



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OYMAPINAR ve ALTINKAYA BARAJLARI
REZERVUAR KAYNAKLI DEPREMLERİNİN
İNCELENMESİ**

Hande AYKURT

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

Prof.Dr. Yıldız ALTINOK

Ocak, 2008

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OYMAPINAR ve ALTINKAYA BARAJLARI
REZERVUAR KAYNAKLI DEPREMLERİNİN
İNCELENMESİ**

Hande AYKURT

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

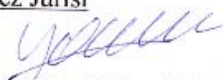
Prof.Dr. Yıldız ALTINOK

Ocak, 2008


İSTANBUL

Bu çalışma 28/01/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Tez Jürisi


Prof. Dr. Yıldız ALTINOK
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Demir KOLÇAK
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Ali PINAR
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Bedri ALPAR
İstanbul Üniversitesi
Deniz Bilimleri ve İşl. Enst.


Doç. Dr. A. Oğuz ÖZEL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliđinin T-876/02062006 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca değerli bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, çalışma süresince hiçbir yardımını esirgemeyen ve bana yol gösteren, değerli hocam, Sayın Prof. Dr. Yıldız ALTINOK'a sonsuz teşekkürler ederim.

Yüksek lisans öğrenimimde katkılarında dolayı, başta bölüm başkanımız Sayın Prof.Dr. Demir KOLÇAK olmak üzere İ.Ü. Jeofizik Mühendisliği bölümünde bulunan tüm öğretim üyelerine teşekkürlerimi borç bilirim.

Yüksek lisans tez çalışmamda; Oymapınar ve Altınkaya Barajları için deprem verilerini sağlayan DSİ Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları (YAS) Daire Başkanlığı Jeofizik Etütler Şube Müdürlüğü'ne ve söz konusu barajlara ait su seviyesi verilerini sağlayan DSİ Genel Müdürlüğü İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı İşletme Hidrolojisi Şube Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmada kullandığım verilerin sağlanma aşamasından, tezimin yazma aşamasına kadar bana sağladığı tüm bilgi ve alakası için Sayın Jeofizik Yük. Müh. Gülnaz KOCABAŞ'a teşekkür ederim.

Çalışma konumda bilgilerini benimle paylaşan Sayın Prof.Dr. Haluk EYİDOĞAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamın oluşmasında yardımlarını benden esirgemeyen Jeofizik Müh. Savaş CEYLAN'a içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma süresince beni destekleyen başta Araş. Gör. Oya TARHAN BAL ve Araş. Gör. Hakan ALP olmak üzere, Araş. Gör. Savaş KARABULUT'a ve tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim. Kendisi uzaklara gitmiş olsada, dostluğu ile her zaman yanımda olan değerli dostum Jeofizik Yük. Müh. Ayça YURTSEVEN'e teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca maddi ve manevi olarak yanımda olan, beni yetiştiren, hayatın iyi ve kötü gününde bana güç veren aileme minnettarım. Onlar olmasaydı hayat bu kadar kolay ve güzel olmazdı. Bu tez çalışmasını anneme, babama ve kardeşim Hilal'e armağan ederim...

Ocak, 2008

Hande AYKURT

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	IV
TABLO LİSTESİ	VIII
SEMBOL LİSTESİ	IX
ÖZET.....	X
SUMMARY	XI
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1. REZERVUAR KAYNAKLI DEPREMSELLİK VE DÜNYA'DAN ÖRNEKLER	4
2.1.1. Vajont Barajı.....	5
2.1.2. Aswan Barajı	5
2.1.3. Koyna Barajı.....	7
2.2. TÜRKİYE'DEN ÖRNEKLER	8
2.2.1. Oymapınar Barajı	9
2.2.1.1. Bölgenin Jeolojisi.....	11
2.2.1.2. Bölgenin Aletsel Donanımı ve Depremselliği	13
2.2.2. Altınkaya Barajı.....	15
2.2.2.1. Bölgenin Jeolojisi.....	17
2.2.2.2. Bölgenin Alet Donanımı ve Depremselliği.....	18
3. MALZEME VE YÖNTEM	21
3.1. DEPREM DIŞ MERKEZ VE MAGNİTÜDLERİNİN BELİRLENMESİ	21
3.2. REZERVUAR DEPREMLERİNİN KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ	24
3.2.1. Oluşum Sayısı-Magnitüd İlişkisi	25
3.2.2. En Büyük Artçı Şok Magnitüdünün, Ana Şok Magnitüdüne Oranı	26
3.2.3. Rezervuar Depremlerinin Öncü ve Artçı Şoklarının Zamansal Azalmaları	28

4. BULGULAR	33
4.1. OYMAPINAR BARAJI BULGULARI	33
4.1.1. Su Tutma Öncesi (STO) Depremsellik	38
4.1.2. Su Tutma Sonrası (STS) Depremsellik	40
4.1.3. Oymapınar Barajı Deprem Karakteristikleri.....	44
4.1.3.1. Oluşum Sayısı-Magnitüd İlişkisi	46
4.1.3.2. En Büyük Artçı Şok Magnitüdünün, Ana Şok Magnitüdüne Oranı	49
4.1.3.3. Öncü ve Artçı Şokların Zamansal Azalımları	50
4.2. ALTINKAYA BARAJI BULGULARI	54
4.2.1. Su Tutma Öncesi (STO) Depremsellik	57
4.2.2. Su Tutma Sonrası (STS) Depremsellik	60
4.2.3. Altinkaya Barajı Deprem Karakteristikleri	62
4.2.3.1. Oluşum Sayısı-Magnitüd İlişkisi	63
4.2.3.2. En Büyük Artçı Şok Magnitüdünün, Ana Şok Magnitüdüne Oranı	63
4.2.3.3. Öncü ve Artçı Şokların Zamansal Azalımları	63
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	65
KAYNAKLAR	69
EK	74
KEBAN BARAJI ÖRNEĞİ	74
ÖZGEÇMİŞ	79

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: Mead gölü su seviyesi-bölgesel depremsellik grafiği.....	1
Şekil 1.2: Baraj ve baraj çevrelerinde oluşan tetiklenmiş depremselliğin değişiminin dünyadaki dağılımı.....	3
Şekil 2.1: Vajont barajı su seviyesi-deprem sayısı grafiği.....	5
Şekil 2.2: Aswan baraj yeri	6
Şekil 2.3: 1982-1997 yıllarında Aswan baraj bölgesi depremselliği ve su seviyesi değişimi	7
Şekil 2.4: Türkiye'de barajlar ve Hidroelektrik santraller	8
Şekil 2.5: Oymapınar barajı ve Altınkaya barajının konumu	9
Şekil 2.6: Oymapınar barajı genel görünüşü.....	10
Şekil 2.7: Oymapınar barajı çevresi diri fay haritası.....	11
Şekil 2.8: Oymapınar barajı DSİ deprem istasyonları	14
Şekil 2.9: Oymapınar baraj bölgesinin 1900-2005 yılları arasındaki deprem dış merkez dağılımları	15
Şekil 2.10: Altınkaya Barajı genel görünüşü	16
Şekil 2.11: Altınkaya barajı çevresinin diri fay haritası.....	17
Şekil 2.12: Altınkaya barajı DSİ deprem istasyonları.....	19
Şekil 2.13: Altınkaya baraj bölgesi 1900-2005 yılları arasında oluşmuş depremlerin dış merkezleri dağılımı	20
Şekil 3.1: Deprem oluşum modelleri	30
Şekil 3.2: 13 Eylül 1967 Koyna barajı depremi öncü şok-artçı şok dağılımı	31
Şekil 3.3: 10 Aralık 1967 Koyna depremi şok-artçı şok dağılımı	31
Şekil 4.1: Oymapınar barajı, 1°'lik bölge için, zamana bağlı STO+STS dönemi birikimli deprem sayısı.....	34
Şekil 4.2: Oymapınar barajı , 1°'lik bölge için, STO+STS dönemi magnitüd-deprem sayısı dağılımı	34
Şekil 4.3: Oymapınar barajı, 1°'lik bölge için, STO+STS dönemi yıllık deprem sayısı grafiği	35

Şekil 4.4: Oymapınar barajı, 1°'lik bölge için, oluşum sayısı-magnitüd grafiği	35
Şekil 4.5: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, zamana bağlı STO+STS dönemi birikimli deprem sayısı.....	36
Şekil 4.6: Oymapınar barajı , 0.5°'lik bölge için, magnitüd- deprem sayısı dağılımı	36
Şekil 4.7: Oymapınar barajı , 0.5°'lik bölge için, STO+STS dönemi yıllık deprem sayısı grafiği	37
Şekil 4.8: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, STO+STS dönemi magnitüd-zaman dağılımı	37
Şekil 4.9: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, STO+STS dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği	38
Şekil 4.10: Oymapınar Barajı, 1°'lik bölge için, STO dönemi deprem dış merkez dağılımları	38
Şekil 4.11: Oymapınar barajı, 1°'lik bölge için,STO dönem oluşum sayısı-magnitüd grafiği	39
Şekil 4.12: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, STO dönemi deprem dış merkez dağılımları	39
Şekil 4.13: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, STO dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği	40
Şekil 4.14: Oymapınar barajı, 1°'lik bölge için, STS dönem deprem dış merkez dağılımları	41
Şekil 4.15: Oymapınar barajı, 1°'lik bölge için, STS dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği	41
Şekil 4.16: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, STS dönem deprem dış merkez dağılımları	42
Şekil 4.17: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, STS dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği	42
Şekil 4.18: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, aylık deprem sayısı-su seviyesi grafiği	43
Şekil 4.19: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, 1984-1986 yılları arası deprem sayısı-su seviyesi grafiği.....	44
Şekil 4.20: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, 1984-1986 yılları arası magnitüd-zaman dağılımı	44

Şekil 4.21: Oymapınar barajı II. durum oluşum sayısı-magnitüd grafikleri.....	47
Şekil 4.22: Oymapınar barajı III. durum oluşum sayısı-magnitüd grafikleri.....	48
Şekil 4.23: Oymapınar barajı II. durum için deprem oluş sayısının zamansal azalımı...	51
Şekil 4.24: Oymapınar Barajı III durumu için deprem oluş sayısının zamansal azalımı	52
Şekil 4.25: Altınkaya barajı, 1°'lik bölge için, zamana bağlı STO+STS dönemi birikimli deprem sayısı.....	54
Şekil 4.26: Altınkaya barajı, 1°'lik bölge için, STO+STS dönemi magnitüde- deprem sayısı dağılımı	55
Şekil 4.27: Altınkaya barajı, 1°'lik bölge için, STO+STS dönemi, oluşum sayısı- magnitüd grafiği	55
Şekil 4.28: Altınkaya barajı, 0.5°'lik bölge için, zamana bağlı STO+STS dönemi birikimli deprem sayısı.....	56
Şekil 4.29: Altınkaya barajı, 0.5°'lik bölge için, STO+STS dönem magnitüde- deprem sayısı dağılımı	56
Şekil 4.30: Altınkaya barajı, 0.5°'lik bölge için, STO+STS dönemi, oluşum sayısı- magnitüd grafiği	57
Şekil 4.31: Altınkaya barajı,1°'lik bölge için, STO dönemi deprem dış merkez dağılımları	58
Şekil 4.32: Altınkaya barajı, 1°'lik bölge için, STO dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği	58
Şekil 4.33: Altınkaya barajı, 0.5°'lik bölge için, STO dönemi deprem dış merkez dağılımları	59
Şekil 4.34: Altınkaya barajı, 0.5°'lik bölge için, STO dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği	59
Şekil 4.35: Altınkaya barajı, 1°'lik bölge için, STS dönem deprem dış merkez dağılımları	60
Şekil 4.36: Altınkaya barajı, 1°'lik bölge için, STS dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği	61
Şekil 4.37: Altınkaya barajı , 0.5°'lik bölge için, STS dönemi deprem dış merkez dağılımları	61
Şekil 4.38: Altınkaya barajı , 0.5°'lik bölge için, STS dönemi oluşum sayısı-magnitüd grafiği	62

Şekil 4.39: Altınkaya barajı, 0.5°'lik bölge için, deprem karakteristiği oluşum sayısı- magnitüd grafiği	63
Şekil 4.40: Altınkaya barajı, 0.5°'lik bölge için, STS dönemi deprem oluş sayısının zamansal azalımı	64
Şekil 1: :Keban barajı genel görünüşü	74
Şekil 2: Keban barajı çevresi diri fay haritası	75
Şekil 3: Keban barajı 4 Kasım 1973-31 Eylül 1974 tarihleri arasındaki birikimli deprem sayısı-zaman grafiği	76
Şekil 4: Keban barajı 4 Kasım 1973-31 Eylül 1974 tarihleri arasındaki depremlerin dış merkez dağılımları	76
Şekil 5: Keban barajı, 38°.5-39°.00 K ve 38°.75-39°.1 D koordinatları için, magnitüd- zaman dağılımı	77
Şekil 6: Keban barajı, 38°.5-39°.00 K ve 38°.75-39°.1 D için, aylık deprem sayısı-su seviyesi grafiği	77

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1: Dünya’da rezervuar kaynaklı depremselliğin incelendiği barajlar	2
Tablo 1: Devamı.....	3
Tablo 2.1: Oymapınar Barajı genel özellikleri.....	10
Tablo 2.2: Oymapınar baraj bölgesi deprem istasyonları özellikleri	14
Tablo 2.3: Altınkaya Barajı genel özellikleri.....	16
Tablo 2.4: Altınkaya baraj bölgesi deprem istasyonları ve özellikleri.....	19
Tablo 3.1: Altı baraj kaynaklı depremin ana şok, en büyük artçı şok magnitüdüleri ve b değerleri	27
Tablo 4.1: Oymapınar barajı 1°’lik ve 0.5°’lik bölge için, STO+STS, STO ve STS dönemleri oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları.....	43
Tablo 4.2: Oymapınar barajı I. durum oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları.....	46
Tablo 4.3: Oymapınar barajı II. durum oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları	47
Tablo 4.4: Oymapınar barajı III. durum oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları	48
Tablo 4.5: Oymapınar barajı I. durum oluşum magnitüd farkı ve oranı değerleri.....	49
Tablo 4.6: Oymapınar barajı II. durum oluşum magnitüd farkı ve oranı değerleri	49
Tablo 4.7: Oymapınar barajı III. durum oluşum magnitüd farkı ve oranı değerleri	50
Tablo 4.8: Oymapınar barajı I. durum azalım ilişkisi değerleri.....	50
Tablo 4.9: Oymapınar barajı II. durum azalım ilişkisi değerleri.....	51
Tablo 4.10: Oymapınar barajı III. durum azalım ilişkisi değerleri	52
Tablo 4.11: Oymapınar barajı I. durum deprem karakteristikleri	53
Tablo 4.12: Oymapınar barajı II. durum deprem karakteristikleri.....	53
Tablo 4.13: Oymapınar barajı III. durum deprem karakteristikleri	53
Tablo 4.14: 1°’lik ve 0.5°’lik bölge için, $M_c=1.1$ için, STO+STS, STO ve STS dönemleri oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları.....	62
Tablo 4.15: Altınkaya barajı deprem karakteristikleri	64
Tablo 1: Keban barajı genel özellikleri.....	74
Tablo 2: Keban barajı deprem karakteristikleri	78

SEMBOL LİSTESİ

M_d : Süreye bağımlı magnitüd

h : Odak derinliği

V_p, V_s : P ve S dalga hızları

Δ : Dış merkez uzaklığı

D : Süre (saniye)

a : Birikimli deprem sayılarının logaritmaları ile magnitüdüleri arasındaki doğrunun birikimli deprem sayısı eksenini kestiği nokta

b : Birikimli deprem sayılarının logaritmaları ile magnitüdüleri arasındaki doğrunun eğimi

N : t süresinde deprem sayısı

c : Sabit

k : Sabit

p : Üstel azalım oranı

M_{min} : Minimum deprem magnitüdü

m : Toplam deprem sayısı

$n(t)$: Ana şoktan sonra t birim zamanda oluşan artçı deprem sayısı

M_0 : Ana şok magnitüdü

M_1 : En büyük artçı şok magnitüdü

ÖZET

OYMAPINAR ve ALTINKAYA BARAJLARI REZERVUAR KAYNAKLI DEPREMLERİNİN İNCELENMESİ

Rezervuar kaynaklı olarak adlandırılan baraj depremleri tetiklenmiş deprem türlerindedir. Ülkemizde Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapımı tamamlanmış olan 617 baraj ve 68 yapım halinde olan baraj ve hidroelektrik santral vardır. Çalışma kapsamında, ülkemizde yapımı tamamlanmış barajlardan olan Oymapınar Barajı (Antalya) ve Altinkaya Barajı (Samsun) depremleri incelenmiştir. İncelenen barajlara ait deprem verileri DSİ Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları (YAS) Daire Başkanlığı Jeofizik Etütler Şube Müdürlüğü'nden; barajlara ait su seviyesi verileri ise DSİ Genel Müdürlüğü İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı İşletme Hidrolojisi Şube Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında, Oymapınar ve Altinkaya barajlarının su tutma öncesi (STO) ve su tutma sonrası (STS) depremsellikleri ile STS dönem içindeki deprem karakteristikleri, magnitüd ve oluş sayısı dikkate alınarak belirlenen değişik dönemler için saptanmıştır. Deprem karakteristikleri saptanırken, Gutenberg ve Richter (1954) bağıntısı ile b değeri; ana şok magnitüdü M_0 , en büyük artçı şok magnitüdü M_1 olmak üzere, M_0-M_1 ve M_1/M_0 değerleri; Değiştirilmiş Omori Bağıntısı ile öncü şok ve artçı şokların zamansal azalım ilişkisi katsayısı olan p değerleri bulunmuştur.

Oymapınar barajı depremleri STS döneminde üç farklı durumda incelenmiştir. Özellikle **II** ve **III** durumlarında 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. **II** ve **III** durumlarında, 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 Bağıntısını sağlamamaktadır. Öncü-artçı şok modeli, genel olarak Mogi'nin 2. Tip'ine uymaktadır.

Altinkaya barajı STS dönemi deprem karakteristikleri veri yetersizliğinden dolayı tek bir dönem için incelenebilmiştir.

SUMMARY

INVESTIGATION OF RESERVOIR INDUCED EARTHQUAKES IN OYMAPINAR AND ALTINKAYA DAMS

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 the study, the earthquakes of Oymapinar Dam (Antalya) and Altinkaya Dam (Samsun), which are two samples of the constructed ones, are investigated. The earthquake and water level data of the dams, are obtained from DSI Geotechnical Services and Ground Water Department (YAS) and Department of Operation and Maintenance, respectively.

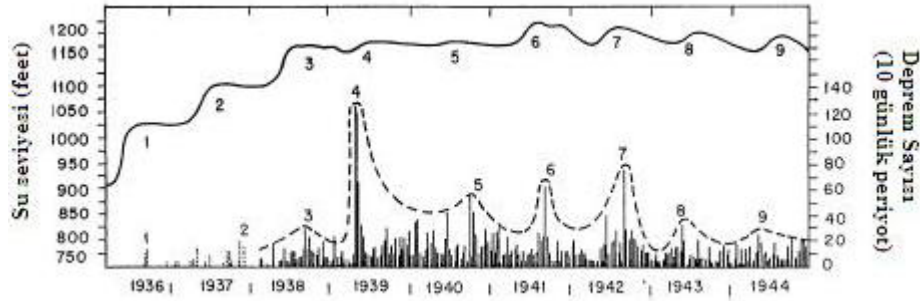
In the thesis, the seismic activity before water loading (STO) and after water loading (STS) of Oymapinar and Altinkaya Dams, and characteristics of the earthquakes are deduced, using the data for different periods that are determined by considering the number of occurrences and magnitudes. For the determination of earthquake characteristics, the b-value of Gutenberg and Richter (1954), and the M_0 - M_1 and M_1/M_0 values where M_0 and M_1 are the main shock magnitude and the largest aftershock magnitude respectively, are calculated. In addition, the p-values that indicate the decay rate of foreshocks and aftershocks by the time are obtained using the modified Omori Law.

The earthquakes in the Oymapinar Dam area are investigated for three different states in the STS period. In particular, in the second and third states, 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 and 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 in **II** and **III** states, it is consistent with the proposals of Papazachos et al. (1967), Chaudhury and Srivastava (1973), Rastogi and et al. (1995; 1997). The p-values are generally low and seismicity characteristics in the region do not obey the Modified Omori Law. In general, the foreshock-aftershock patterns are similar and correspond to Type 2 of Mogi's Model.

The earthquake characteristics for STS period in Altinkaya Dam could not be investigated due to the insufficient data.

1. GİRİŞ

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). İlk bilinen baraj depremi Amerika Birleşik Devletleri'nde Colorado nehri üzerinde bulunan Hoover barajının oluşturduğu Mead baraj gölünde 1935 yılında kaydedilmiştir (Gupta ve Chadha, 1995). Hoover barajı dolmadan önce Nevada-Arizona sınırında düşük olan sismik etkinlik 1936 yılında artmaya başlamıştır (Şekil 1.1). Barajın su tutmasıyla Mayıs, 1939 yılında 5.0 büyüklüğünde depremler oluşmuştur (Gupta, 2002).



Şekil 1.1: Mead gölü su seviyesi-bölgesel depremsellik grafiği (Carder, 1945'den değiştirilerek alınmıştır, Gupta, 2002)

Dünya üzerinde 95 bölgede barajların tetiklediği depremler kaydedilmiştir. Depremler magnitüdlere göre aşağıdaki şekilde gruplanmıştır:

- $M \geq 6$, 4 baraj
- $M = 5-5.9$, 10 baraj
- $M = 4-4.9$, 28 baraj
- $M < 4$, 53 baraj

Tablo 1.1'de magnitüdü 4'ün üzerinde deprem oluşturan barajlar yer almaktadır.

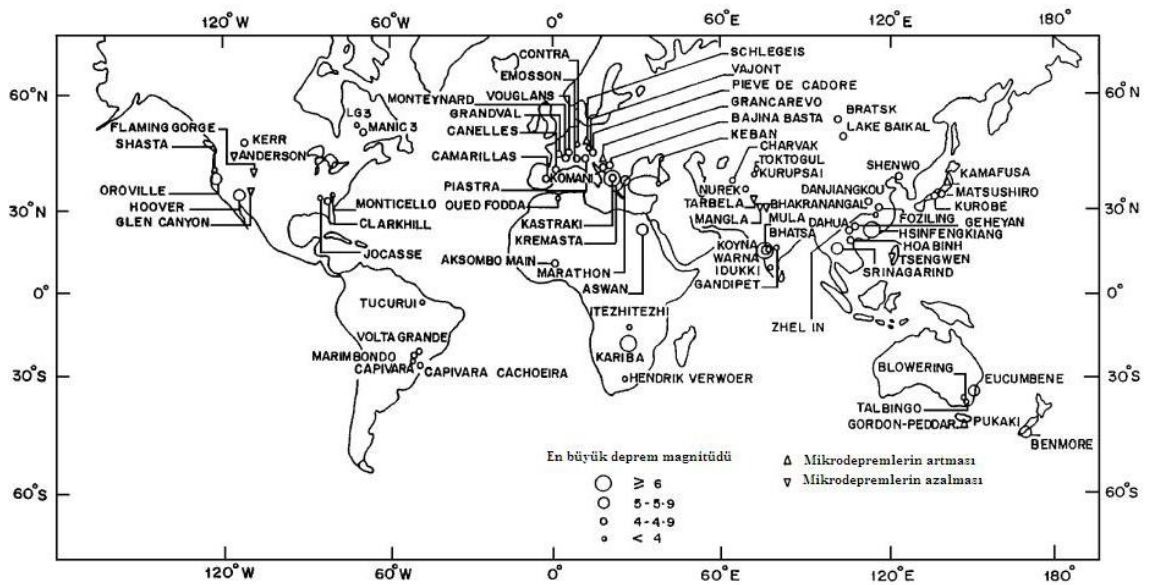
Ayrıca, barajın su yüklenmesi sonrasında 8 baraj bölgesinde mikrosismik etkinliğin azaldığı ve 16 bölgede ise tetiklenmiş deprenselliğin kanıtlanamadığı barajlar vardır. Şekil 1.2’de ise baraj ve barajların çevresinde oluşan deprenselliğin dünyadaki dağılımı gösterilmektedir (Gupta, 2002).

