, S. and Mcnutt, S. And Wyss, M., 1998**, Temporal and three-dimensional spatial analysis of the frequency-magnitude distribution near Long Valley Caldera, California., *Geophys. J. Int.*, 134, 409-421.
- Wyss, M., Shimazaki, K., and Wiemer, S., 1997**, Mapping active magma chambers by b value beneath Off-Izu Volcano, Japan, *J. Geophys. Res.*, 102, 20, 413-20, 433.
- Yağmurlu, F. ve Şentürk, M., 2005**, Güneybatı Anadolu'nun güncel tektonik yapısı, Türkiye Kuvaterner Sempozyumu, TURQUA-V, 55-61.
<http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=90>
http://www.emsc-csem.org/index.php?page=current&sub=recent&evt=20080512_SICHUAN,
http://www.rfa.org/english/news/china/dam_quake-02042009103653.html/ChinaSichuanZipingpuDamFautline020409.jpg
www.sciencemag.org

EK 1:

A		
Tarih	Saat	Magnitüd
29.05.1984	12:00	3.3
29.05.1984	12:02	2.5
29.05.1984	12:02	1.9
29.05.1984	13:08	0.8
29.05.1984	13:32	2.6
29.05.1984	13:34	1.7
29.05.1984	13:54	1.6
29.05.1984	13:57	1.6
29.05.1984	14:01	1.9

B		
Tarih	Saat	Magnitüd
29.05.1984	15:00	3.3
29.05.1984	15:06	1.4
29.05.1984	15:33	2.4
29.05.1984	15:53	1.7
29.05.1984	16:05	1.8
29.05.1984	16:22	1.5
29.05.1984	16:25	0.8

C		
Tarih	Saat	Magnitüd
29.05.1984	18:31	3.1
29.05.1984	18:33	2
29.05.1984	19:09	1.7
29.05.1984	19:59	1.9
29.05.1984	20:27	1
29.05.1984	20:28	1.6
29.05.1984	20:39	0.6
30.05.1984	00:16	1.3
30.05.1984	12:49	2
30.05.1984	23:32	0.9
31.05.1984	01:30	1.9
02.06.1984	03:17	0.7
05.06.1984	10:12	0.6
08.06.1984	01:10	0.8
11.06.1984	09:54	2.5
11.06.1984	11:54	1
11.06.1984	18:52	1.8

D		
Tarih	Saat	Magnitüd
13.06.1984	17:06	3.2
13.06.1984	17:10	1.3
13.06.1984	22:33	1.7
14.06.1984	07:48	2.6
14.06.1984	11:43	0.9
14.06.1984	17:46	1.2
14.06.1984	20:51	0.7
14.06.1984	21:26	0.9
15.06.1984	07:27	0.5
16.06.1984	22:59	1.1
21.06.1984	17:38	1.1
25.06.1984	15:01	2.9
25.06.1984	23:14	0.8
07.07.1984	04:20	2.1
07.07.1984	16:04	1.3
20.07.1984	12:45	1
31.07.1984	22:47	2.4
19.08.1984	16:40	1.1

E		
Tarih	Saat	Magnitüd
20.08.1984	11:34	3.2
20.08.1984	20:54	2
22.08.1984	17:48	1.7
25.08.1984	12:36	3.1
08.09.1984	20:51	2.2
09.09.1984	06:03	2.4
11.09.1984	12:50	2.3
16.09.1984	15:56	2.1
19.09.1984	21:32	2.3
19.09.1984	22:37	2.6
20.09.1984	19:07	2.2
20.09.1984	19:08	1.3

F		
Tarih	Saat	Magnitüd
20.09.1984	21:32	3.4
21.09.1984	04:30	2.5
21.09.1984	13:31	2.1
21.09.1984	16:52	1.1
22.09.1984	22:18	1.3
02.10.1984	18:17	2.2
08.10.1984	06:57	2.1
21.10.1984	04:14	1.1