Tablo 1.1: Dünya’da rezervuar kaynaklı deprenselliğin incelendiği barajlar (Gupta, 2002)

Baraj adı	Ülke	Yükseklik	Hacim	Su tutma yılı	En büyük deprem yılı	Magnitüd-Şiddet
M ≥ 6						
Hsinfengkiang	Çin	105	13.896	1959	1962	6.1
Kariba	Zambiya	128	175.000	1958	1963	6.2
Koyna	Hindistan	103	2780	1962	1967	6.3
Kremasta	Yunanistan	160	4750	1965	1966	6.2
M 5 ≤ M ≤ 5.9						
Aswan	Mısır	111	164.000	1964	1981	5.6
Benmore	Y. Zelanda	110	2040	1964	1966	5.0
Charvak	Özbekistan	148	2000	1971	1977	5.3
Eucumbene	Avustralya	116	4761	1957	1959	5.0
Geheyang	Çin	151	3400	1993	1997	VI
Hoover	A.B.D	221	36.703	1935	1939	5.0
Marathon	Yunanistan	67	41	1929	1938	5.7
Oroville	A.B.D	236	4400	1967	1975	5.7
Srinagarind	Tayland	140	11.750	1977	1983	5.9
Warna	Hindistan	80	1260	1987	1993	5.0
M 4 ≤ M ≤ 4.9						
Aksombo Main	Gana	134	148.000	1964	1964	V
Bajina Basta	Yugoslavya	90	340	1966	1967	4.5-5.0
Bhatsa	Hindistan	88	947	1981	1983	4.9
Bratsk	Rusya	100	169		1996	4.2
Camarillas	İspanya	49	37	1960	1964	4.1
Canelles	İspanya	150	678	1960	1962	4.7
Capari-Cachoeira	Brezilya	58	180	19970	1971	VI
Clark Hill	A.B.D.	60	3517	1952	1974	4.3
Dahua	Çin	74.5	420	1982	1993	4.5
Danjiangkou	Çin	97	16.000	1967	1973	4.7
Foziling	Çin	74	470	1954	1973	4.5
Grandval	Fransa	88	292	1959	1963	V
Hoa Binh	Vietnam	125		1988	1989	4.9
Kastraki	Yunanistan	96	1000	1968	1969	4.6
Kerr	A.B.D.	60	1505	1958	1971	4.9
Komani	Arnavutluk	130	1600	1985	1986	4.2
Kurobe	Japonya	186	149	1960	1961	4.9
Lake Baikal	Rusya					4.0-4.8
Lake Pukaki	Y.Zelanda	106	9000	1976	1978	4.6
Manicouagan 3	Kanada	108	10.423	1975	1975	4.1
Marimondo	Brezilya	94	6150	1975	1975	IV
Monteynard	Fransa	155	275	1962	1963	4.9
Nurek	Tacekistan	317	1000	1972	1972	4.6
P.Colombia/V.Grande	Brezilya	40/56	1500/2300	1972-1973	1974	4.2
Piastra	İtalya	93	13	1965	1966	4.4

Tablo 1: Devamı

Pieve de Cadore	İtalya	116	69	1949	1950	V
Shenwo	Çin	50	540	1972	1974	4.8
Vouglans	Fransa	130	605	1968	1971	4.4
Mikrodeprem aktivitesinin azaldığı barajlar						
Anderson	A.B.D	72	110	1950		
Bhakranangal	Hindistan	226	9868	1958		
Flaming Gorge	A.B.D	153	4674	1962		
Glen Canyon	A.B.D	216	33.305	1963		
Ikawa	Japonya	104	151	1957		
Mangla	Pakistan	116	7250	1967		
Tarbela	Pakistan	143	13.960	1974		
Tsengwen	Tayvan	128	708	1973		
Diğer Barajlar						
Cabin Creek	A.B.D	49				
Clark Canyon	A.B.D	40				
Coyote Valley	A.B.D	50				
Disposal Wells,Ohio	A.B.D					
El Grado	İspanya	130				
Ghirni	Hindistan	16				
Kinnersani	Hindistan	61				
Palisades	A.B.D	82				
Parambikkulam	Hindistan	73				
Rockey Reach	A.B.D					
San Luis	A.B.D	116				
Sefid Rud	İran	106				
Sleepy Hollow oil field	Kanada					
Ukai	Hindistan	69				
Warragamba	Avustralya	137				



Şekil 1.2: Baraj ve baraj çevrelerinde oluşan tetiklenmiş depremselliğin değişiminin dünyadaki dağılımı (Gupta, 2002)

2. GENEL KISIMLAR

2.1. REZERVUAR KAYNAKLI DEPREMSELLİK VE DÜNYA'DAN ÖRNEKLER

Dünya üzerinde depremlerin oluşumlarını anlamak ve deprem üretecek bölgeleri incelemek yaşamsal ve ekonomik açıdan önemlidir. Depremler, doğal kaynaklı (tektonik, volkanik gibi) veya yapay kaynaklı (patlatmalar, baraj, maden ocağı gibi) olabilirler. Yapay su rezervuarları tüm dünyada elektrik enerjisi, sulama, sel baskınlarını koruma amacıyla kurulmaktadır. Barajların su tutulmasıyla üretmiş oldukları depremler önemli çalışma konularındandır.

Barajın su dolumu ile depremsellikte güçlü bir artış görülür (Simpson ve diğ., 1988). Bazı durumlarda ise söz konusu artışın doğrudan baraj ile ilgili olup olmadığı hakkında yeterli kanıt olmayabilir. Barajın su tutma öncesi dönemine göre, ilk su tutma dönemi ile depremselliğin artışı arasında genellikle ilişki vardır.

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

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

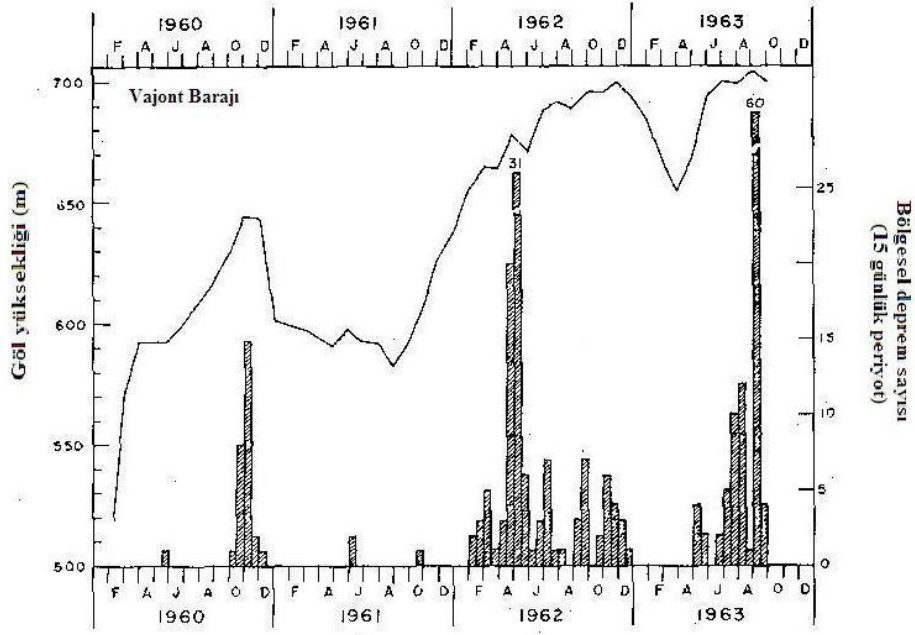
Barajın derinliği ve hacminin yanısıra, bölgenin jeolojisi ve gerilme rejimi gibi faktörler rezervuar kaynaklı depremsellik için önemli parametrelerdir (Assumçao ve diğ., 2002).

Dünya çapında birçok bölgede yapay su rezervuarlarının dolumunun depremleri etkilediği, deprem sayısındaki artışın barajların su tutulmasıyla oluştuğu ileri sürülmektedir (Gupta ve Rastogi, 1976). Barajların su tutma öncesi ve sonrasında

bölgenin depremselliğinin incelenmesi tetiklenmiş depremselliği açıkça ortaya koyar. Dünya’da rezervuar kaynaklı depremsellik ile ilgili yapılan birçok çalışma vardır ve önemli örnekler aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Vajont Barajı

Vajont barajı Kuzey İtalya’da, Venedik’in 100 km kuzeyinde bulunmaktadır. Baraj; 266 m yüksekliği ve 150 milyon m³’lük hacmi ile dünyanın en büyük barajlarından biridir. Vajont barajındaki su seviyesi ve sarsıntılar incelendiğinde birbirlerine uyumlu ilişkiler gözlenmiştir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, barajdaki su seviyesindeki üç önemli yükselme ile oluşan deprem sayısı da artış izlenmekteyken, her artışın ardından oluşan su seviyesindeki azalış ile sismik etkinlik azalış göstermiştir.

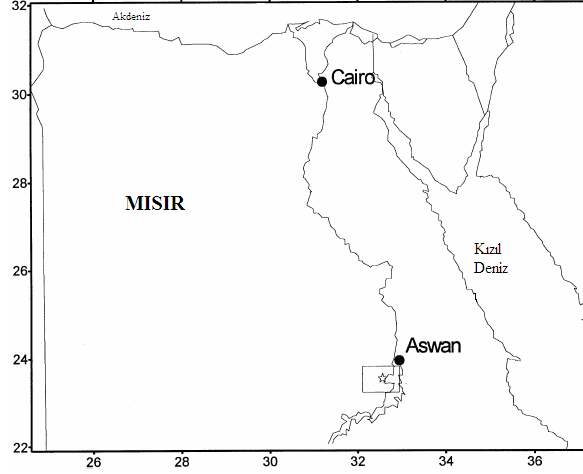


Şekil 2.1: Vajont barajı su seviyesi-deprem sayısı grafiği (Caloi,1966)

2.1.2. Aswan Barajı

Aswan barajı Mısır’ın güney bölgesinde Nil nehri üzerinde 1960 yılında inşasına başlanmış ve 1972 yılında tamamlanmıştır. Baraj elektrik enerjisi ve sulama için su tutma amacıyla kurulmuştur. Nasser gölünü oluşturan Aswan barajı dünyanın en büyük barajlarından biridir. Mısır bölgesinde 300 km üzerinde uzunluktaki göl, Sudan’da ise

180 km uzunluğunda ve 6 km genişliğinde yer almaktadır. Baraj $162 \times 10^9 \text{ m}^3$ hacindedir (Şekil 2.2).

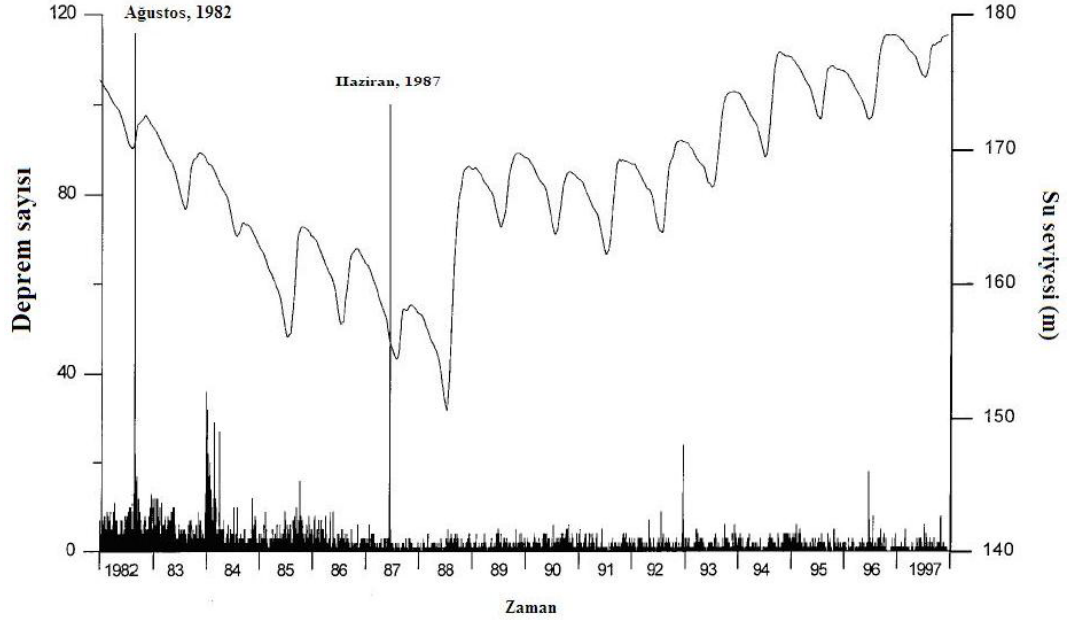


Şekil 2.2: Aswan baraj yeri (Hassoup ve diğ., 2003)

Baraj 1964 yılında su tutmaya başlamıştır. 1964-1980 yılları arasında baraj bölgesinde deprem olmamıştır, fakat baraj su seviyesi 170 m'nin üzerine çıktığında Aswan bölgesinde depremler olmaya başlamıştır. 14 Kasım 1981 tarihinde Aswan barajının kuzeyinde $M_d=5.7$ büyüklüğünde bir deprem oluşmuştur. 1981 depreminden sonra baraj bölgesinde oluşan depremleri incelemek amacıyla, Aswan Bölgesi Sismoloji Merkezi istasyonları (13 istasyon), Ulusal Astronomi ve Jeofizik Araştırmaları Enstitüsü (NRIAG) ve Kolombiya Üniversitesi Jeoloji Gözlemevi ortaklığı ile istasyonlar kurulmuştur. Araştırmalar, barajın su yüklenmesinden sonra mikro deprem sayılarının arttığını ve baraj çevresinde deprem kümelerinin oluştuğunu göstermiştir. (Selim ve diğ., 2002).

Baraj bölgesinde magnitüdüleri $4.8 < M_d < 5.7$ arasında olan orta büyüklükte 4 deprem oluşmuştur. Bölgede en büyük deprem 14 Kasım 1981'de $M_d=5.7$ büyüklüğünde, 20 km derinliktedir. Bu depremi $M_d=4$ büyüklüğünde artçı sarsıntı izlemiştir. 2 Ocak 1982' de ise $M_d=4.8$ ve 5.1 (derinlikleri 18 ve 22 km) olan iki deprem Aswan baraj bölgesinde oluşmuştur. 20 Ağustos 1982 tarihinde ise dördüncü orta magnitüdüdeki deprem oluşmuştur. 1981 depremi, öncü şok ($M_d=4.0$), ana şok ($M_d=5.7$) ve artçı şok ($M_d=4.8$ ve 5.1) ardalanması ile oluşmuştur. Haziran, 1982 tarihinden sonra Kalabsha fayında,

$M_d < 5.0$ büyüklüğünde depremler oluşmuştur (Hassoup, 2002). Aswan baraj bölgesinde meydana gelen deprem sayısı ve barajın su seviyesi grafiği Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: 1982-1997 yıllarında Aswan baraj bölgesi depremselliği ve su seviyesi değişimi (Hassoup, 2002)

2.1.3. Koyna Barajı

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 magnitüdündeki 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 magnitüdü 5.0 ve 5.0'dan büyük 17 deprem, magnitüdü 4.0 ve üzerinde 150 deprem ve binlerce küçük deprem olmuştur.

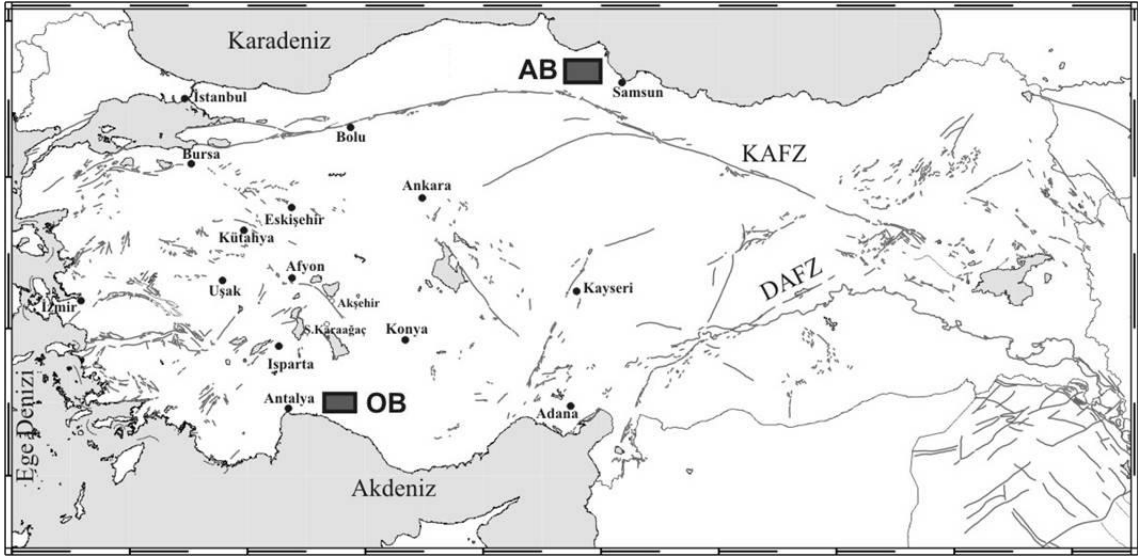
2.2. TÜRKİYE'DEN ÖRNEKLER

Türkiye’de DSI tarafından yapımı gerçekleştirilen 2007 yılı başında işletmede olan, büyük su işleri programında yapımı tamamlanan 230 adet baraj ve hidroelektrik santral vardır. Küçük su işleri kapsamında yapımı tamamlanan baraj sayısı ise 387’dir. Şekil 2.4’te 2005 yılı Türkiyede bulunan barajlar ve hidroelektrik santrallerin dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Türkiye’deki barajlar ve hidroelektrik santraller (Özden ve Kavruk, 2005)

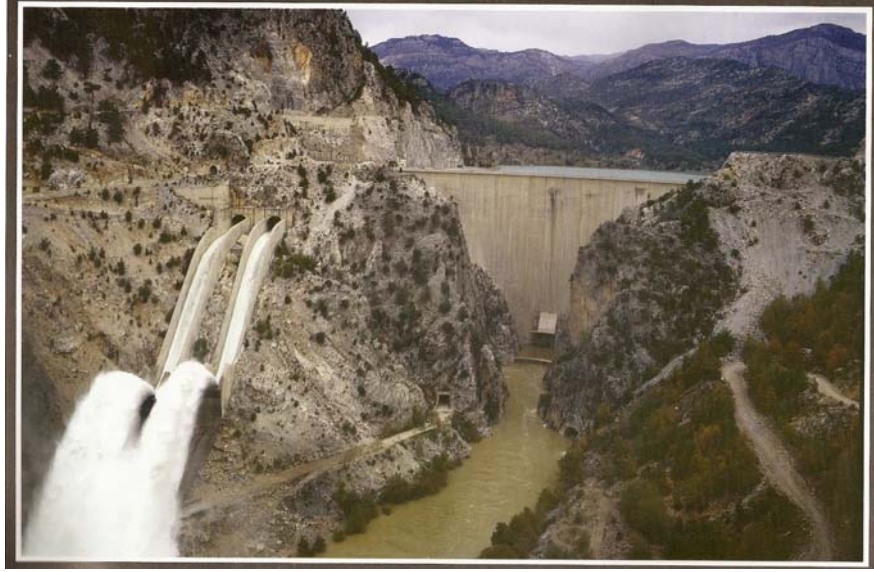
Günümüzde, Çoruh projesi kapsamında Deriner barajı çevresinde 4 adet geniş bantlı sismometre, ayrıca Atatürk barajı çevresinde 4 ve Karakaya, Tahtalı, Gökçe ve Ömerli barajlarında 1'er kuvvetli yer hareketi cihazı çalışmaktadır (Kişisel görüşme; Kocabaş, 2007). Bu tez çalışmasında, DSİ tarafından sağlanan veriler ile Şekil 2.5'te konumları gösterilen Oymapınar (OB) ve Altınkaya (AB) barajlarının su tutma öncesi ve sonrası tetiklenmiş deprensellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Oymapınar barajı ve Altınkaya barajının konumu (Şaroğlu ve diğ., 1987 verileri ile GMT programında çizilmiştir) (KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu)

2.2.1. 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 2.6 ve Tablo 2.1'de gösterilmiştir.



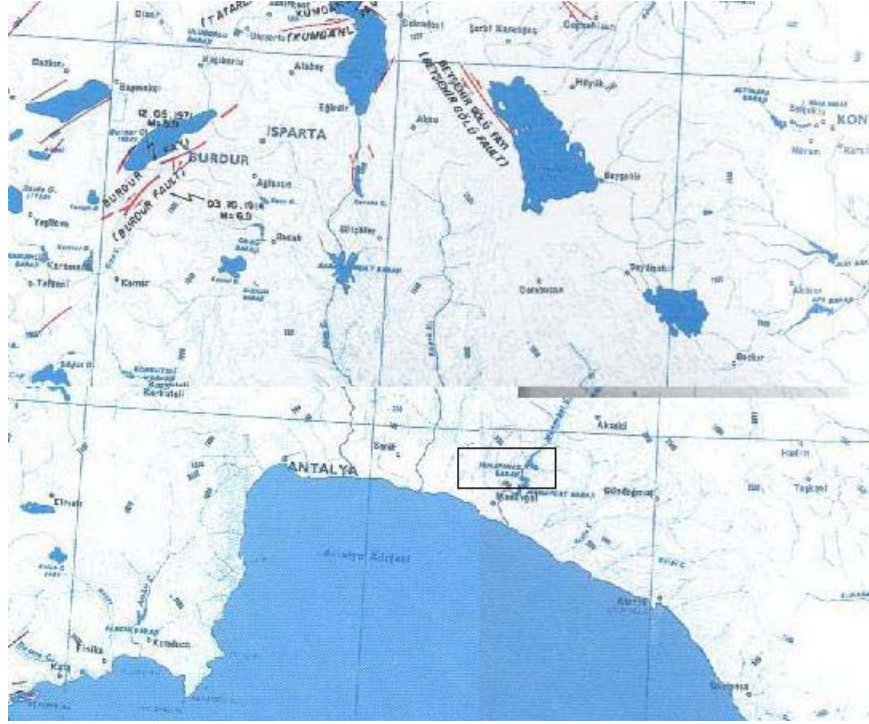
Şekil 2.6: Oymapınar barajı genel görünüşü
(<http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=90>)

Tablo 2.1: Oymapınar Barajı genel özellikleri
(<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

2.2.1.1. Bölgenin Jeolojisi

Oymapınar barajı çevresinde bulunan diri fayları gösteren harita Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7: Oymapınar barajı çevresi diri fay haritası
(http://www.mta.gov.tr/mta_web/dirifay1.asp)

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 güneyine düşmektedir.

İnceleme alanındaki kaya birimleri üç grupta toplanmıştır.

1. Fatmadağı grubu, permo-karbonifer yaşlı, metamorfize ve mermer mercleklerini içeren Otluk formasyonu, Çağsak formasyonu ve Fatmalar kireçtaşını içermektedir.
2. Değirmenönü grubu, üst Kretase yaşlı Dumanlı kireçtaşını ve Kumlubük formasyonunu bulunmaktadır.
3. Düden grubu, Oymapınar formasyonu ve kayabaşı formasyonunu içermektedir. Kuvaternerde akarsu kökenli taraçalar, birikinti konileri, alüvyon ve yamaç molozu yer almaktadır (Kocabaş ve Ada, 1988).

Oymapınar barajı Paleozoik yaşı, karstik Fatmalar kireçtaşı üzerinde kurulmuştur. Fatmalar kireçtaşı menba ve mansabtan Otluk şistleri ile tektonik dokunaklı sınırlı, karstik boşluklar nedeni ile geçirimli, şistler geçirimsizdir. Dumanlı kireçtaşını içeren Karadere formasyonu ile Fatmalar kireçtaşı arasında yer alan üst Kretase yaşı fliş ve gövdenin mansabında yer alan kalınlığı 4000 m'den fazla olan molazda geçirimsizdir.

Kocabaş ve Ada (1992; 1998)'e göre Oymapınar barajı ve göl alanında bulunan birimler kısaca şöyledir:

Paleozoyik şist ve mermerler (Otluk Formasyonu): Arasında farklı boyutlarda merccekler veya seviyeler şeklinde bulunan mermerler içeren en yaşlı birimdir. Türkiye'de bulunan benzer kayalarla karşılaştırılması ve şistlerdeki sistozite ile bu birimdeki şist ve mermerlerin Paleozoyik yaşta olduğu saptanmıştır.

Dolamitik kireçtaşı (Fatmalar Kireçtaşı): Paleozoyik kuşağın en genç birimidir. Baraj yerinde en büyük mostraları bulunmaktadır. Doğu-batı yönünde uzanan kireçtaşları genellikle kuzey ve güneyinde bulunan şistlerle sınırlı bir şerit durumundadır. Bu kireçtaşı barajda, sol sahilde göl ile teması halindedir. Faylı bölgelerde geçirimli olan bu kireçtaşları geçirimli olarak kabul edilmiştir.

Ritmik seri (Çağsak Formasyonu): Çağsak formasyonu Manavgat vadisin, barajın sağ sahilinde bulunur. Fatmalar kireçtaşı ve şistler arasında sıkışmıştır. Bu formasyon kalker çimentolu kumtaşı, şeyl ve grafiti şist bantlardan oluşup, baraj sahasında küçük bir alan kaplar.

Üst Kretase flişi (Kumlubük Formasyonu): Barajın büyük kısmı bu fliş içerisinde. Radyolarit, kireçtaşı, kumtaşı, şeyl ve grafiti şist bantlardan oluşmuştur.

Jeosenklinal zonu formasyonları: Aygır deresi kavşağının menbaından itibaren baraj, jeosenklinal zonu formasyonları içerisinde 5 km uzunlukta ve büyük bir kısım formasyonların en alt seviyesini oluşturan triasmasif kireçtaşları ile temas halindedir.

Oliyo-miyosen konglomeraları: Bu birim kil çimentolu geçirimsiz seviyeler içermelerine ve çok kısımda geçirimsiz olmalarına rağmen kalker çimentolu alanlarda karstik olduklarından tümüyle geçirimli kabul edilmişlerdir ve baraj gölü ile teması yoktur.

Burdigoliyen kireçtaşları (Sakseydi Kireçtaşı): Bu birimin baraj gölü ile ilişkisi yoktur. Molas fasiyesi (Oymapınar formasyonu): Bu birim baraj aksının mansabında bulunduğu için baraj gölü ile ilişkisi yoktur, fakat geçirimsi olan bu birim karstik olan bölgelerde bariyer görevi yapıp karstlardan gelen suların Manavgat çayına akmasına rol oynamıştır.

Oymapınar barajı, Anadolu tektonik birimlerinden Toridler (Toroslar) bölgesi içindedir. Birinci derecedeki faylar Orojenik gidişe paralel, paleozeyik birimlerde çoğunlukla dalgalı fay düzlemleri ve Tersiyer çökellerinde yersel çekim fayları şeklindedir. Bölgede faylanma hareketi alanın orojenik gidişlere paralel olarak kuzeybatı-güneydoğu yönündedir. Paleozeyik temeldeki çok kırıklı ve karmaşık yapının gelişiminde temelin Hersiniyen orojenik hareketlerine maruz kalması ve bu hareketlerin Alp'in orojenesi boyunca şiddetle yenilmesi büyük bir rol oynamıştır. Diğer bir etken ise Çağsak formasyonu ve Otluk formasyonu gibi nispeten dayanımsız birimlerin varlığıdır. Bu birimlerin dayanımlı olan Fatmalar kireçtaşı ile olan dokunaklarında büyük ezilme zonları oluşmuştur (Kocabaş ve Ada, 1988).

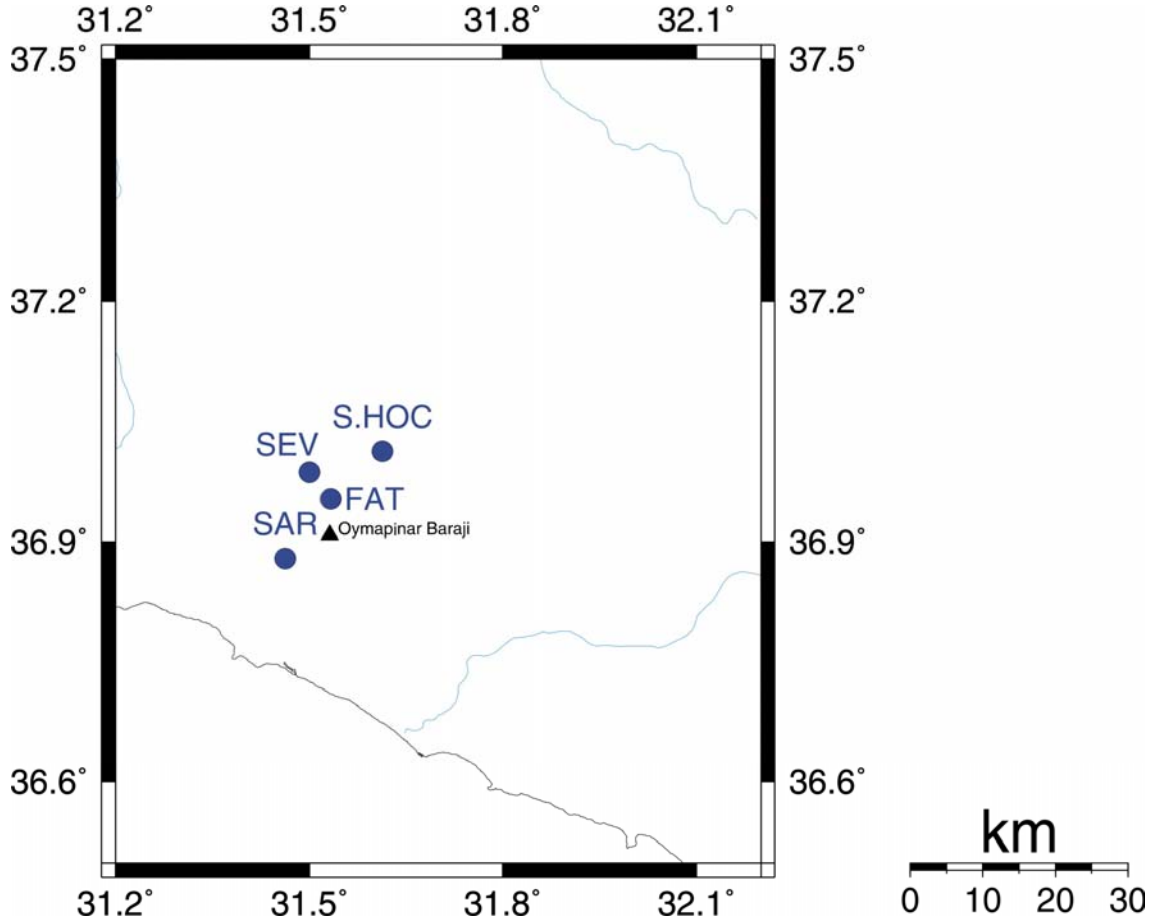
2.2.1.2. Bölgenin Aletsel Donanımı ve Depremselliği

Oymapınar barajı yapımına 1977 tarihinde başlanmış ve 09.08.1983 tarihinde de baraj su tutmaya başlamıştır.

Oymapınar baraj bölgesinin depremselliğini araştırmak ve barajın su tutma öncesi ve su tutması sonrası deprem etkinliğini incelemek amacıyla, göl alanı ve çevresine deprem kayıt cihazları yerleştirilmiştir. 1975 yılında Sevinç (SEV) ve Fatmalar (FAT) deprem istasyonları ve 1977 yılında ise Sarılar (SAR) ve Ayşeler deprem istasyonları devreye girmiştir. Ayşeler 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 Rasathanesine 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.

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 2.8’de ve istasyonların özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

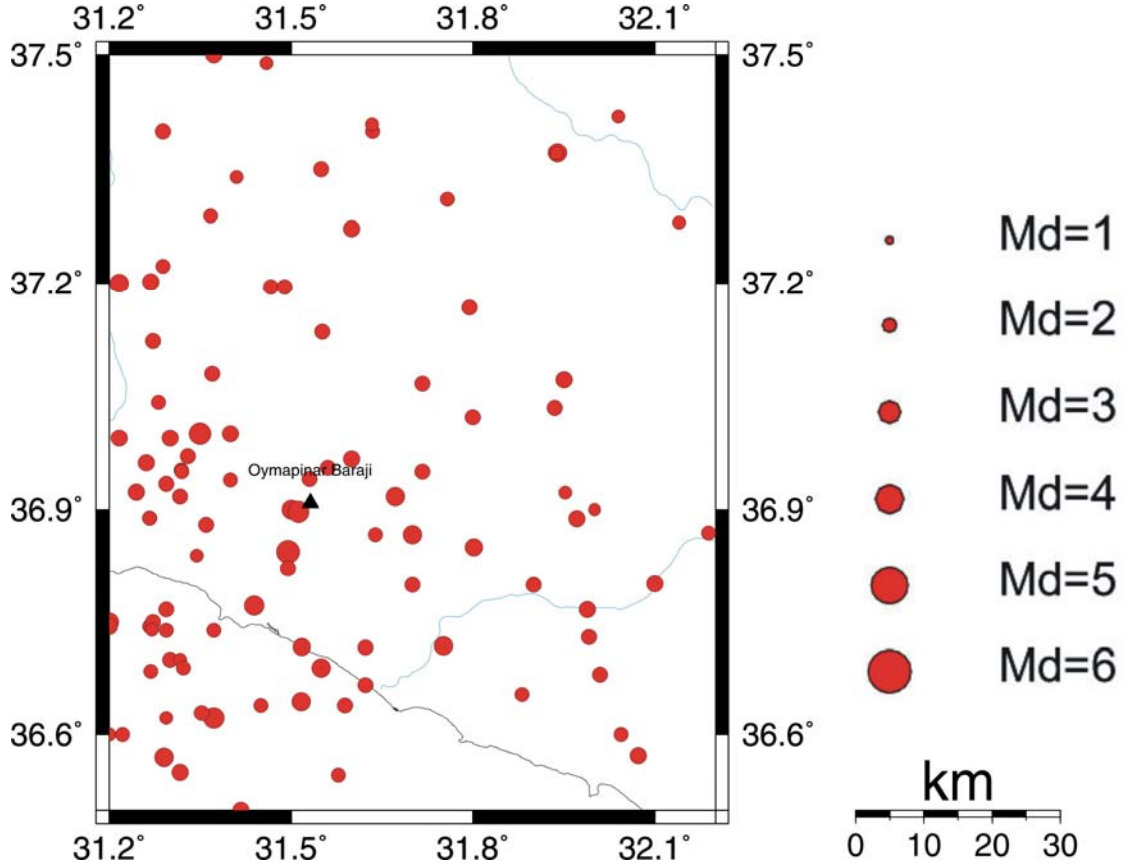


Şekil 2.8: Oymapınar barajı DSİ deprem istasyonları

Tablo 2.2: Oymapınar baraj bölgesi deprem istasyonları özellikleri (Kocabaş ve Ada, 1992)

İstasyon Adı	Kısa Adı	Enlem	Boylam	Kot (m)	Kuruluş Tarihi	Taban Kaya
Sevinç	SEV	36°56'38"	31°30'03"	472	17.04.1975	Miosen kçt
Fatmalar	FAT	36°54'25"	31°30'49"	205	26.04.1975	Miosen kçt
Sarılar	SAR	36°50'09"	31°27'45"	267	28.06.1977	Miosen kçt
Sinanhoca	S.HOC	36°58'14"	31°36'49"	300	07.08.1982	Miosen kçt

Tez çalışması kapsamında Oymapınar baraj bölgesinin depremselliğini belirlemek amacı ile, B.Ü. Kandilli Rasathanesi'nden sağlanan deprem verileri derlenmiştir. 1900-2005 yılları arası, 36.5-37.5°K ve 31.2-32.2°D koordinatları arasındaki bölgede oluşan depremlerin dış merkezleri Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Oymapınar baraj bölgesinin 1900-2005 yılları arasındaki deprem dış merkez dağılımları (veriler <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/default.htm>'den sağlanmıştır)

2.2.2. Altinkaya Barajı

Altinkaya Barajı ve HidroElektrikSantrali (HES) Kızılırmak nehri üzerindedir (Şekil 2.10). Barajın ve HES'in yeri Samsun ili, Bafra ilçesinin 27 km güney batısında, Kolay Bucağı'ndadır. Barajın tipi kil çekirdekli kaya dolgudur. Baraj enerji üretimi amacı yanı sıra, sulama ve taşkınlardan koruma amacı ile de inşa edilmiştir (Tablo 2.3).



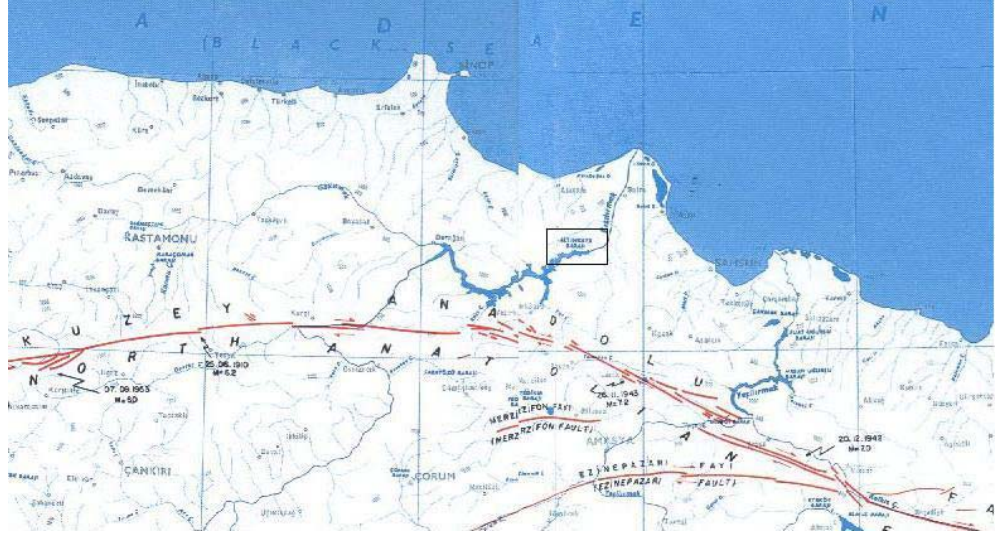
Şekil 2.10: Altinkaya Barajı genel görünüşü
<http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=112>

Tablo 2.3: Altinkaya Barajı genel özellikleri
<http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=112>

Barajın Yeri:	Samsun
Akarsuyu:	Kızılırmak
Amacı:	Enerji
İnşaatın (başlama-bitiş) Yılı:	1980-1988
Gövde Dolgu Tipi:	Kaya
Gövde Hacmi:	15920 dam ²
Yükseklik (Talvegden):	195 m
Normal Su Kotunda Göl Hacmi:	5763 hm ³
Normal Su Kotunda Göl Alanı:	118.3 km ²
Güç:	700 MW
Yıllık Üretim:	1632 GWh

2.2.2.1. Bölgenin Jeolojisi

Altinkaya barajı çevresinde bulunan diri fayları gösteren harita Şekil 2.11'dedir.



Şekil 2.11: Altinkaya barajı çevresinin diri fay haritası
(http://www.mta.gov.tr/mta_web/dirifay1.asp)

Altinkaya baraj yeri ve çevresini kapsayan inceleme alanında rastlanan formasyonların stratigrafik sıralaması şöyledir (Uzun ve diğ., 1988; Uzun, 1992):

Paleozoyik: İnceleme alanında geniş bir bölgeyi kapsar. Mikaşist, kloritşist, kalkşist, kuvarsit ve fillitten oluşan bu metamorfik seri yaklaşık 1300 m'den fazla bir kalınlıkla çok kıvrımlı bir yapı göstererek temeli oluşturmaktadır. Genel olarak, mikaşist, kloritşist ve talkşist yumuşak dayanımsız bir yapı, kalkşist ve kuvarsitte sert ve dayanımlı bir yapıdır.

Mesozoyik: Kireçtaşı ve fliş birimlerinden oluşmaktadır. Kireçtaşları karstik özellikte ve çoğunlukla masif yada kalın tabakalı kristalen, dayanıklı, sağlam, sık eklemlili ve faylı bir yapıdır. Metamorfik seri içinde ve üzerinde merceksel durumda görülmektedir. Flişler inceleme alanında en yaygın bir formasyon olup Altinkaya Baraj yeri de bu birim üzerinde bulunmaktadır.

Senozoyik:

a.Eosen: Andezit, tuf, volkanik breş, aglomera genellikle masif, seyrek olarak kalın tabakalı bir yapı göstermektedir. Andezit tuf, volkanik breş ve aglomera oranla daha sert ve sağlamdır. Kıltaşı, kumtaşı ve konglemera, Durağan içesi çevresinde yer alan bu

birim, kırılğan, seyrek eklemlı ve gevşek dokulu bir yapı şeklinde, kıltaşı, kumtaşı ve konglomera ardalanmalarından oluşmaktadır.

b. Neojen: Kil, siltli kil, çakılı kil, marn; yüzeyde kil, siltli kil, çakılı kil ve derinde de kalın tabakalı kil taşı ve marn dan oluşan bu seride, kil taşı ve marn su ile birlikte kolayca ayrışma ve dağılmaktadır.

c. Teras, Alüvyon: Genellikle gevşek çimentolu yada çimentolanma göstermeyen çakıl, kum ve siltten oluşmakta, Kızılırmak yatağı boyunca yer yer görülmektedir. İnceleme alanında en fazla 25 m kalınlıktadır. Alüvyon, yüzeyde ince kumlu silt ve derinde de çakıl ve kumdan oluşan bu seri, Altınkaya baraj yerinde yaklaşık 50 m kalınlıktadır.

Kaptan ve Ata (1978)'e göre; Altınkaya baraj yerinde yapıya etki edebilecek önemli bir fay tespit edilmemiştir. Ancak açılan araştırma galerilerinden tespit edilen faylar aşağıdaki gibi üç grupta toplanmıştır:

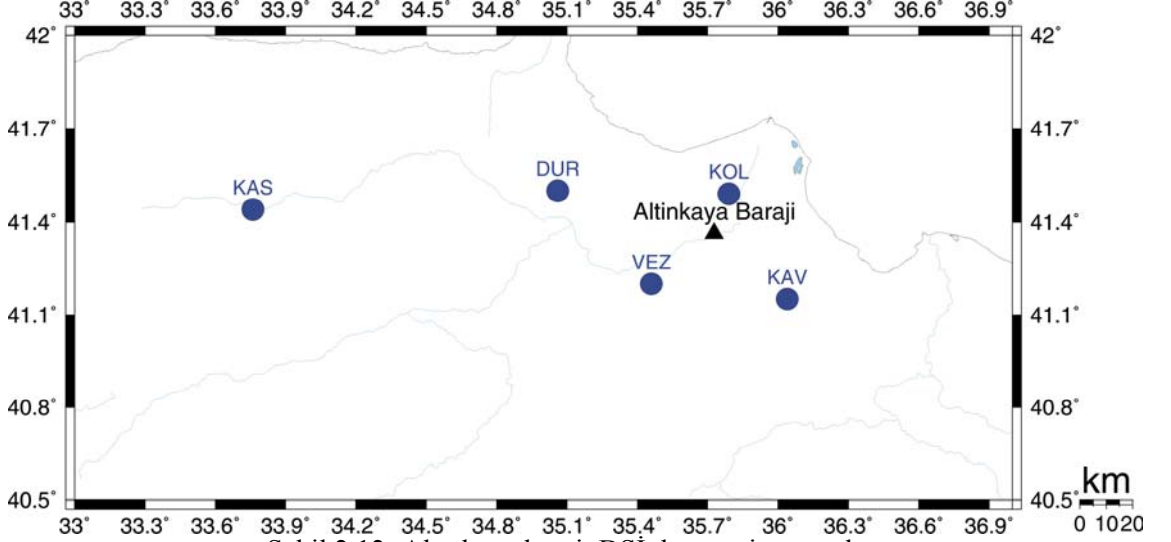
- 1.Grup faylar: 40-400 cm genişlikte ezilme, killeşme ve makaslama gösteren fay zonlarıdır.
- 2.Grup faylar: Fay zonu 5-40 cm genişlikte olup, breşleşme, killeşme, ezilme gösterirler.
- 3.Grup faylar: Bu grup fay zonları 1-5 cm genişlikte olup, genellikle kalsit, kuvars dolgulu, bazen ise kil dolgulu olabilirler.

2.2.2.2. Bölgenin Alet Donanımı ve Depremselliği

Altınkaya barajı yapımına 1980 tarihinde başlanmıştır. Altınkaya baraj bölgesinin depremselliğinin sürekli incelenmesi amacıyla 1976 yılı sonlarına doğru DSİ tarafından Samsun iline bağlı Durağan (DUR), Kolay (KOL) ve Vezirköprü (VEZ) ilçelerine deprem istasyonları kurulmuştur. Ayrıca, DSİ- B.Ü.Kandilli Rasathanesi ortak girişimi ile Samsun ili Kavak (KAV) ilçesinde deprem istasyonu kurulmuştur. Deprem lokasyonlarının belirlenmesinde, istasyon sayısı fazla olması daha güvenilir sonuçlar vereceğinden, İstanbul Teknik Üniversitesi'ne bağlı olarak çalıştırılan Kastamonu (KAS) deprem istasyonu tarafından kaydedilen veriler de kullanılmıştır. Altınkaya baraj bölgesi deprem istasyonları Şekil 2.12'de ve özellikleri Tablo 2.4'de verilmiştir.

Kaptan ve Ata (1978)'de belirtildiğine göre, Altınkaya barajı 25.04.1987 tarihinde su tutmaya başlanmıştır. 15 aylık inceleme süresi içinde Durağan istasyonunda 426 gün,

Kolay istasyonunda 397 gün, Vezirköprü istasyonunda 281 gün ve Kavak istasyonunda 77 gün süreyle kayıt alınabilmektedir.

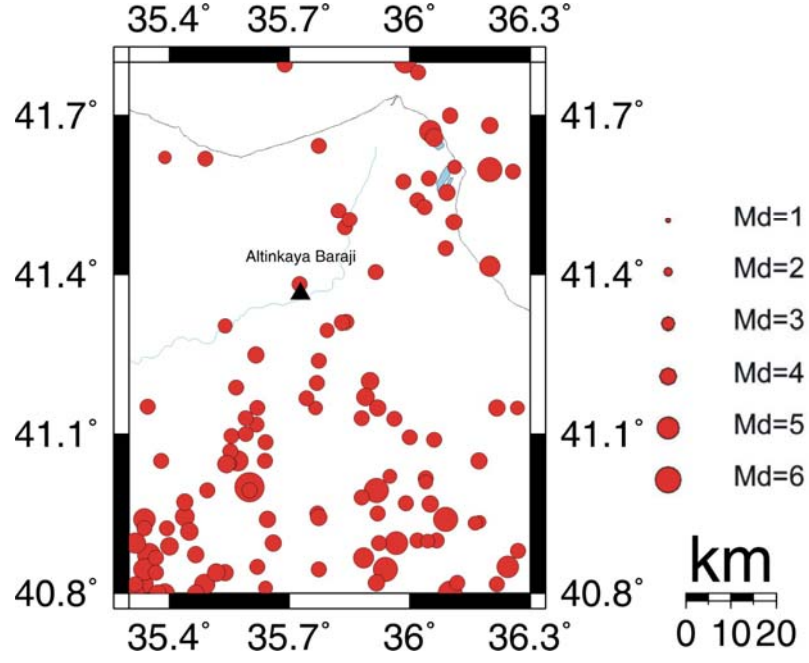


Şekil 2.12: Altinkaya barajı DSI deprem istasyonları

Tablo 2.4: Altinkaya baraj bölgesi deprem istasyonları ve özellikleri (Uzun, 1992)

İstasyon Adı	Simgesi	Enlem	Boylam	Kot (m)	Kayıtçı Tipi
Durağan	DUR	41°25'33"	35°03'56"	255	MEQ-800
Kolay	KOL	41°25'27"	35°47'46"	145	MEQ-800
Vezirköprü	VEZ	41°07'50"	35°27'46"	387	MEQ-800
Kavak	KAV	41°04'51"	36°02'47"	650	S-13
Kastamonu	KAS	41°22'18"	33°46'00"	850	Elektromagnetik

Altinkaya baraj bölgesinin depremselliğini belirlemek amacı ile B.Ü. Kandilli Rasathanesi'nden sağlanan veriler ile Altinkaya barajı bölgesi 1900-2005 yılları için incelenmiştir. Oluşan depremlerin dış merkez dağılımları Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13: Altinkaya baraj bölgesi 1900-2005 yılları arasında oluşmuş depremlerin dış merkezleri dağılımı (veriler, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/default.htm> 'den sağlanmıştır)

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. DEPREM DIŞ MERKEZ VE MAGNİTÜDLERİNİN BELİRLENMESİ

Türkiye’de kurulmuş olan barajların deprem etkinliğini incelemek amacıyla Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından baraj bölgesi çevrelerine deprem istasyonları kurulmuştur. Oymapınar ve Altinkaya baraj çevrelerinde 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).