G		
Tarih	Saat	Magnitüd
27.10.1984	00:50	3.4
27.10.1984	07:54	2.2
28.10.1984	14:02	2.4
29.10.1984	20:53	2.7
01.11.1984	02:08	2.1

H		
Tarih	Saat	Magnitüd
06.11.1984	02:25	3.3
06.11.1984	04:45	2
07.11.1984	13:18	2.4
07.11.1984	22:31	2.4
08.11.1984	05:18	2.5
09.11.1984	22:28	1.9
10.11.1984	04:17	2.6
17.11.1984	16:19	1.7
18.11.1984	22:45	1.1
23.11.1984	18:10	1.4
24.11.1984	15:11	1.1
25.11.1984	06:23	2.2
25.11.1984	20:57	1.8
26.11.1984	02:22	2.2
26.11.1984	03:01	1.8
26.11.1984	09:15	2.1
26.11.1984	11:53	2.6
01.12.1984	16:33	1.8
02.12.1984	16:51	2
07.12.1984	16:08	1.6
07.12.1984	19:27	2.1
07.12.1984	21:15	1.1
11.12.1984	03:38	2.7
13.12.1984	00:32	2.5
18.12.1984	03:46	1.3
18.12.1984	08:31	1.9
29.12.1984	06:20	1.8
19.01.1985	00:44	1.2

I		
Tarih	Saat	Magnitüd
22.01.1985	09:03	3.2
25.01.1985	14:12	1.3
26.01.1985	11:03	1.5
31.01.1985	08:55	1.1
31.01.1985	10:18	1.5
08.02.1985	21:39	2.3
14.02.1985	21:10	2.2
18.02.1985	13:15	2.8
22.02.1985	04:09	2.2
06.03.1985	21:33	1.5
06.03.1985	23:04	0.9

J		
Tarih	Saat	Magnitüd
13.03.1985	19:45	4.3
13.03.1985	19:59	1.6
13.03.1985	21:12	2.3
13.03.1985	22:43	1.6
14.03.1985	02:57	2.2
14.03.1985	10:01	2.8
14.03.1985	11:11	2

K		
Tarih	Saat	Magnitüd
14.03.1985	15:06	4.1
14.03.1985	15:08	2
14.03.1985	18:11	1.5
14.03.1985	21:44	1.8
14.03.1985	23:25	2.7
15.03.1985	00:01	1.1
15.03.1985	04:36	1.1
15.03.1985	05:02	2.5
15.03.1985	05:44	1.9
15.03.1985	21:51	1
16.03.1985	15:58	1.6

L		
Tarih	Saat	Magnitüd
17.03.1985	12:40	3.2
18.03.1985	14:24	1.7
18.03.1985	21:56	1.6
27.03.1985	05:47	1.5
27.03.1985	13:51	1.1
28.03.1985	13:52	2
28.03.1985	20:24	2.1
28.03.1985	22:01	1.1
01.04.1985	17:29	2
01.04.1985	19:36	1.9

M		
Tarih	Saat	Magnitüd
06.04.1985	20:30	2.6
07.04.1985	02:04	1.1
14.04.1985	08:19	2.2
07.05.1985	10:58	2.3
16.05.1985	09:28	2.1
02.06.1985	15:50	1.1
13.06.1985	06:20	2.1
04.08.1985	15:03	1.7
22.08.1985	12:38	2.4
07.09.1985	17:29	2
14.09.1985	06:58	1.1
24.09.1985	09:00	2.2
24.09.1985	15:35	2.5
03.10.1985	13:17	1.7
18.10.1985	00:43	2.3
30.10.1985	10:57	2.1
22.11.1985	12:26	1.4
23.11.1985	02:03	2.1
29.11.1985	00:21	1.3
09.12.1985	11:14	2.1
30.01.1986	21:24	2.1
14.03.1986	15:37	2
20.03.1986	01:03	2
03.04.1986	03:26	2
05.04.1986	08:52	2.2
08.04.1986	12:45	1.1
26.04.1986	10:46	1.8
08.05.1986	18:37	1.6
21.06.1986	02:51	3.2