DSİ Genel Müdürlüğü, deprem dış merkezlerinin belirlenmesi amacı ile, Avustralya Ulusal Üniversitesi Jeofizik Bölümü’nde Fortran IV dilinde yazılmış olan ve B.Ü. Kandilli Rasathanesi’nden sağlanan EPISA adlı program kullanmıştır.

Baraj bölgelerinde bulunan sismograf sistemleri tarafından kaydedilen yerel depremlerin, P dalgası ilk varışı ile deprem dalgalarının genliğinin 2 mm azalımına kadar geçen süresi saniye cinsinden okunarak, okuması yapılan tüm grup fazlarının (Pn, Pb, Pg, Sn, Sb, Sg) istasyona varış zamanları, istasyon kot ve koordinatları ile birlikte bilgisayar programına aktarılır. Program tarafından depremlerin dış merkezleri saptanır. Programın amacı, depremlerin teorik varış zamanları ile, gözlenen ilk varışlar arasındaki rezidüellerin ardışık tekrarlanma yöntemi ile en aza indirilmesi ve depremlerin gerçek parametrelerinin elde edilmesini sağlamaktır. Yaklaşık dış merkez, yaklaşık oluş zamanı parametrelerinden hareketle, Denklem 3.1’de verilen iterasyon denklemi, En Küçük Kareler Yöntemi ile çözümlenerek depremin gerçek parametreleri (gerçek dış merkez koordinatları, gerçek oluş zamanı) bulunmaktadır.

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + h^2 = V_p^2 (t_i - t_0)^2 \quad (3.1)$$

$i=1,2,3,\dots,n$ (n: istasyon sayısı)

x_0, y_0 : Yaklaşık dış merkez koordinatları

x_i, y_i : i'inci istasyon koordinatları

t_i : i'inci istasyondaki "P" dalgası varış zamanı

h: Odak derinliği

t_0 : Yaklaşık oluş zamanı

$t_0 = t_p - [(t_s - t_p) / (V_p/V_s) - 1]$

t_p, t_s : İstasyonlardan birine ait P ve S varışları

V_p, V_s : P ve S dalga hızı

Deprem parametrelerinin bulunmasında ne kadar çok istasyon çözümü ile çalışılırsa, elde edilen sonuçlar o kadar güvenilir olmaktadır. Bu nedenle, Oymapınar ve Altınkaya barajlarının DSİ tarafından yapılan deprem çözümlerinde de en az üç istasyon tarafından kaydedilen depremlerin çözümleri alınmıştır. Deprem çözümlerinin güvenilirliğini arttırmak için ayrıca dikkat edilen unsurlar, deprem istasyon ve dış merkezlerinin azimutal dağılımlarının yeterli olması, P_g ve S_g deprem fazlarının varış zaman okumalarının doğruluk derecesi, kalitesi, dalga hızlarının çalışma bölgesindeki değerlerinin belirlenmiş olmasıdır (Kocabaş ve Ada, 1988; 1992).

DSİ tarafından yapılan çalışmalarda, Oymapınar ve Altınkaya baraj bölgesindeki depremlerin süreye bağlı magnitüd tayini yapılmıştır.

Süreye bağlı magnitüd, kaydedilen depremin en büyük genlik ve periyodu göz önüne alınmadan, depremin kayıt süresinden saptanabilir. Depremin magnitüdünün belirlenmesinde maksimum genlik yerine devam süresinin kullanılmasının iki önemli nedeni vardır. Birincisi, genellikle yerin partikül hızına dayanan ve magnitüd saptanmasında gereken maksimum genlik ve buna karşılık olan yüksek frekanstaki depremlerin periyodunun okunma güçlüğüdür. Diğer neden ise, deprem istasyonlarına yakın yerlerde oluşan depremlerin kaydedilmesinde alet büyütmesinin sınırlı olmasından dolayı, genliğin alt ve üstten kesilmesi ve gerçek genliğin okunamamasıdır.

Süreyeye bağılı magnitüd; depremlerin devam süresi saniye cinsinden okunarak Denklem 3.2 ile hesaplanmaktadır:

$$M_d = a + b \log D + c\Delta \quad (3.2)$$

M_d : Süreyeye Bağılı Magnitüd

D : Süreye (saniye)

a, b, c : Katsayılar

Δ : Dış Merkez Uzaklığı (km)

Oymapınar baraj bölgesi deprem etkinliği incelenirken, bölgeye ait magnitüd denklemi saptanmıştır. Bu nedenle, baraj çevresinde DSİ tarafından kaydedilen depremin saniye cinsinden süreye okuması gerçekleştirilmiş ve aynı depremin ulusal (ISK, DAE), ve uluslararası (ISC, NEIS, CSEM) kataloglarından magnitüdüleri elde edilerek çalışma bölgesine ait magnitüd-süreye ilişkisi bulunmuştur. Süreyeye bağılı magnitüd bağıntısında kullanılan a, b, c katsayıları En Küçük Kareler Yöntemi ile hesaplanan parametrelerdir. c katsayısı, çok küçük olduğundan çalışmalarda ihmal edilmiştir. Oymapınar baraj bölgesinde deprem istasyonları arasındaki mesafe en az 4350 m ve en fazla 20125 m'dir (Kocabaş ve Ada, 1988). 01.01.1979-31.12.1987 tarihleri arasında kaydedilen 257 veriden faydalanılarak elde edilen süreyeye bağılı magnitüd denklemi ve 01.01.1979-01.04.1992 tarihleri arasındaki önceki verilere 20 yeni veri eklenerek elde edilen süreyeye bağılı magnitüd denklemleri sırasıyla şöyledir (Kocabaş ve Ada, 1992):

$$M_d = -0.4806 + 2.2826 \log D \quad (3.3)$$

$$M_d = -0.2420 + 2.1742 \log D \quad (3.4)$$

DSİ tarafından, Altınkaya baraj bölgesi ve çevresinin depremsellik özelliklerinin elde edilmesi çalışmalarında bölgede Wood-Anderson sismometresi bulunmayışı nedeniyle, aşağıdaki dönüşüm uygulanmıştır.

$$A/B = V_A / V_B \quad (3.5)$$

A Wood-Anderson genliği, B aletin (MEQ-800) genliği, V_A Wood-Anderson büyütmesi ve V_B aletin (MEQ-800) büyütmesini ifade eder.

Yapılan çalışmada, Altinkaya barajı, Kolay istasyonu tarafından kaydedilen 35 örnek deprem seçilerek, bu depremlerin dış merkez uzaklıkları, maksimum genlik, maksimum genliğe karşılık gelen periyodlar, bu periyod değerleri için sismograf sisteminin büyütme değerleri ve depremlerin 2 mm'ye kadar devam eden süreleri saptanmıştır. Denklem 3.5 kullanılarak Wood-Anderson sismometresinin vereceği genlik değerlerine çevrilmiştir. Elde edilen 35 magnitüd değeri, bunlara ait süre ve dış merkez uzaklıkları $M_d = a + b \log D + c \Delta$ 'de bağıntısı kullanılarak En Küçük Kareler Yöntemi ile baraj bölgesi için magnitüd hesaplanmasını sağlayan denklem elde edilmiştir. Bu bağıntıda, c katsayısı küçük olduğundan ihmal edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu Kaptan ve Ata (1978) ve Uzun (1992)'de belirtildiğine göre; Altinkaya barajı Kolay istasyonu için sırasıyla elde edilen süreye bağlı magnitüd bağıntıları aşağıdaki gibidir.

$$M_d = -1.2315 + 2.1933 \log D \quad (3.6)$$

$$M_d = -1.2049 + 2.2425 \log D \quad (3.7)$$

3.2. REZERVUAR DEPREMLERİNİN KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

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 azalımıdır.

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

3.2.1. Oluşum Sayısı-Magnitüd İlişkisi

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

$$\log N = a - bM \quad (3.8)$$

bağıntısı ile açıklanır. Bu tanımda; N birikimli deprem sayısı, M magnitüd, a doğrunun log N eksenini kestiği noktadır. a katsayısı; gözlem süresine ve incelenen alanın boyutlarına bağlıdır. b katsayısı bölgede oluşan depremlerin magnitüdüleri ve oluş sayılarının logaritmaları arasındaki eğim miktarını gösterir. b katsayısı bölgenin tektonizmasına ve depremselliğine bağlıdır ve gerilme düşümü ile ters orantılıdır. Magnitüd- frekans ilişkisinde ayrıntılı istatistik çalışmalar Utsu (1965) tarafından da yapılmıştır. Utsu (1965)'e göre b değeri ampirik olarak aşağıdaki bağıntı ile elde edilir.

$$b = \frac{0.4343m}{\sum_{i=1}^m M_i - mM_{\min}} \quad (3.9)$$

m: Toplam deprem sayısı

M_{\min} : Minimum deprem magnitüdü'dür.

Gutenberg-Richter ilişkisindeki katsayıları elde etmek için En Küçük Kareler Yöntemi veya En Büyük Olasılık Yöntemi (maximum likelihood) kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Oymapınar ve Altınkaya baraj bölgeleri için En Küçük Kareler Yöntemi ile a ve b değerleri hesaplanmıştır.

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 çıkar. 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 kabaca 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 magnitüdü deprem olma işareti olan öncü şok dizisinde yüksek b (≥ 0.5) değerini bulmuştur. Mogi (1962) ve Scholz (1968)'un 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).

3.2.2. En Büyük Artçı Şok Magnitüdünün, Ana Şok Magnitüdüne Oranı

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

$$M_0 - M_1 = 1.2 \quad (3.10)$$

Papazachos (1974)'ün Tablo 3.1'de verilen altı baraj kaynaklı deprem için 0.3 standart sapma ile M_0 ve M_1 arasındaki bulduğu bağıntı;

$$M_0 - M_1 = 0.6 \quad (3.11)$$

dır.

Tablo 3.1: Altı baraj kaynaklı depremin ana şok, en büyük artçı şok magnitüdüleri ve b değerleri (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'ın verdiği sıg, 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 saptamıştır. Bununla beraber, Gupta ve Rastogi (1976)'da, baraj depremleri için büyük b değerlerine karşın küçük M_0-M_1 değeri elde edilmiştir. M_0-M_1 yerine, iki magnitüdün 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.

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.

3.2.3. Rezervuar Depremlerinin Öncü ve Artçı Şoklarının Zamansal Azalimleri

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

$$n(t) = k / (t + c)^p \quad (3.12)$$

Bu bağıntıda;

$n(t)$: Anaşoktan sonraki t birim zamanda oluşan artçı deprem sayısı

t: Ana şoktan sonraki zaman

p, c, k: Zaman-deprem sayısı grafiğinde elde edilen sabit değerler

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 azalıklarını aşağıdaki ilişki ile açıklamıştır. Söz konusu Değiştirilmiş Omori Bağıntısı (Modified Omori Law) şöyledir:

$$n(t) = Ct^{-p} \quad (3.13)$$

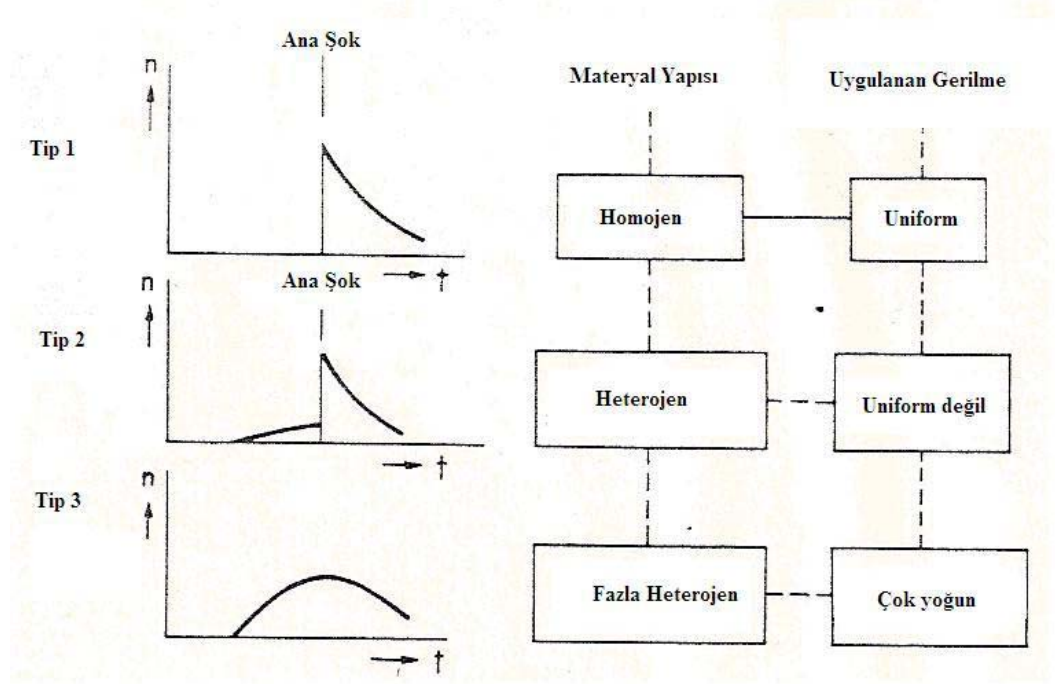
t: Ana şoktan sonra geçen zaman

C, p: Sabit

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).

Depremlerin oluşum özelliklerine göre Mogi (1963) üç tip deprem oluşum modeli önermektedir (Şekil 3.1). Bu üç tip model arasındaki fark materyallerin yapısal durumları ve uygulanan gerilmenin dağılımı ile ilgilidir.



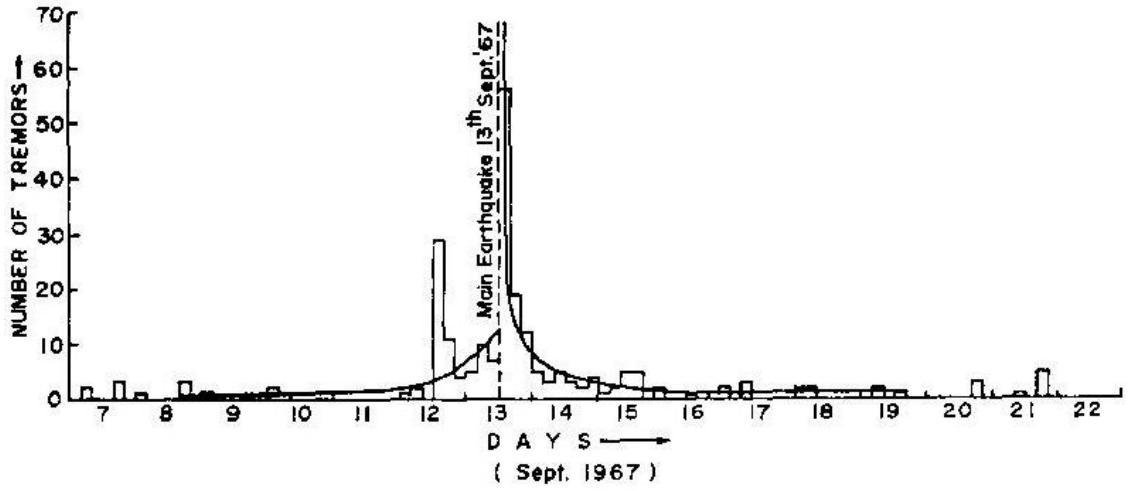
Şekil 3.1: Deprem oluşum modelleri (Mogi, 1963)

Tip I: Uygulanan gerilme uniform ve materyal homojen ise, ana şok, öncü şok olmaksızın oluşur, ve bunu elastik artçı şoklar izler.

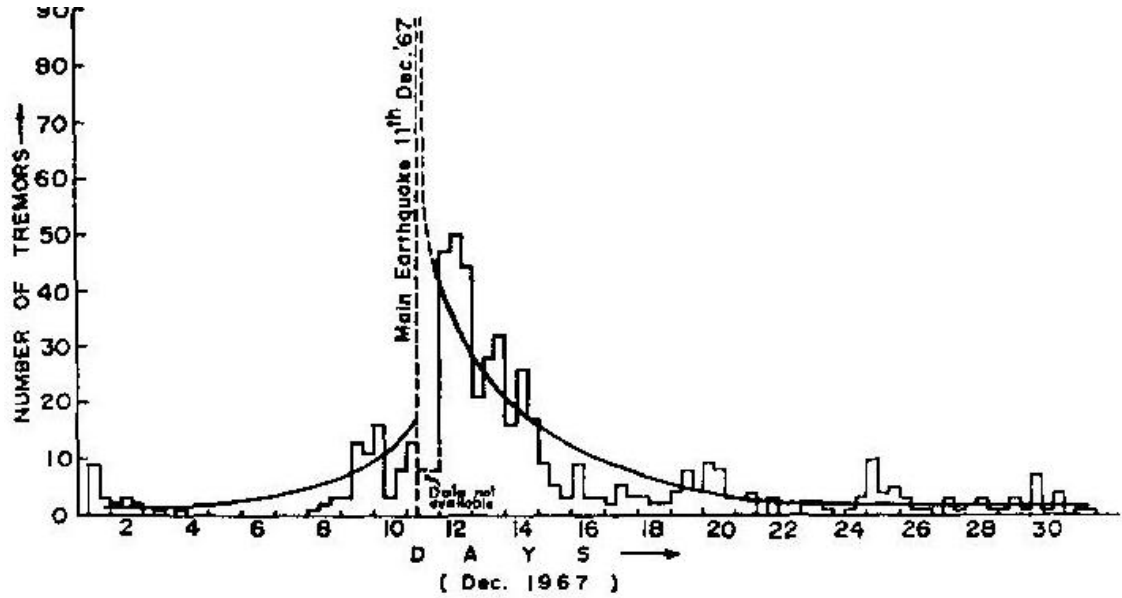
Tip II: Materyal oldukça heterojen ise ve/veya uygulanan gerilme uniform değilse, ana şoktan önce ufak elastik şoklar olabilir ve ana şoku çok sayıda artçı şok izler.

Tip III: Materyalin yapısı çok fazla heterojen ise ve/veya uygulanan gerilme dikkate değer konsantrasyonda ise deprem fırtınası adı verilen etkinlik şekli oluşur. Bu etkinliği oluşturan elastik şokların sayıları ve magnitüdü önce artar, sonra zamanla azalarak son bulur.

Bu üç tip öncü ve artçı şok modeli normal depremler için ortaya konmuştur. Mogi (1963), normal depremlerdeki öncü ve artçı şok modellerinde ortamın mekanik yapısı ve uygulanan gerilmenin özelliğinin etkili olduğunu savunmuştur.



Şekil 3.2: 13 Eylül 1967 Koyna barajı depremi öncü şok-artçı şok dağılımı (Gupta ve Rastogi 1976)



Şekil 3.3: 10 Aralık 1967 Koyna depremi şok-artçı şok dağılımı (Gupta ve Rastogi 1976)

Şekil 3.2 ve 3.3'te Koyna barajındaki iki deprem için (13 Eylül-10 Aralık 1967) verilen öncü şok artçı şok modeli gösterilmektedir. Her iki model de Mogi'nin II. Tip modeline uymaktadır. 10 Aralık 1967 depreminden önce 10 gün içerisinde 90 öncü şok olmuştur. Ana şoktan sonra 20 gün içinde ise 400 artçı şok olmuştur. Öncü şokların sayısı, ana şok olana kadar artmaktadır.

Koyna barajı depremlerini, Hindistan yarımadasındaki Godavari Vadisi depremi (Nisan, 1969) ve Broach depremi (Mart, 1970) ile karşılaştırıldığında, oluşan depremlerin baraj depremlerinden farklı modele uymaktadır. Godovari depreminde, 13 Nisan 1969, ana şoktan önce bir öncü şok olmuştur. Bu depremde artçı şokların sayısı oldukça fazladır. Bu deprem Mogi'nin I. Tip modeline iyi bir örnektir. Broach depreminde ise, çok iyi bir kayıt alınamasa bile, ana şoktan sonra 8 saat içerisinde, $M \geq 3.2$ olan 6 adet artçı şok gözlenmiştir. Bu depremin öncü şoku ise kaydedilmemiştir ve deprem, Mogi'nin I. Tipine uymaktadır.

Koyna bölgesinde oluşan normal depremler Mogi'nin I. Tip modeline uygun olup, aynı bölgenin baraj bölgesinde oluşan depremleri ise II. Tip modele uymaktadır. Bu farkın nedeni deprem zonundaki materyallerin gerilme durumu ve/veya yapısal durumuyla ilgilidir (Gupta ve Rastogi, 1976).

4. BULGULAR

4.1. OYMAPINAR BARAJI BULGULARI

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.

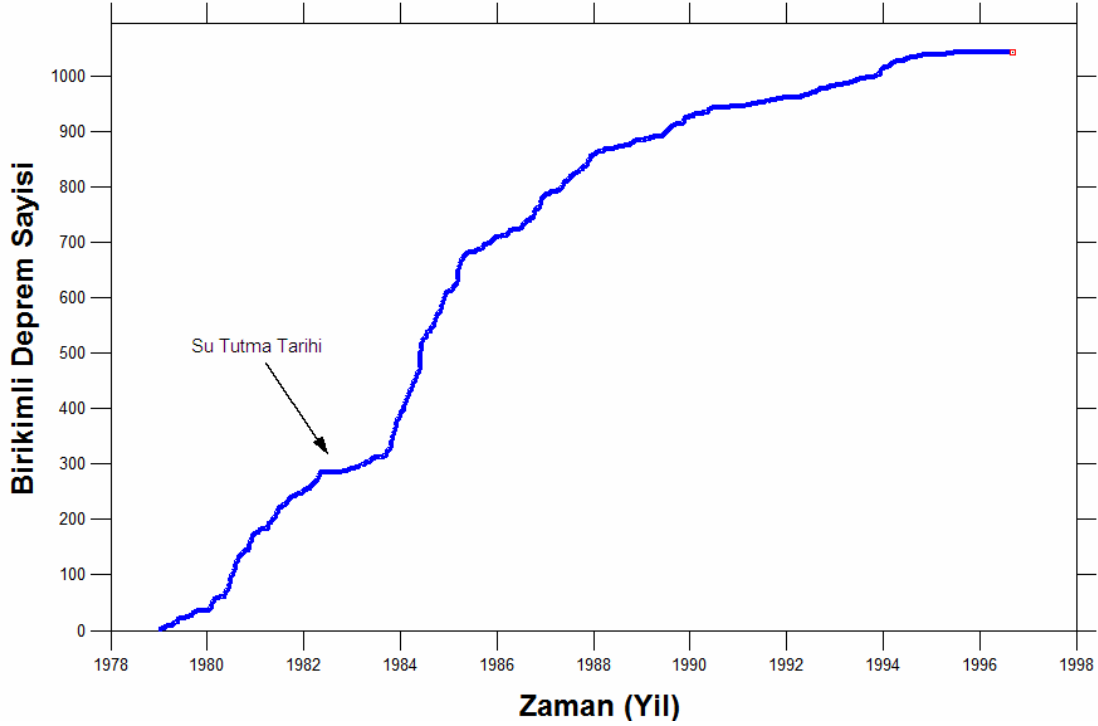
Bu bölümde, Oymapınar baraj bölgesinde 01.01.1979-31.05.1997 tarihleri arasında baraj çevresine yerleştirilen sismograflarla kaydedilen ve DSİ Genel Müdürlüğü tarafından değerlendirilen veriler kullanılmıştır.

Oymapınar barajı çevresini kapsayan 36.5-37.5°K ve 31.2-32.2°D koordinatları arasındaki 1°x1° (1°'lik), 36.7-37.2°K ve 31.3-31.8°D koordinatları arasındaki 0.5°x0.5° (0.5°'lik) bölgelerin depremselliği incelenmiştir.

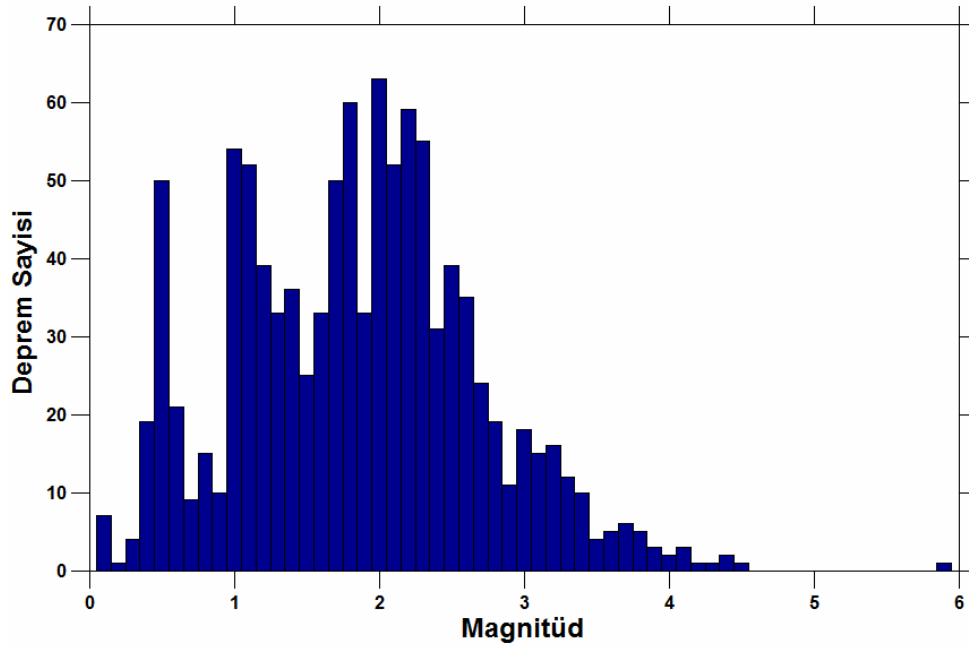
Oymapınar barajı 09.08.1983 tarihinde su tutmaya başlamıştır. Oymapınar baraj bölgesi çevresi inceleme süresince iki döneme ayrılmıştır. Bu dönemler, barajın su tutmaya başlamasından önceki dönem; 01.01.1979- 09.08.1983 tarihleri arası Su Tutma Öncesi Dönem (STO) ve baraj su yüklenmeye başladıktan sonraki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

DSİ Genel Müdürlüğü tarafından kaydedilen ve dış merkez çözümleri yapılmış olan depremlerin 36.5-37.5°K ve 31.2-32.2°D arasındaki 1°'lik bölgede, STO ve STS döneminde toplam 1044 deprem verisi bulunmaktadır (Şekil 4.1). 1°'lik baraj çevresi

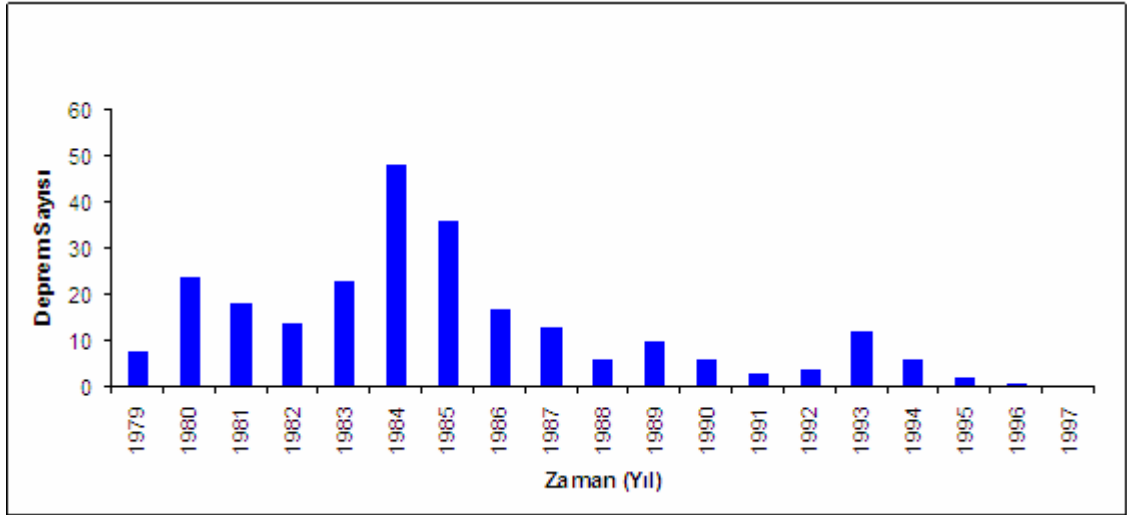
inceleme alanında, STO ve STS dönemler birlikte değerlendirildiğinde oluşan depremlerin magnitüd dağılımı Şekil 4.2’de ve yıllık olarak oluşan deprem sayısı grafiği Şekil 4.3’te görülmektedir.



Şekil 4.1: Oymapınar barajı, 1°'lik bölge için, zamana bağlı STO+STS dönemi birikimli deprem sayısı. Tüm birikimli deprem sayısı grafikleri ZMAP programı ile çizdirilmiştir (Wiemer, 2001)



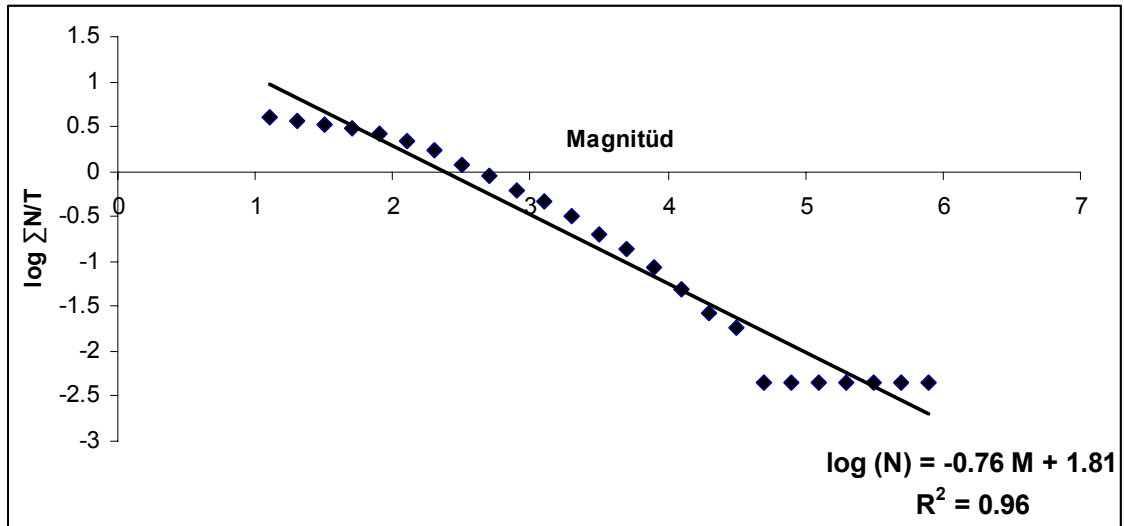
Şekil 4.2: Oymapınar barajı, 1°'lik bölge için, STO+STS dönemi magnitüd-deprem sayısı dağılımı. Tüm histogramlar ZMAP programı ile çizdirilmiştir (Wiemer, 2001)



Şekil 4.3: Oymapınar barajı, 1°lik bölge için, STO+STS dönemi yıllık deprem sayısı grafiği

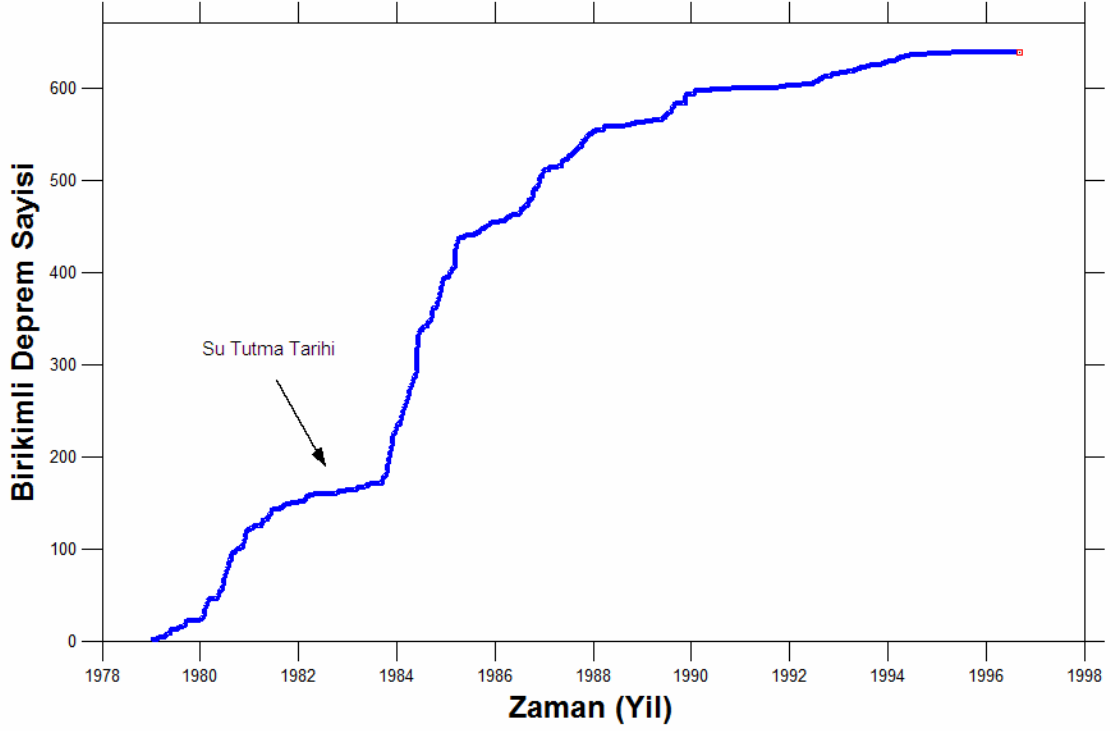
Oymapınar barajı bölgesinin gerilme durumu ve heterojenliği hakkında bilgi edinmek amacıyla, baraj çevresinin 1°lik bölge içerisindeki depremler kullanılarak oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi a ve b katsayıları hesaplanmıştır. Toplam 221 aylık zaman aralığı için, birim zaman 1 ay olarak seçilmiştir.

1°lik bölge, STO ve STS döneminde oluşan depremlerin oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi tamamlılık magnitüdü (M_c) 1.1 seçilerek elde edilen katsayılar $a=1.81$ ve $b=0.76$ 'dır (Şekil 4.4).

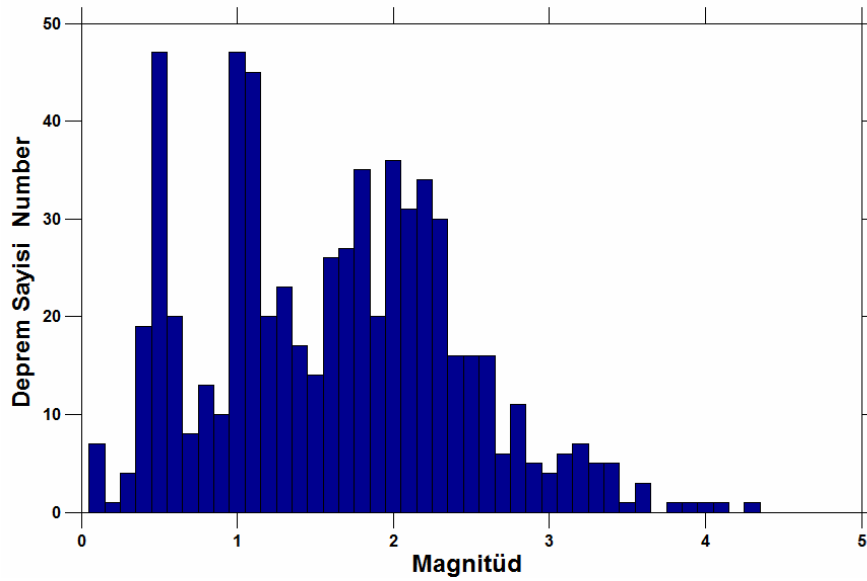


Şekil 4.4: Oymapınar barajı, 1°lik bölge için, oluşum sayısı-magnitüd grafiği ($M_c=1.1$)

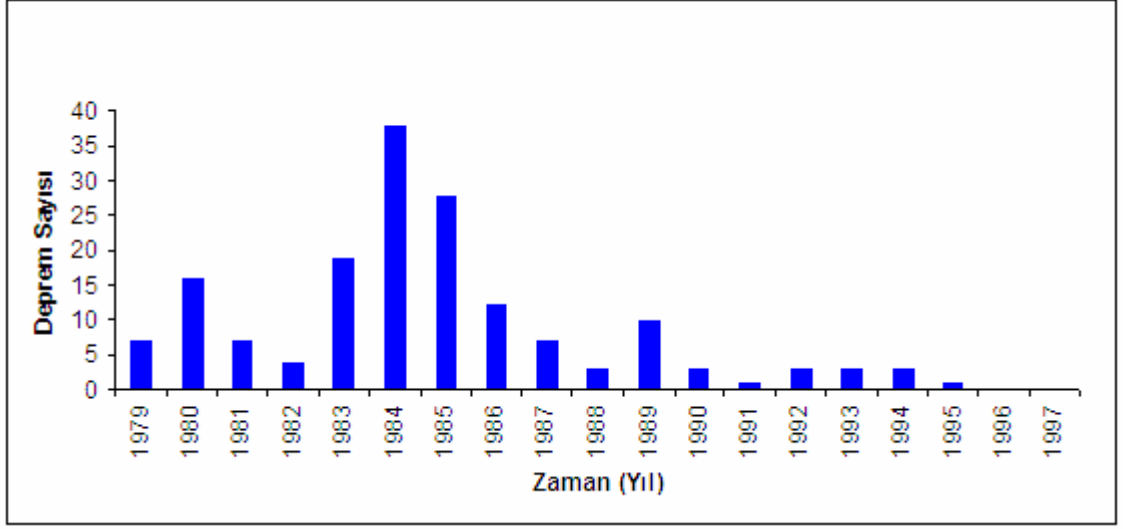
Oymapınar baraj çevresini daha ayrıntılı incelemek amacıyla, $36.7-37.2^{\circ}K$ ve $31.3-31.8^{\circ}D$ arasındaki 0.5° 'lik bölge içerisinde tüm inceleme zamanı içinde toplam 640 deprem oluşmuştur (Şekil 4.5). İncelenen depremlerin magnitüd dağılımı Şekil 4.6'daki gibidir. Yıllara göre oluşan depremler sayısı ise Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Şekil 4.8'de depremlerin magnitüd-zaman dağılımı gösterilmektedir.



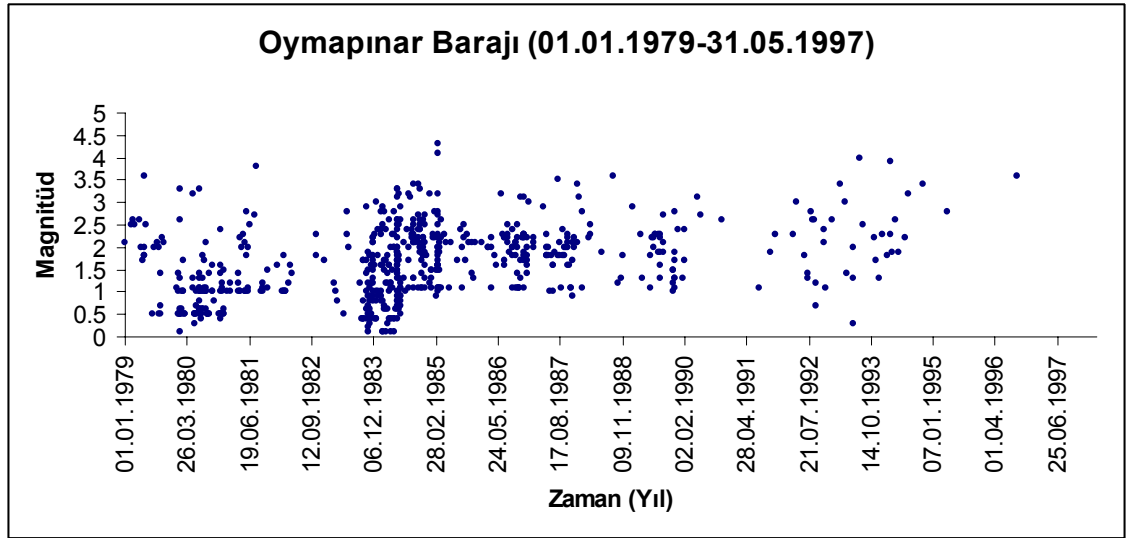
Şekil 4.5: Oymapınar barajı, 0.5° 'lik bölge için, zamana bağlı STO+STS dönemi birikimli deprem sayısı



Şekil 4.6: Oymapınar barajı, 0.5° 'lik bölge için, magnitüd- deprem sayısı dağılımı

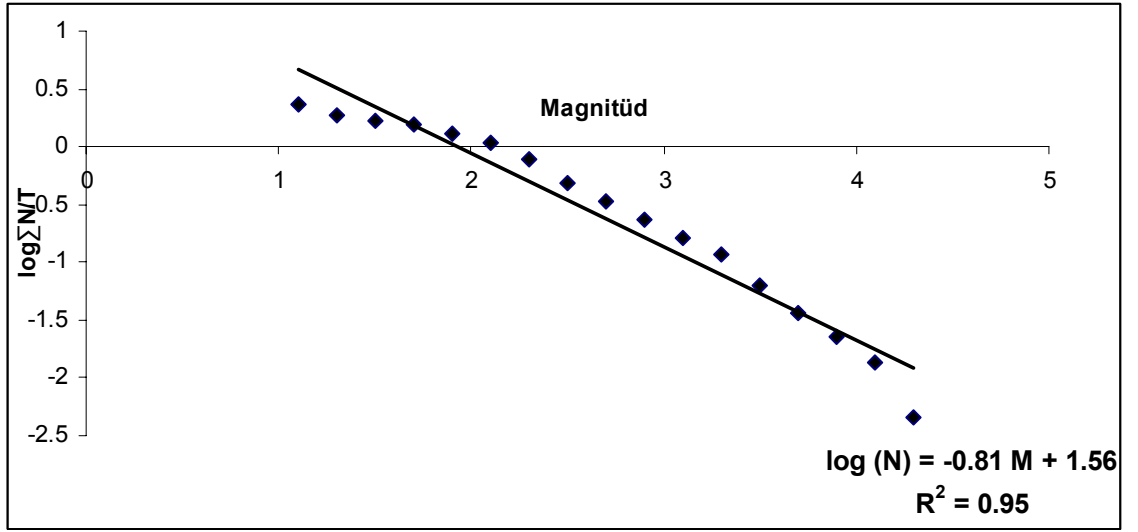


Şekil 4.7: Oymapınar barajı , 0.5°'lik bölge için, STO+STS dönemi yıllık deprem sayısı grafiği



Şekil 4.8: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, STO+STS dönemi magnitüd-zaman dağılımı

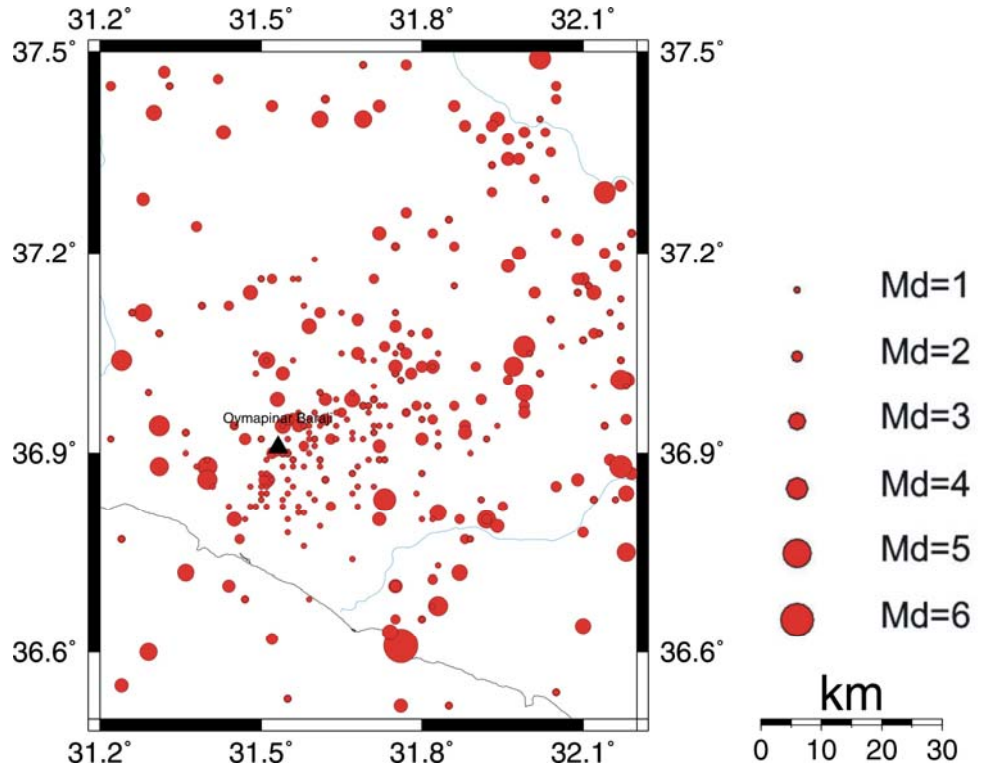
221 aylık tüm inceleme zaman aralığında (STO ve STS dönem), birim zaman 1 ay olmak üzere, 0.5°'lik bölge için $M_c=1.1$ seçilerek elde edilen oluşum sayısı-magnitüd ilişkisinde katsayılar $a=1.56$ ve $b=0.81$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, STO+STS dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği ($M_c=1.1$)

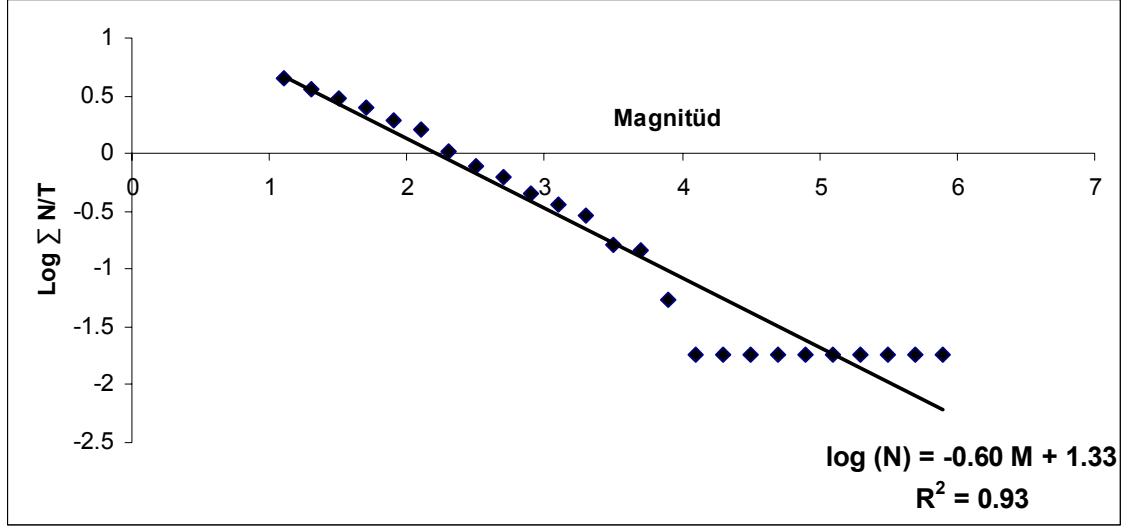
4.1.1. Su Tutma Öncesi (STO) Depremsellik

Su Tutma Öncesi (STO) dönem olarak adlandırılan, barajın su tutma tarihi olan 09.08.1983 tarihine kadar 55 aylık süre içerisinde 36.5-37.5°K ve 31.2-32.2°D arasındaki 1°'lik bölgede toplam 312 deprem oluşmuştur. Bu dönemde oluşan depremlerin dış merkezlerinin dağılımı Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



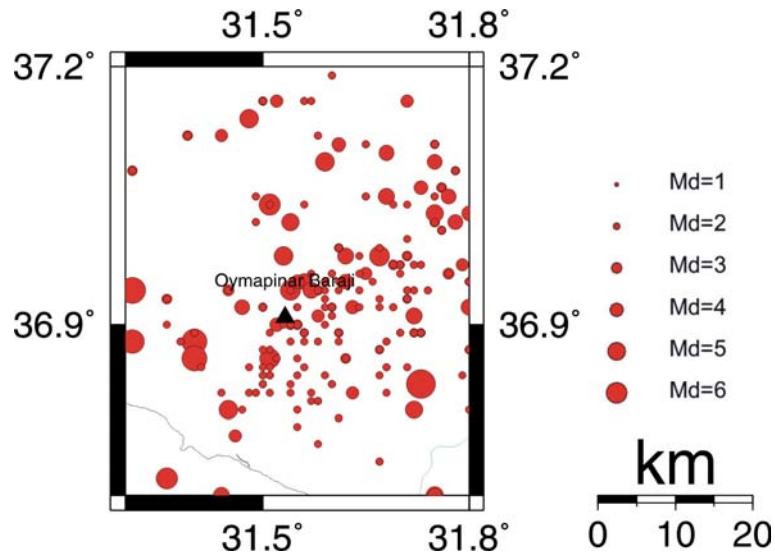
Şekil 4.10: Oymapınar Barajı, 1°'lik bölge için, STO dönemi deprem dış merkez dağılımları

Oymapınar baraj çevresi, 1°'lik bölge için, birim zaman 1 ay olmak üzere, oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi sonucu elde edilen a ve b katsayıları Şekil 4.11'de gösterilmiştir. $M_c=1.1$ seçilerek elde edilen katsayılar, $a=1.33$ ve $b=0.60$ 'dır.



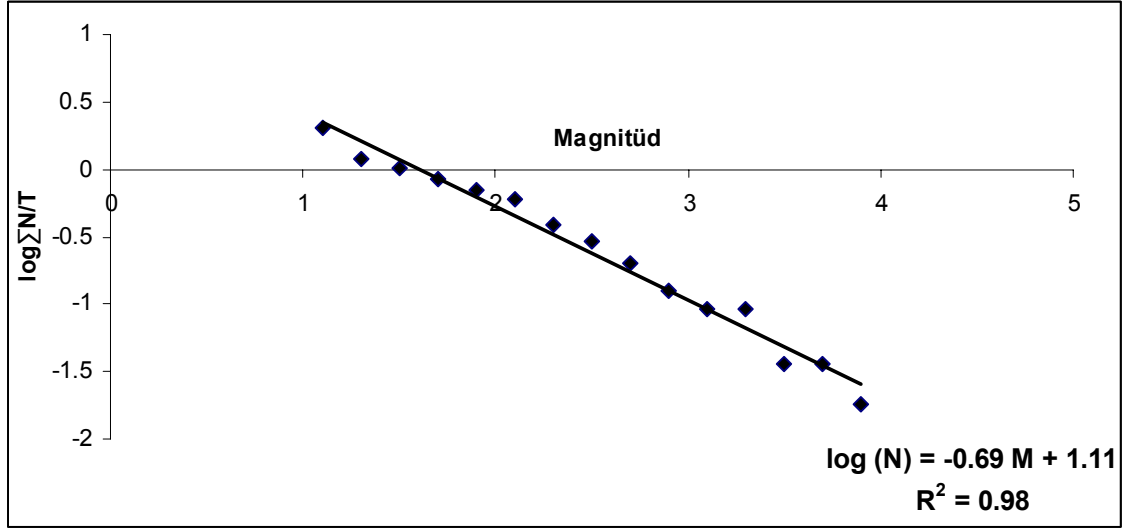
Şekil 4.11: Oymapınar barajı, 1°'lik bölge için, STO dönem oluşum sayısı-magnitüd grafiği ($M_c=1.1$)

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 4.12'de gösterilmiştir. 55 aylık STO dönemde 0.5°'lik bu bölgede 170 adet deprem kaydedilmiştir.



Şekil 4.12: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, STO dönemi deprem dış merkez dağılımları

0.5°'lik bölgede oluşan deprem verileri için, birim zaman 1 ay olmak üzere, $M_c=1.1$ seçilerek, oluşum sayısı- magnitüd grafiği Şekil 4.13'te görüldüğü gibi $a=1.11$ ve $b=0.69$ olarak bulunmuştur.

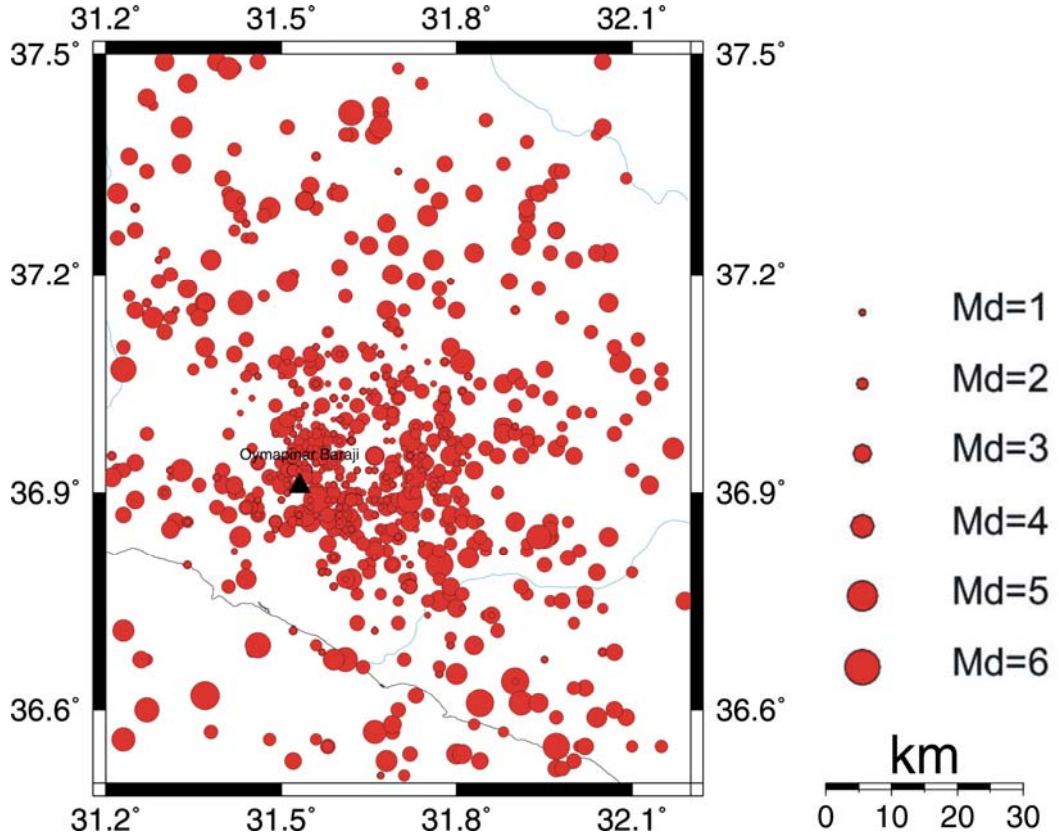


Şekil 4.13: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, STO dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği ($M_c=1.1$)

4.1.2. Su Tutma Sonrası (STS) Depremsellik

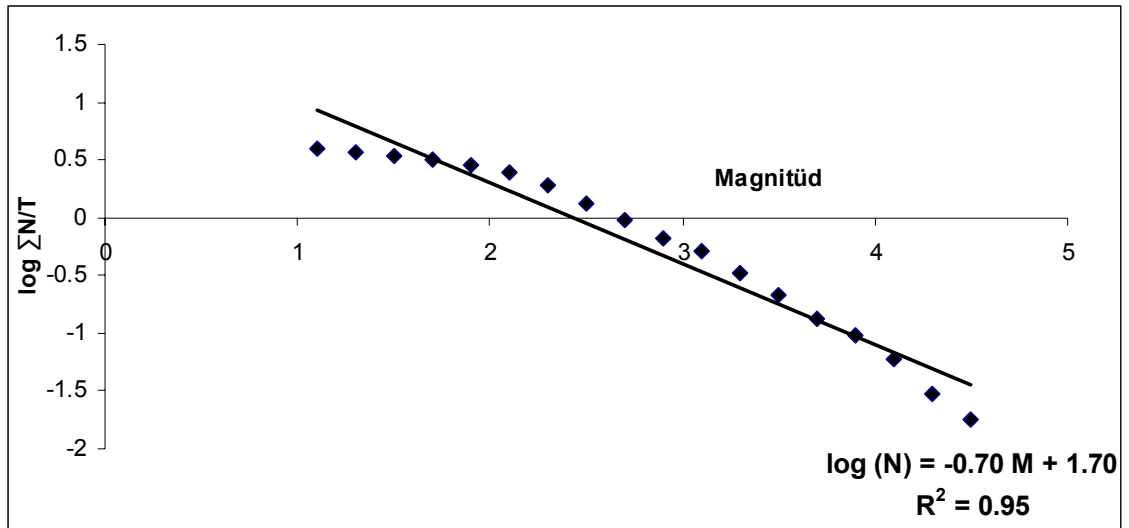
Oymapınar barajı 09.08.1983 tarihinde su tutmaya başlamıştır. DSİ Genel Müdürlüğü tarafından 31.05.1997 tarihine kadar baraj bölgesinin depremselliği inceleme çalışmaları devam etmiştir. Su Tutma Sonrası (STS) dönemde, 36.5-37.5°K - 31.2-32.2°D arası 1°'lik bölge ve 36.7-37.2°K - 31.3-31.8°D arasında bulunan 0.5°'lik bölgede oluşan depremsellik değerlendirilmiştir. STS dönemi 166 aylık süredir.

Oymapınar baraj bölgesi 1°'lik bölgede toplam 732 deprem oluşmuştur. Bölgede oluşan depremlerin dış merkez dağılımları Şekil 4.14'de gösterilmektedir.



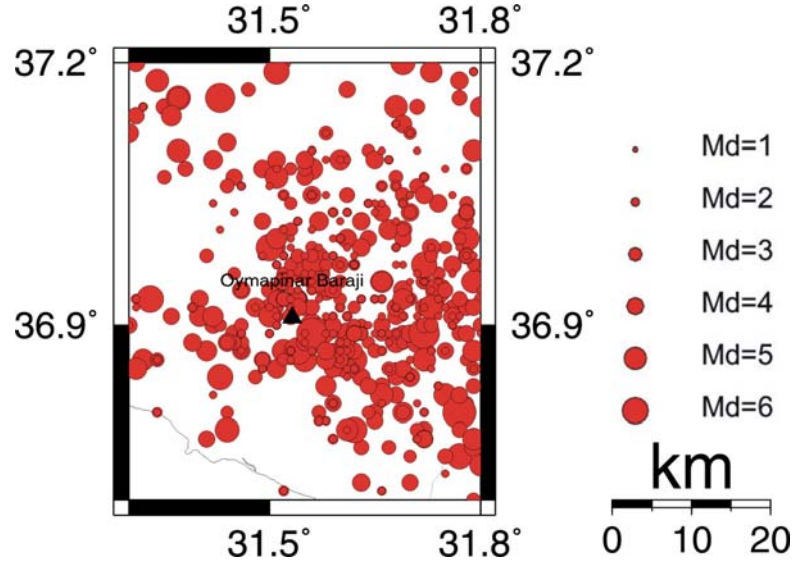
Şekil 4.14: Oymapınar barajı, 1°'lik bölge için, STS dönemi deprem dış merkez dağılımları

STS dönemi, 1°'lik bölgede oluşan depremlerin oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları, $M_c=1.1$ olmak üzere, $a=1.70$ ve $b=0.70$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.15).

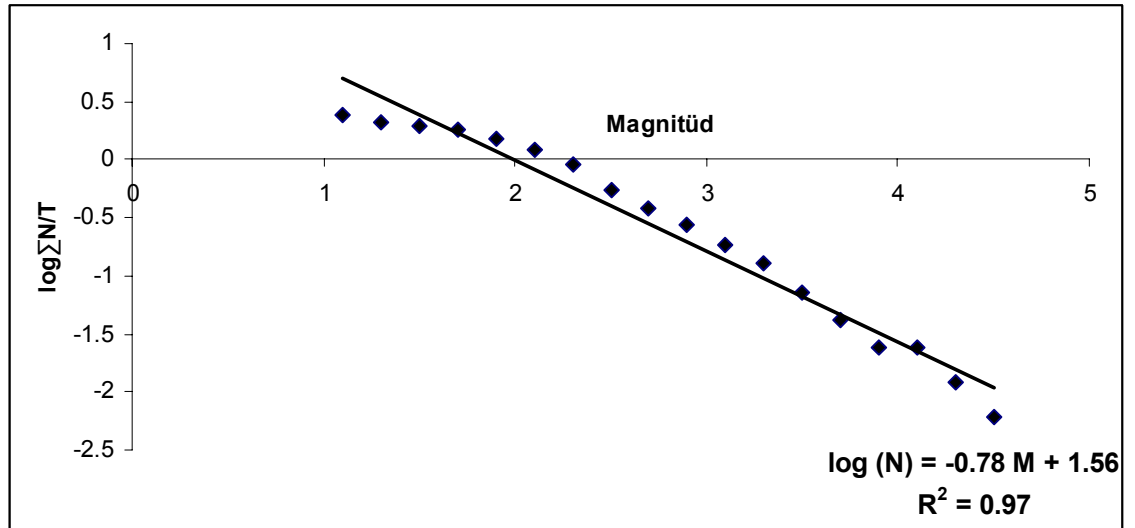


Şekil 4.15: Oymapınar barajı, 1°'lik bölge için, STS dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği ($M_c=1.1$)

Oymapınar barajı, STS dönemi, 0.5° 'lik bölgede 470 deprem oluşmuştur. Depremlerin dış merkez dağılımları Şekil 4.16'da 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 4.17).

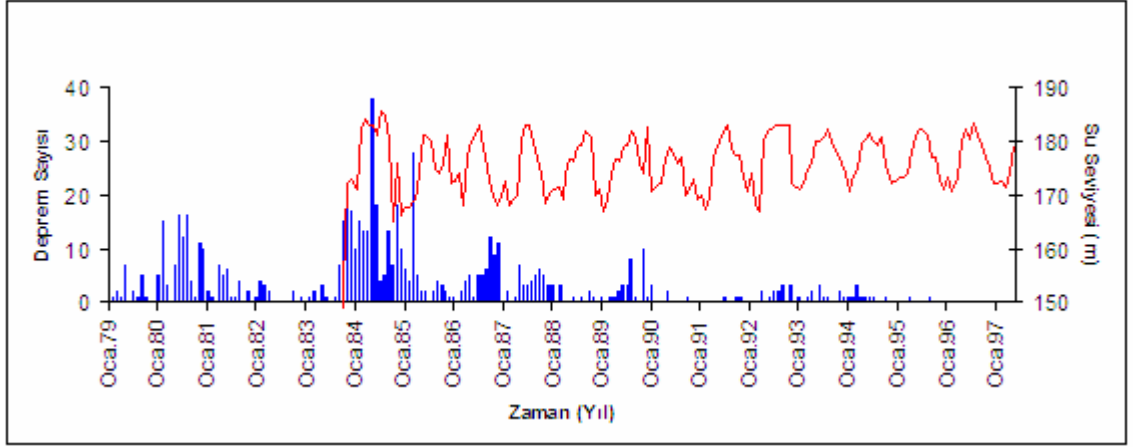


Şekil 4.16: Oymapınar barajı, 0.5° 'lik bölge için, STS dönem deprem dış merkez dağılımları



Şekil 4.17: Oymapınar barajı, 0.5° 'lik bölge için, STS dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği ($M_c=1.1$)

Tez çalışması kapsamında, DSİ Genel Müdürlüğü İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı İşletme Hidrolojisi Şube Müdürlüğü'nden Oymapınar barajı su seviyesi değerleri sağlanmıştır. Barajın su tutmasına bağlı olarak oluşan depremlerin incelenmesi amacıyla, 0.5°'lik baraj çevresi bölgesinde oluşan aylık deprem sayısı-barajın su seviyesi grafiği Şekil 4.18'de verilmektedir. Baraj 1983 yılı, 8. ayında su tutmaya başlamış ve 1984 yılı 7. ayında 185.5 m ile en yüksek su seviyesine ulaşmıştır.



Şekil 4.18: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, aylık deprem sayısı-su seviyesi grafiği

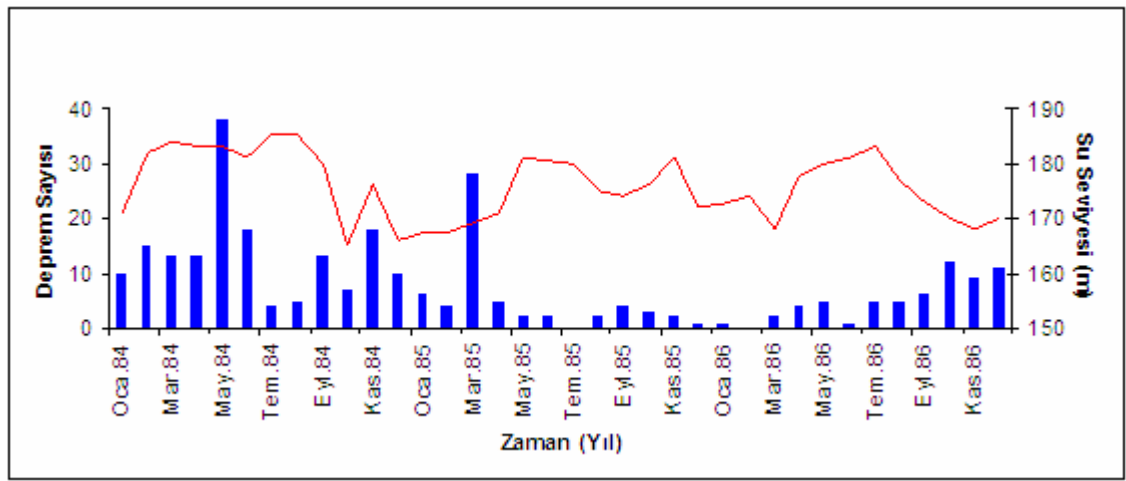
Oymapınar barajı, STO+STS, STO ve STS dönemlerinin 1°'lik ve 0.5°'lik inceleme bölgeleri için, $M_c=1.1$ seçilerek elde edilen oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları ve determinasyon katsayıları (R^2) aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 4.1)

Tablo 4.1: Oymapınar barajı 1°'lik ve 0.5°'lik bölge için, STO+STS, STO ve STS dönemleri oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları ($M_c=1.1$)

$M_c=1.1$	1°'lik bölge			0.5°'lik bölge		
	a	b	R^2	a	b	R^2
STO+STS	1.81	0.76	0.96	1.56	0.81	0.95
STO	1.33	0.60	0.93	1.11	0.69	0.98
STS	1.70	0.70	0.95	1.56	0.78	0.97

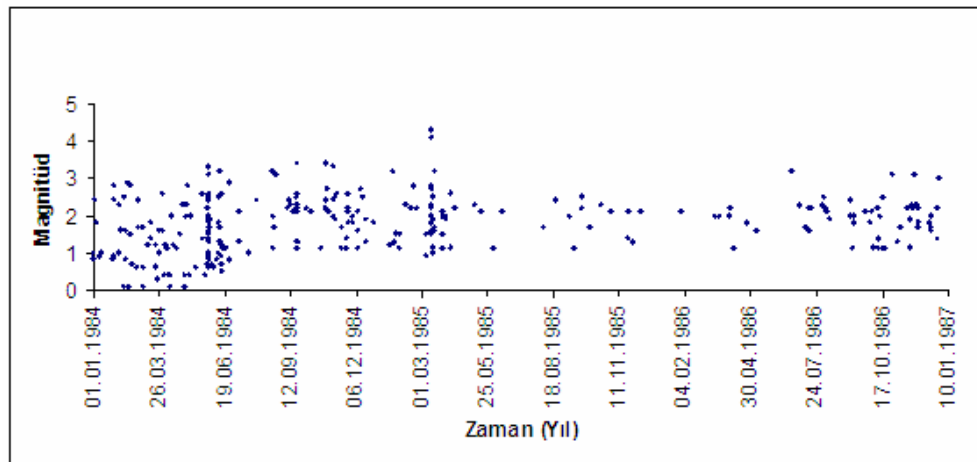
4.1.3. Oymapınar Barajı Deprem Karakteristikleri

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 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.19: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, 1984-1986 yılları arası deprem sayısı-su seviyesi grafiği

1984-1986 yıllarında oluşan depremlerin magnitüd-zaman dağılımı Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20: Oymapınar barajı, 0.5°'lik bölge için, 1984-1986 yılları arası magnitüd-zaman dağılımı

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** olmak üzere üç farklı durumda incelenmiştir. Belirtilen üç inceleme durumunda gözönüne alınan özellikler aşağıdaki gibidir.

- I. Ardışık Dönemler:** 29.05.1984-08.05.1986 tarihleri zaman aralığında oluşan depremler magnitüdlерinin 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.
- 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 gözlendiği 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.

4.1.3.1. Oluşum Sayısı-Magnitüd İlişkisi

29.05.1984-08.05.1986 tarihleri arasında oluşan depremler Ardışık Dönemler (I), Birleşik Dönemler (II) ve Yoğun Dönemler (III) içerisinde oluşan depremlerin, birim zaman 1 dakika alınarak, $M_c=1.1$ olmak üzere, oluşum sayısı- magnitüd ilişkisi saptanmıştır.

I. Ardışık Dönemler:

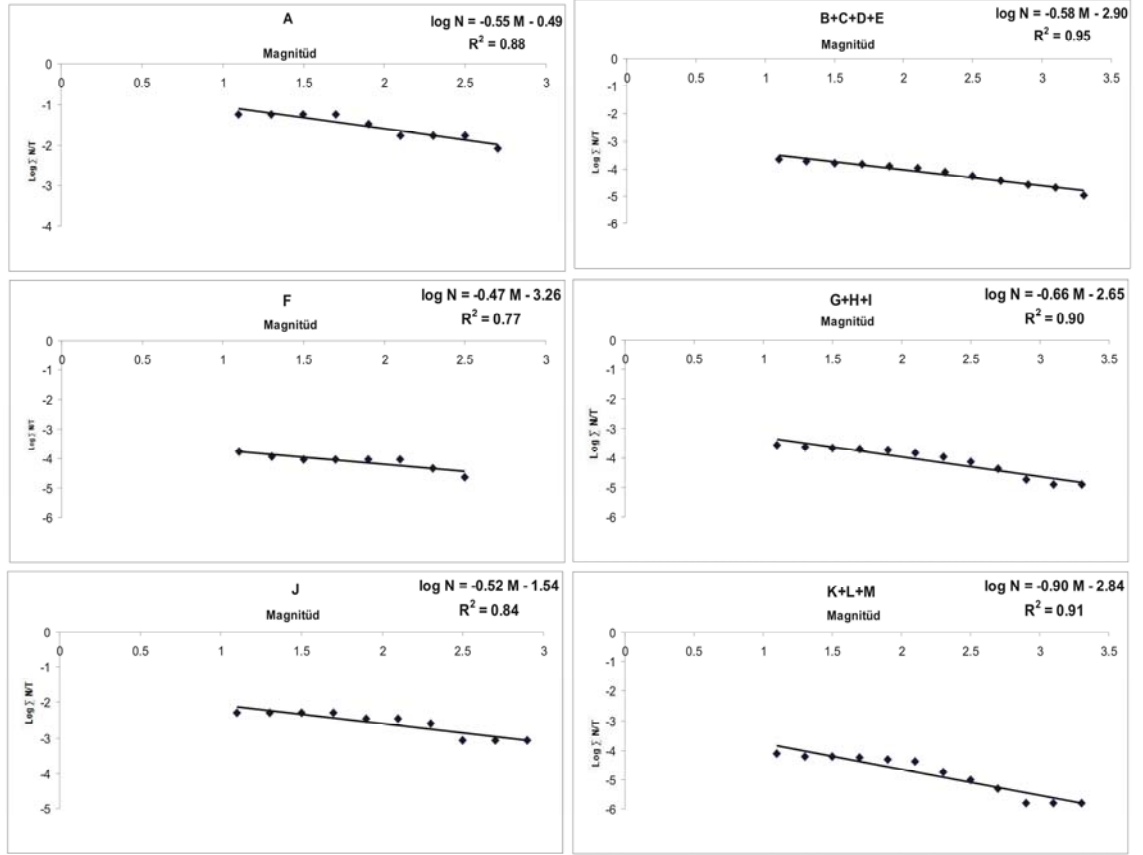
I. inceleme grubunda, oluşum sayısı-magnitüd katsayıları Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Oymapınar barajı I. durum oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları

Dönem	a	b	R ²
A	0.49	0.55	0.88
B	0.43	0.63	0.90
C	2.10	0.80	0.85
D	3.45	0.48	0.91
E	3.06	0.53	0.77
F	3.26	0.47	0.77
G	2.81	0.30	0.60
H	2.89	0.53	0.86
I	2.99	0.58	0.87
J	1.54	0.52	0.84
K	1.77	0.59	0.94
L	2.81	0.45	0.92
M	3.46	0.65	0.69

II. Birleşik Dönemler:

II. inceleme durumunda, oluşum sayısı-magnitüd grafikleri Şekil 4.21’de ve grafiklere ait katsayılar Tablo 4.3’de verilmiştir.



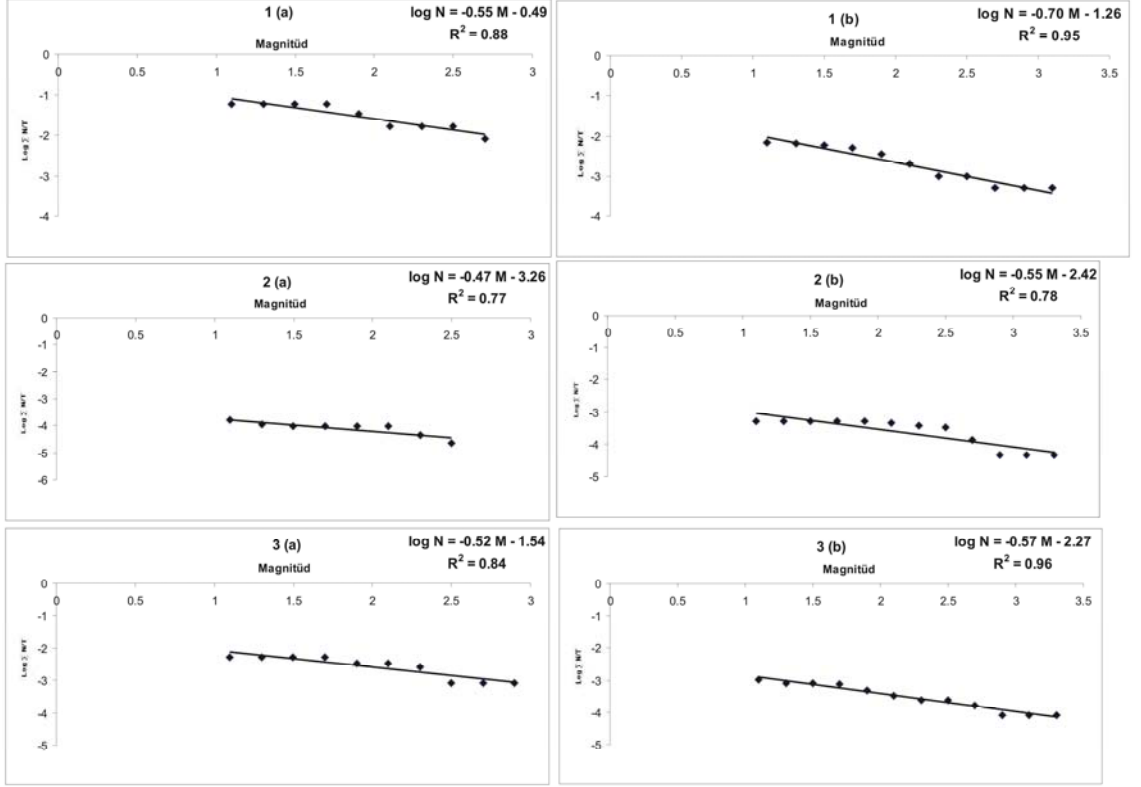
Şekil 4.21: Oymapınar barajı II. durum oluşum sayısı-magnitüd grafikleri ($M_c=1.1$)

Tablo 4.3: Oymapınar barajı II. durum oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları

Dönem	a	b	R^2
A	0.49	0.55	0.88
B+C+D+E	2.90	0.58	0.95
F	3.26	0.47	0.77
G+H+I	2.65	0.66	0.90
J	1.54	0.52	0.84
K+L+M	2.84	0.90	0.91

III. Yoğun Dönemler:

III. inceleme durumunda, oluşum sayısı-magnitüd grafikleri Şekil 4.22'de ve grafiklere ait katsayılar Tablo 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.22: Oymapınar barajı III. durum oluşum sayısı-magnitüd grafikleri ($M_c=1.1$)

Tablo 4.4: Oymapınar barajı III. durum oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları

Dönem	a	b	R^2
1 (a)	0.49	0.55	0.88
1 (b)	1.26	0.70	0.95
2 (a)	3.26	0.47	0.77
2 (b)	2.42	0.55	0.78
3 (a)	1.54	0.52	0.84
3 (b)	2.27	0.57	0.96

4.1.3.2. En Büyük Artçı Şok Magnitudünün, Ana Şok Magnitudüne Oranı

İncelenen 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 magnitudü ve dönem içinde oluşan en büyük depremin büyüklüğü artçı şok magnitudü olarak kabul edilmiştir. Aşağıda, farklı gruplama şekilleriyle incelenen dönemlerin en büyük artçı şok magnitudü ile ana şok magnitudünün oranı ve farkı değerleri Tablo 4.5, 4.6 ve 4.7’de verilmiştir.

I. Ardışık Dönemler:

Tablo 4.5: Oymapınar barajı I. durum oluşum magnitud farkı ve oranı değerleri

Dönem	M_0	M_1	M_0-M_1	M_1/M_0
A	3.3	2.6	0.7	0.27
B	3.3	2.4	0.9	0.38
C	3.1	2.5	0.6	0.24
D	3.2	2.9	0.3	0.10
E	3.2	3.1	0.1	0.03
F	3.4	2.5	0.9	0.36
G	3.4	2.7	0.7	0.26
H	3.3	2.7	0.6	0.22
I	3.2	2.8	0.4	0.14
J	4.3	2.8	1.5	0.54
K	4.1	2.7	1.4	0.52
L	3.2	2.1	1.1	0.52
M	2.6	2.5	0.1	0.04

II. Birleşik Dönemler:

Tablo 4.6: Oymapınar barajı II. durum oluşum magnitud farkı ve oranı değerleri

Dönem	M_0	M_1	M_0-M_1	M_1/M_0
A	3.3	2.6	0.7	0.79
B+C+D+E	3.3	3.1	0.2	0.94
F	3.4	2.5	0.9	0.74
G+H+I	3.4	2.8	0.6	0.82
J	4.3	2.8	1.5	0.65
K+L+M	4.1	2.7	1.4	0.66

III. Yoğun Dönemler:

Tablo 4.7: Oymapınar barajı III. durum oluşum magnitüd farkı ve oranı değerleri

Dönem	M_0	M_1	M_0-M_1	M_1/M_0
1 (a)	3.3	2.6	0.7	0.79
1 (b)	3.3	3.1	0.2	0.94
2 (a)	3.4	2.5	0.9	0.74
2 (b)	3.4	2.6	0.8	0.76
3 (a)	4.3	2.8	1.5	0.65
3 (b)	4.1	3.2	0.9	0.78

4.1.3.3. Öncü ve Artçı Şokların Zamansal Azalimleri

Oymapınar barajı, 29.05.1984-08.05.1986 tarihleri arasındaki **I**, **II** ve **III** inceleme durumları için, Değiştirilmiş Omori bağıntısı ile öncü ve artçı şoklarının zamansal azalım ilişkisi elde edilmiştir.

I. Ardışık Dönemler:

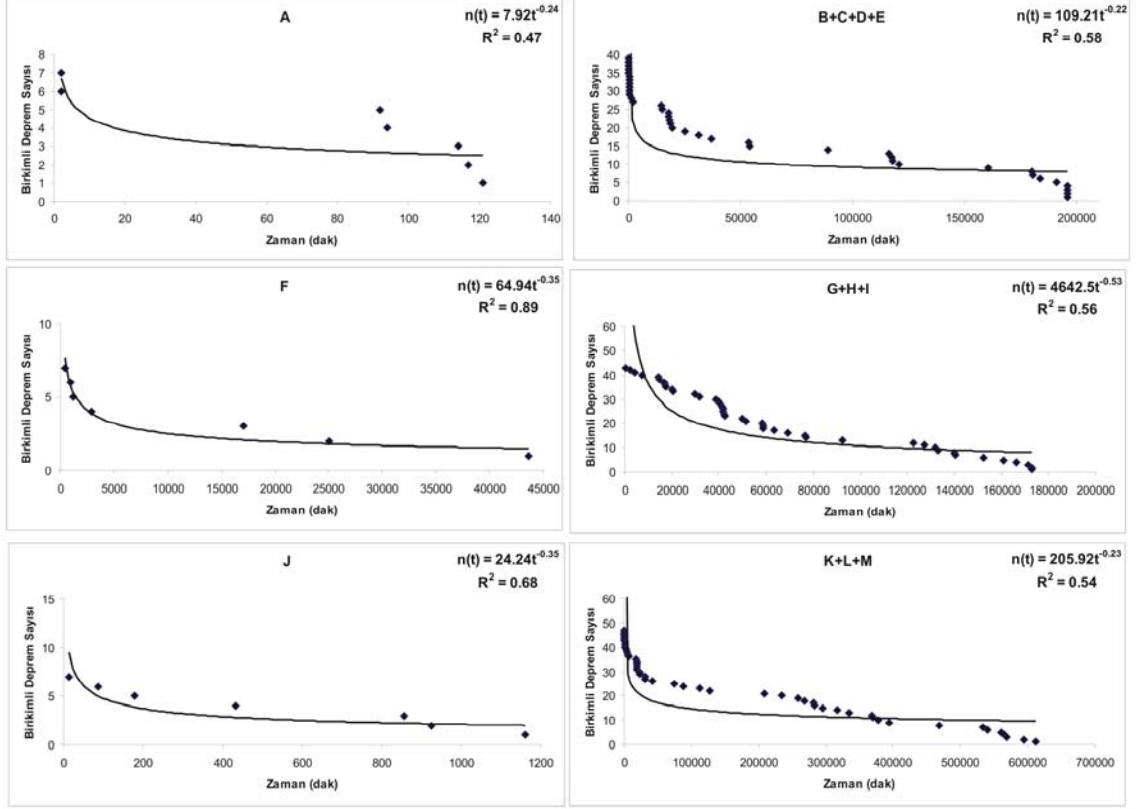
I dönemine ait depremlerin zamansal azalımı sonucu elde edilen değerler Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8: Oymapınar barajı I. durum azalım ilişkisi değerleri

Dönem	p	R^2
A	0.24	0.47
B	0.48	0.62
C	0.23	0.84
D	0.20	0.62
E	0.25	0.31
F	0.35	0.89
G	0.44	0.80
H	0.42	0.50
I	0.70	0.73
J	0.35	0.68
K	0.24	0.47
L	0.48	0.42
M	0.31	0.34

II. Birleşik Dönemler:

II dönemine ait öncü ve artçı şokların zamansal azalım grafikleri Şekil 4.23’de ve elde edilen değerler Tablo 4.9’da verilmiştir.



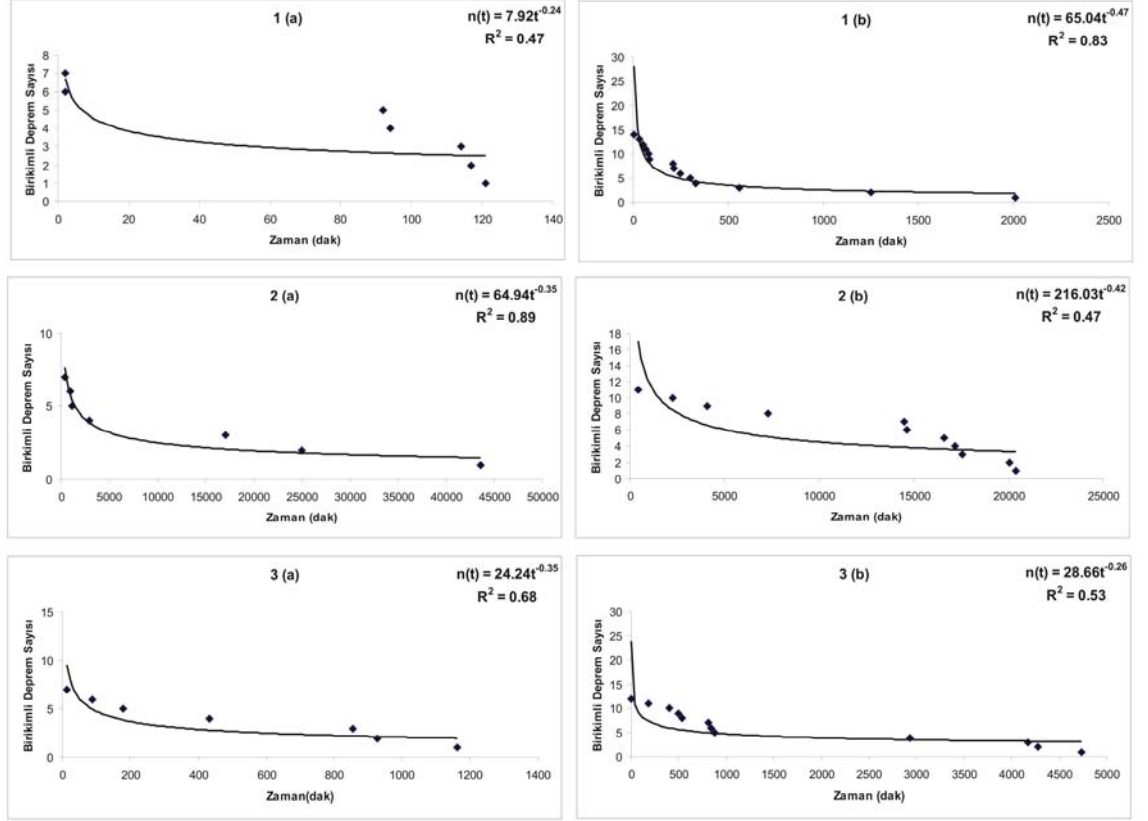
Şekil 4.23: Oymapınar barajı II. durum için deprem oluş sayısının zamansal azalımı

Tablo 4.9: Oymapınar barajı II. durum azalım ilişkisi değerleri

Dönem	p	R ²
A	0.24	0.47
B+C+D+E	0.22	0.58
F	0.35	0.89
G+H+I	0.52	0.61
J	0.35	0.68
K+L+M	0.23	0.54

III. Yoğun Dönemler:

III durumuna ait öncü ve artçı şokların zamansal azalım grafikleri Şekil 4.24’de ve elde edilen değerler Tablo 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.24: Oymapınar Barajı III durumu için deprem oluş sayısının zamansal azalımı

Tablo 4.10: Oymapınar barajı III. durum azalım ilişkisi değerleri

Dönem	p	R ²
1 (a)	0.24	0.47
1 (b)	0.47	0.83
2 (a)	0.35	0.89
2 (b)	0.42	0.47
3 (a)	0.35	0.35
3 (b)	0.26	0.53

Oymapınar barajı I, II ve III inceleme durumları için elde edilen deprem karakteristikleri sonuçları Tablo 4.11, Tablo 4.12 ve Tablo 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.11: Oymapınar barajı I. durum deprem karakteristikleri

$M_c=1.1$	Oluşum Sayısı- Magnitüd İlişkisi			Magnitüd farkı ve oranları				Azalım İlişkisi	
	Dönem	a	b	R^2	M_0	M_1	M_0-M_1	M_1/M_0	p
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 4.12: Oymapınar barajı II. durum deprem karakteristikleri

$M_c=1.1$	Oluşum Sayısı- Magnitüd İlişkisi			Magnitüd farkı ve oranları				Azalım İlişkisi	
	Dönem	a	b	R^2	M_0	M_1	M_0-M_1	M_1/M_0	p
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 4.13: Oymapınar barajı III. durum deprem karakteristikleri

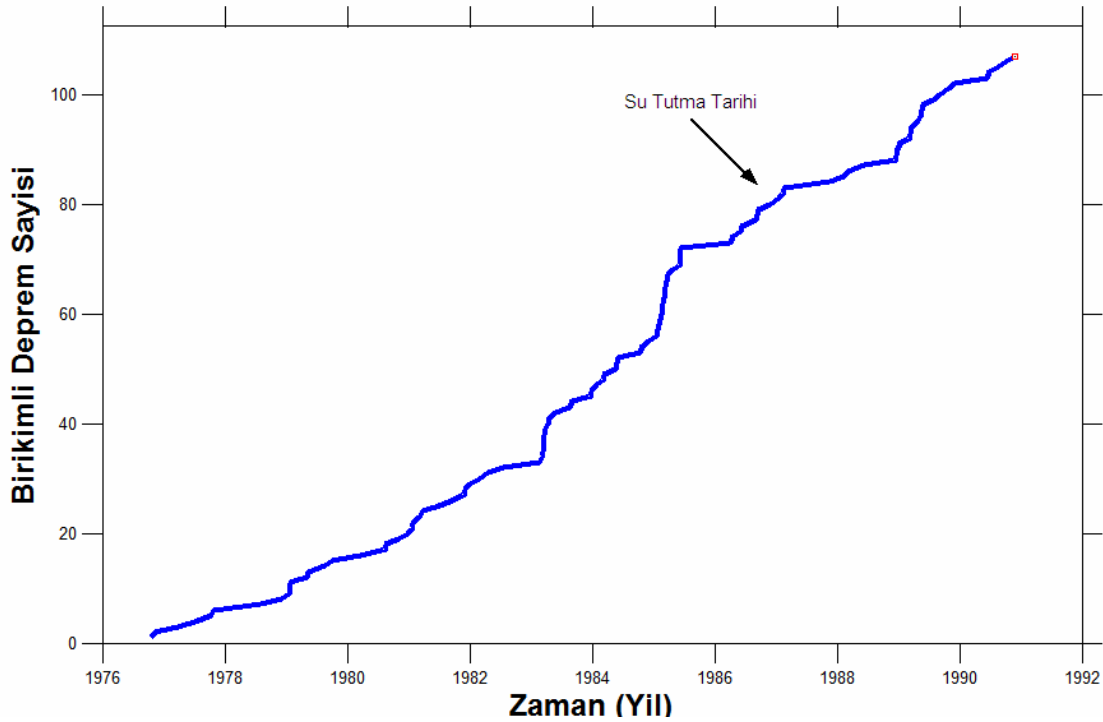
$M_c=1.1$	Oluşum Sayısı- Magnitüd İlişkisi			Magnitüd farkı ve oranları				Azalım İlişkisi	
	Dönem	a	b	R^2	M_0	M_1	M_0-M_1	M_1/M_0	p
1 (a)	0.49	0.55	0.88	3.3	2.6	0.7	0.79	0.24	0.47
1 (b)	1.26	0.70	0.95	3.3	3.1	0.2	0.94	0.47	0.83
2 (a)	3.26	0.47	0.77	3.4	2.5	0.9	0.74	0.35	0.89
2 (b)	2.42	0.55	0.78	3.4	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

4.2. ALTINKAYA BARAJI BULGULARI

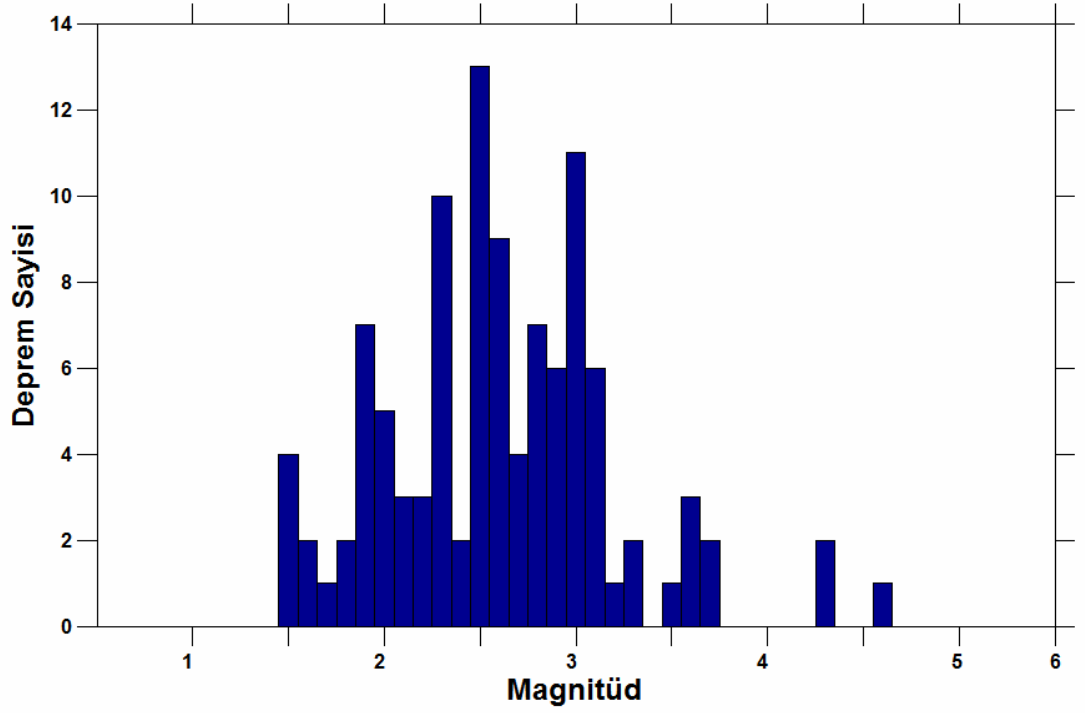
Tez çalışmasında ikinci örnek olarak Altinkaya barajı rezervuar kaynaklı depremselliği incelenmiştir. DSİ Genel Müdürlüğü tarafından Altinkaya barajı ve çevresinin depremselliği 01.09.1976-31.12.1990 tarihleri arasında incelenmiştir. Baraj 25.04.1987 tarihinde su tutmaya başlamıştır.

Çalışma kapsamında, DSİ Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan Altinkaya barajı deprem verileri, $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ (1° 'lik) ve $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ (0.5° 'lik) olmak üzere iki farklı bölgede incelenmiştir. $40.8-41.8^{\circ}K$ ve $35.3-36.3^{\circ}D$ koordinatları arası 1° 'lik, $41.00-41.50^{\circ}K$ ve $35.40-35.90^{\circ}D$ koordinatları ise 0.5° 'lik bölge olarak seçilmiştir. 1° 'lik ve 0.5° 'lik bölgeler için barajın su tutma tarihine göre STO ve STS dönemlerinin depremsellikleri incelenmiştir.

Altinkaya barajı, $40.8-41.8^{\circ}K$ ve $35.3-36.3^{\circ}D$ koordinatları arasındaki 1° 'lik bölge içerisinde STO ve STS dönemlerinde toplam 107 deprem oluşmuştur (Şekil 4.25). Depremlerin magnitüd dağılımları Şekil 4.26'da gösterilmiştir.

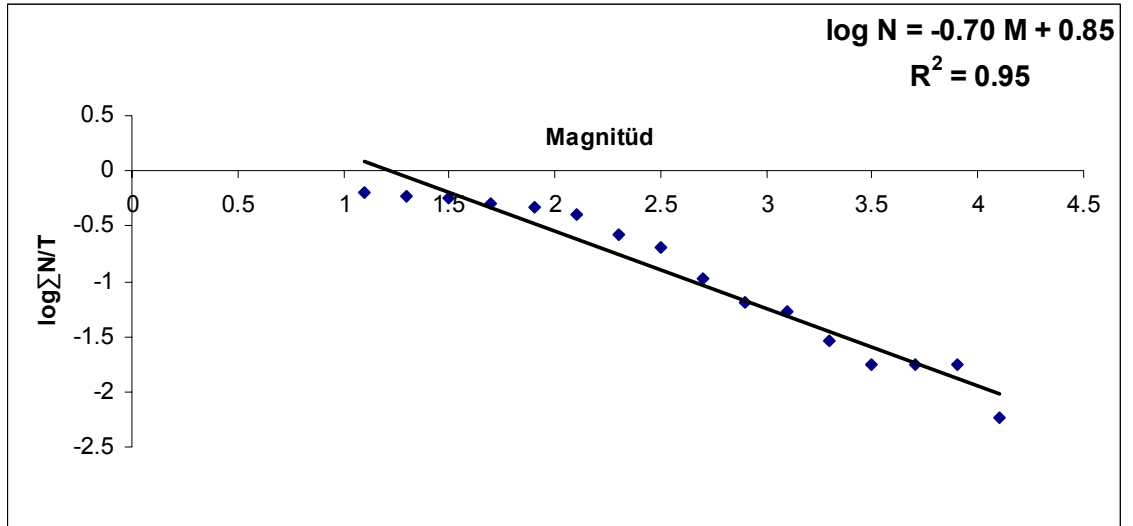


Şekil 4.25: Altinkaya barajı, 1° 'lik bölge için, zamana bağlı STO+STS dönemi birikimli deprem sayısı



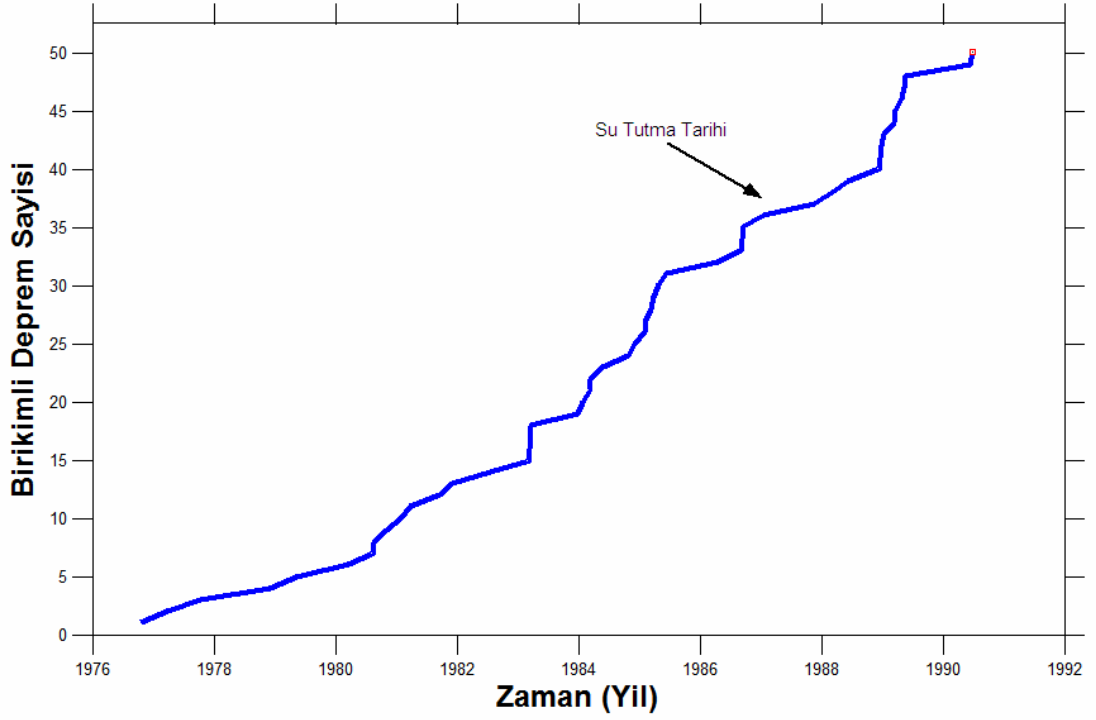
Şekil 4.26: Altinkaya barajı, 1°'lik bölge için, STO+STS dönemi magnitüde- deprem sayısı dağılımı

1°'lik Altinkaya baraj bölgesi için 171 aylık zaman aralığında, birim zaman 1 ay ve $M_c=1.1$ olarak seçilmiştir. Oluşum sayısı- magnitüd ilişkisi katsayıları $a=0.85$ ve $b=0.70$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.27).

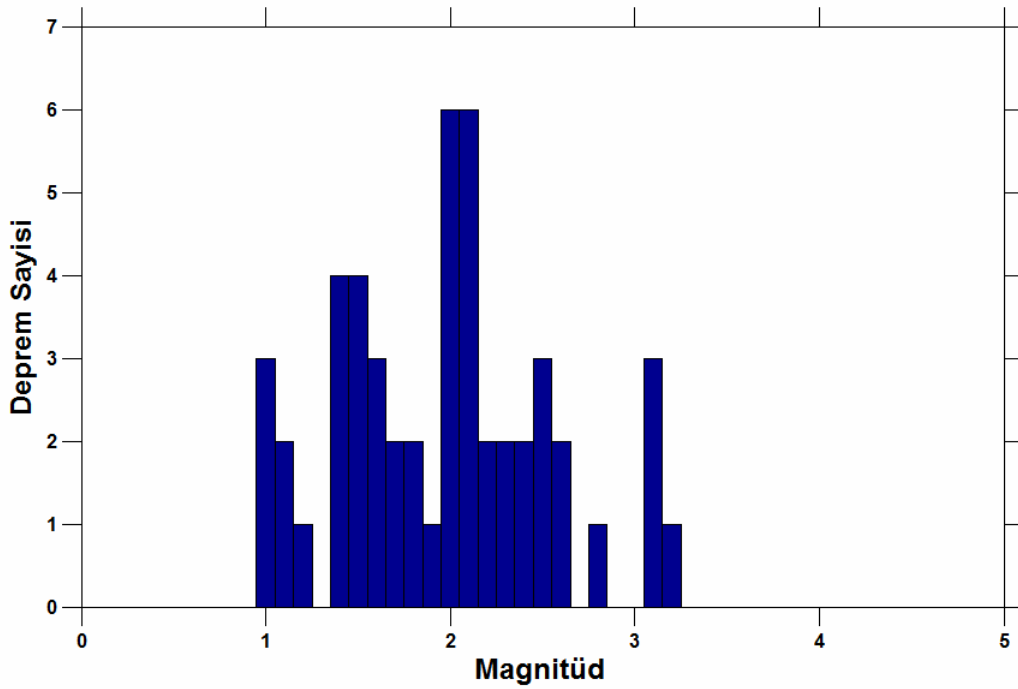


Şekil 4.27: Altinkaya barajı, 1°'lik bölge için, STO+STS dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği ($M_c=1.1$)

Altinkaya baraj bölgesi 0.5° lik alanda STO ve STS dönemlerinde toplam 50 deprem oluşmuştur (Şekil 4.28). Söz konusu alan için oluşan depremlerin magnitüd dağılımı ve yıllık deprem sayısı grafikleri Şekil 4.29'de verilmiştir.

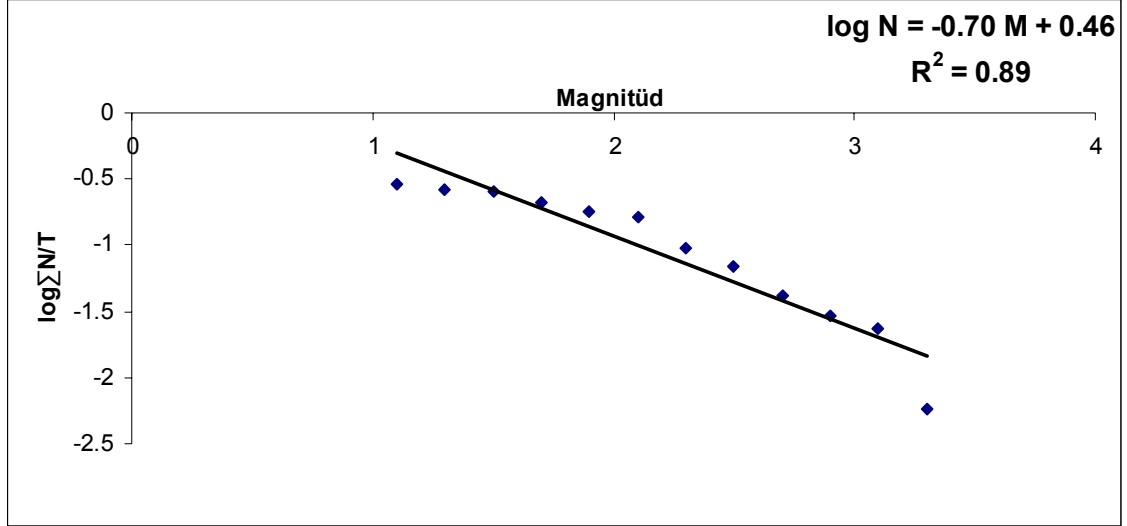


Şekil 4.28: Altinkaya barajı, 0.5° lik bölge için, zamana bağlı STO+STS dönemi birikimli deprem sayısı



Şekil 4.29: Altinkaya barajı, 0.5° lik bölge için, STO+STS dönem magnitüde- deprem sayısı dağılımı

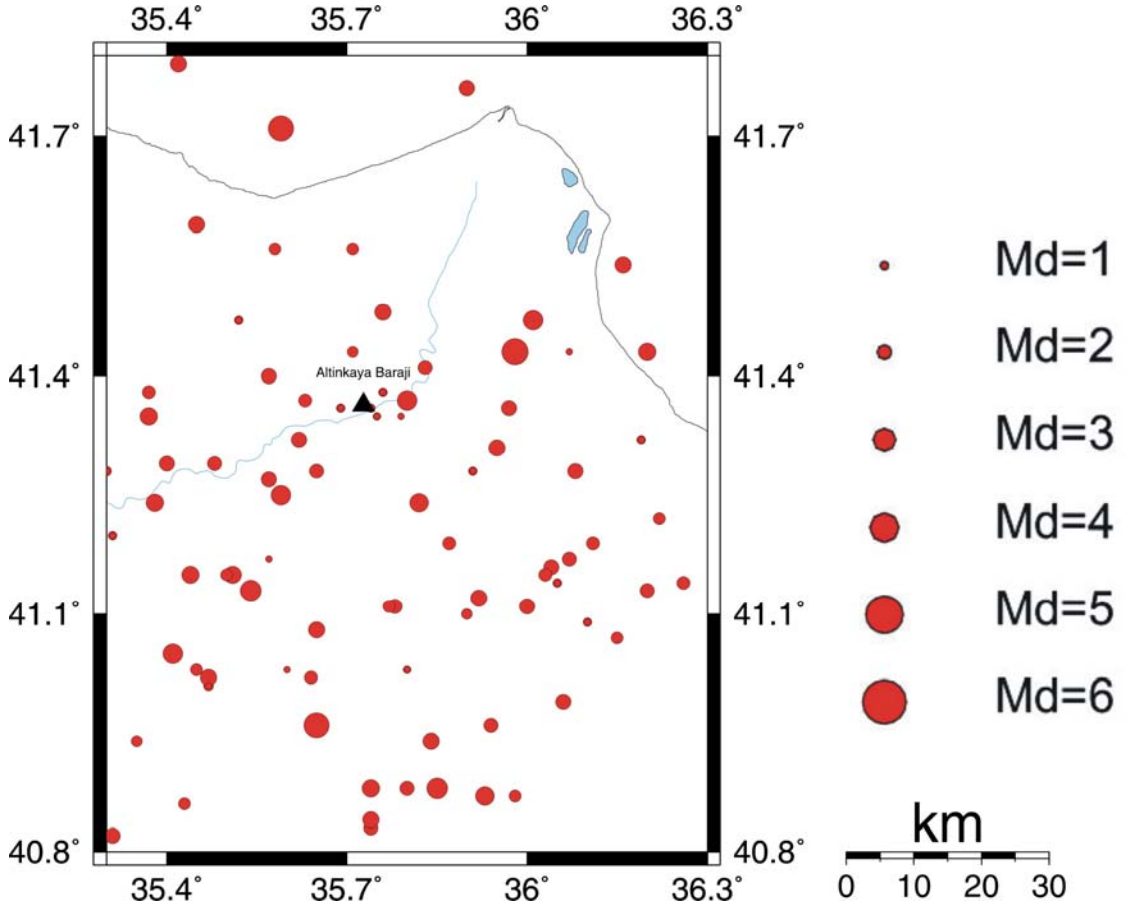
0.5°'lik Altinkaya baraj bölgesi için 171 aylık zaman aralığında, birim zaman 1 ay ve $M_c=1.1$ olarak seçilmiş ve oluşum sayısı- magnitüd ilişkisi katsayıları $a=0.46$ ve $b=0.70$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.30).



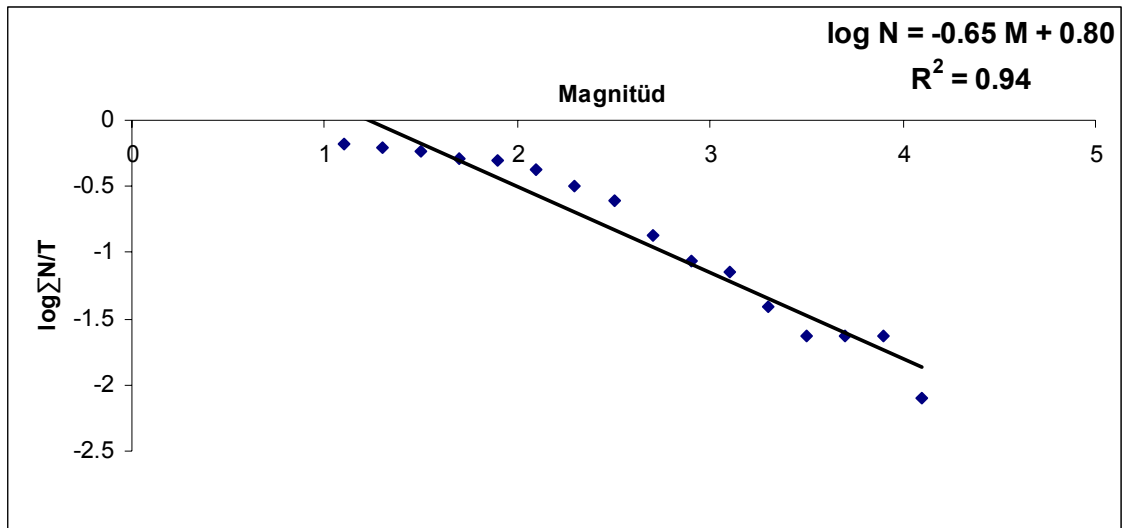
Şekil 4.30: Altinkaya barajı, 0.5°'lik bölge için, STO+STS dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği ($M_c=1.1$)

4.2.1. Su Tutma Öncesi (STO) Depremsellik

01.09.1976-25.04.1987 tarihleri arası dönem Altinkaya baraj bölgesi için su tutma öncesi (STO) olarak adlandırılmıştır. 127 aylık bu dönemde 1°'lik bölge içinde 83 deprem oluşmuş ve depremlerin dış merkez dağılımları Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Söz konusu 1°'lik alan içerisinde oluşan depremler birim zaman 1 ay ve $M_c=1.1$ seçilerek, oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları $a=0.80$ ve $b=0.65$ olarak elde edilmiştir (Şekil 4.32).

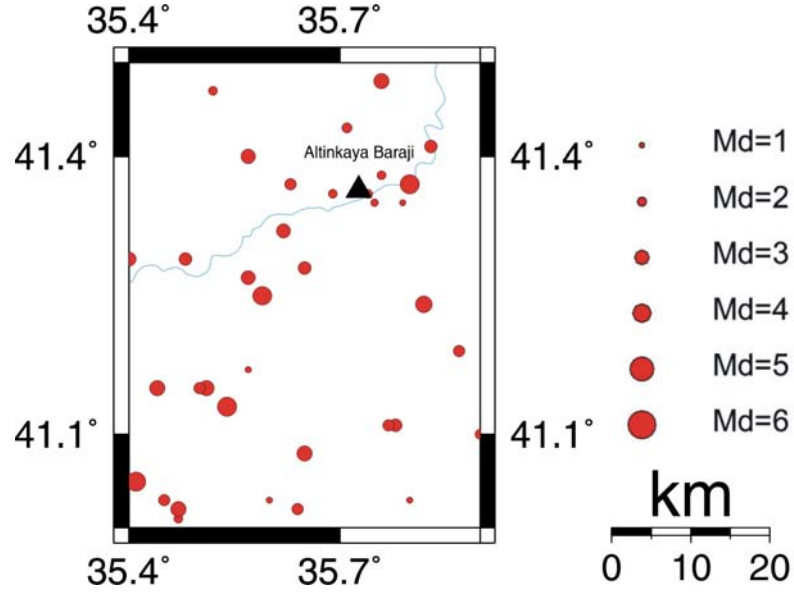


Şekil 4.31: Altinkaya barajı, 1°'lik bölge için, STO dönemi deprem dış merkez dağılımları

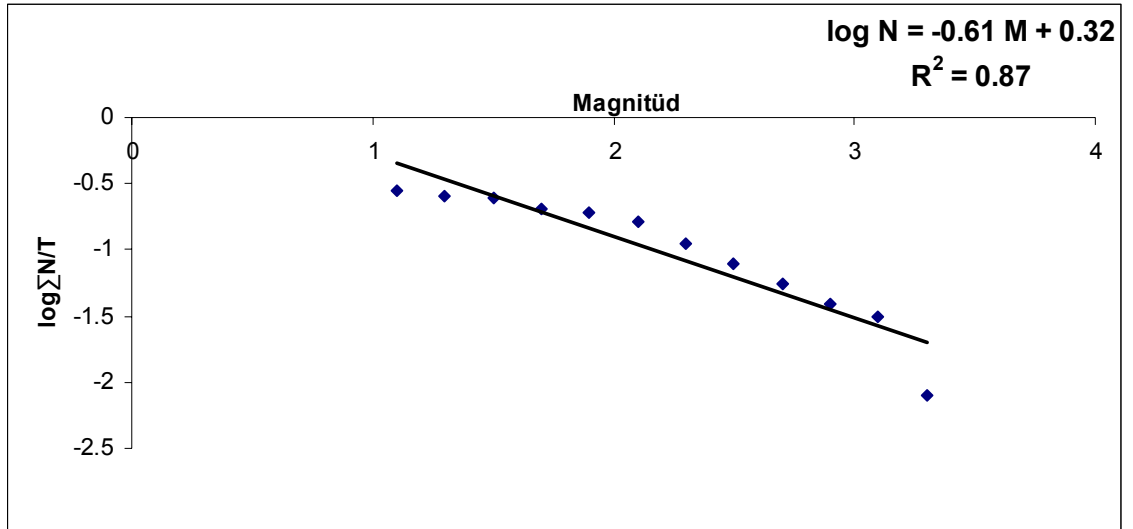


Şekil 4.32: Altinkaya barajı, 1°'lik bölge için, STO dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği (Mc=1.1)

Altinkaya barajı 0.5°'lik bölgede oluşan depremlerin dış merkez dağılımları Şekil 4.33'te gösterilmiştir. Bu bölge için, birim zaman 1 ay ve $M_c=1.1$ seçilerek elde edilen oluşum sayısı-magnitüd ilişkisinin katsayıları $a=0.32$ ve $b=0.61$ olarak saptanmış ve grafiği Şekil 4.34'te verilmiştir.



Şekil 4.33: Altinkaya barajı, 0.5°'lik bölge için, STO dönemi deprem dış merkez dağılımları

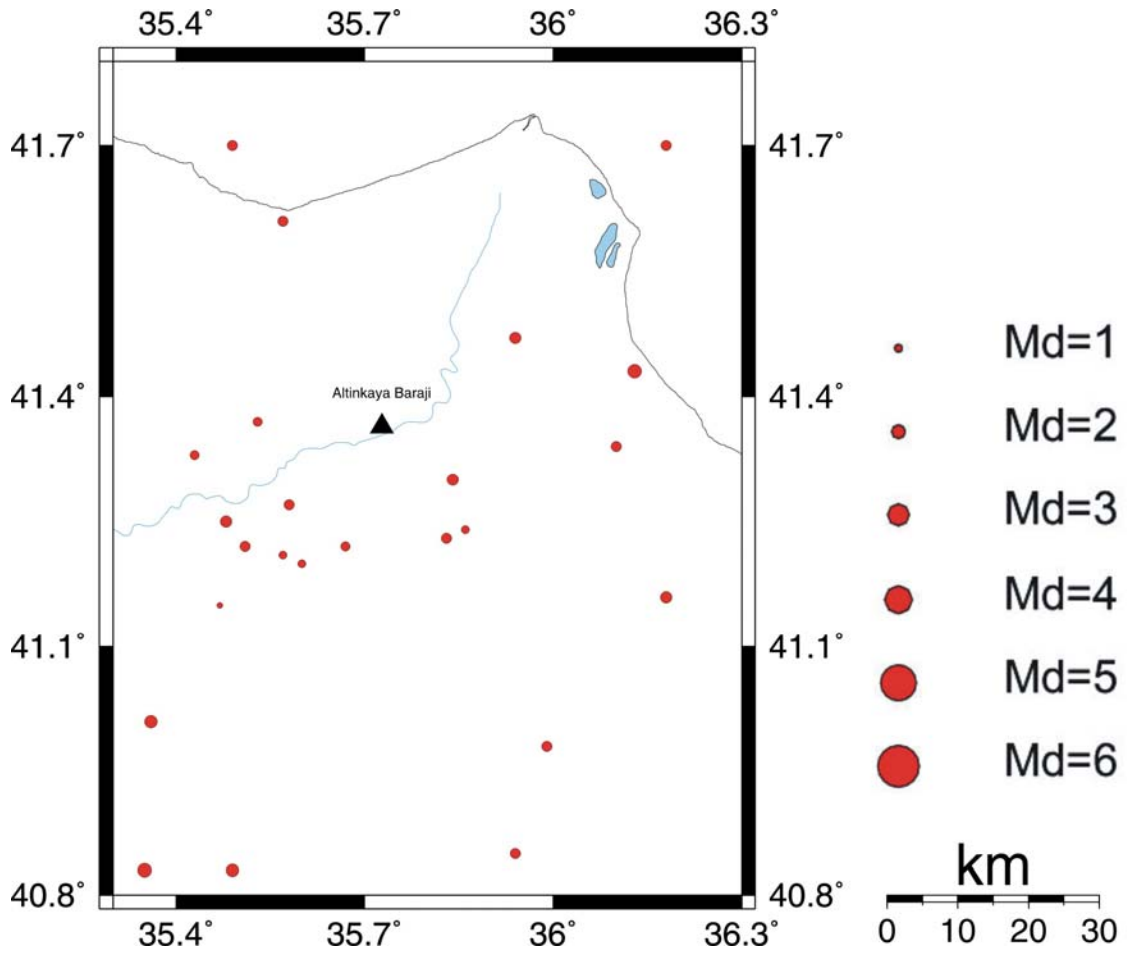


Şekil 4.34: Altinkaya barajı, 0.5°'lik bölge için, STO dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği ($M_c=1.1$)

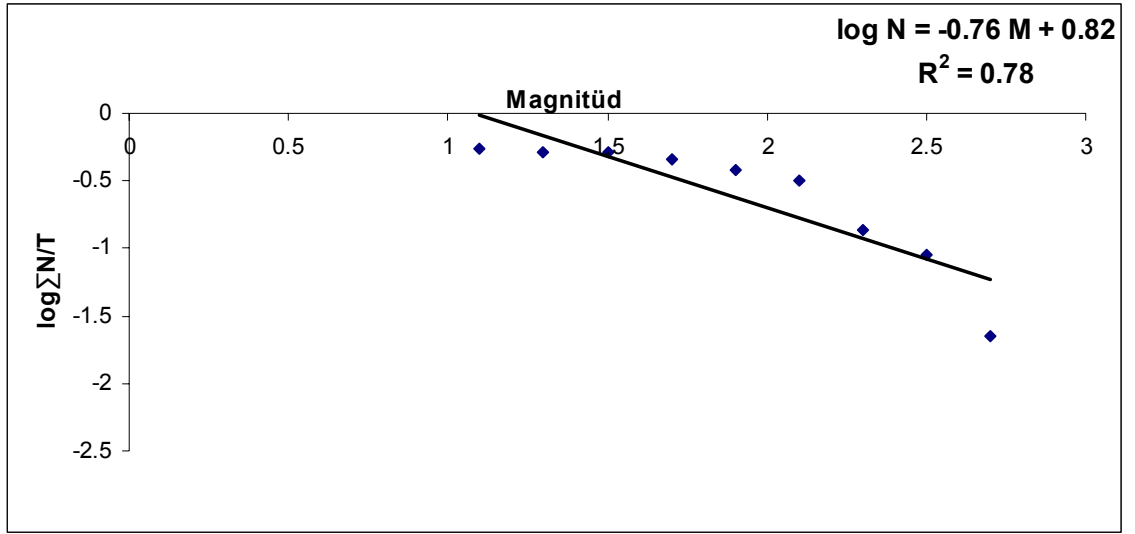
4.2.2. Su Tutma Sonrası (STS) Depremsellik

Altinkaya barajı için su tutma tarihinden (25.04.1987), 31.12.1990 tarihine kadar geçen 44 aylık süre su tutma sonrası (STS) olarak adlandırılmıştır.

1°'lik bölge içerisinde oluşan depremlerin dış merkez dağılımları Şekil 4.35'te ve birim zaman 1 ay ve $M_c=1.1$ olarak elde edilen oluşum sayısı-magnitüd grafiği Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Katsayılar $a=0.82$ ve $b=0.76$ olarak elde edilmiştir.

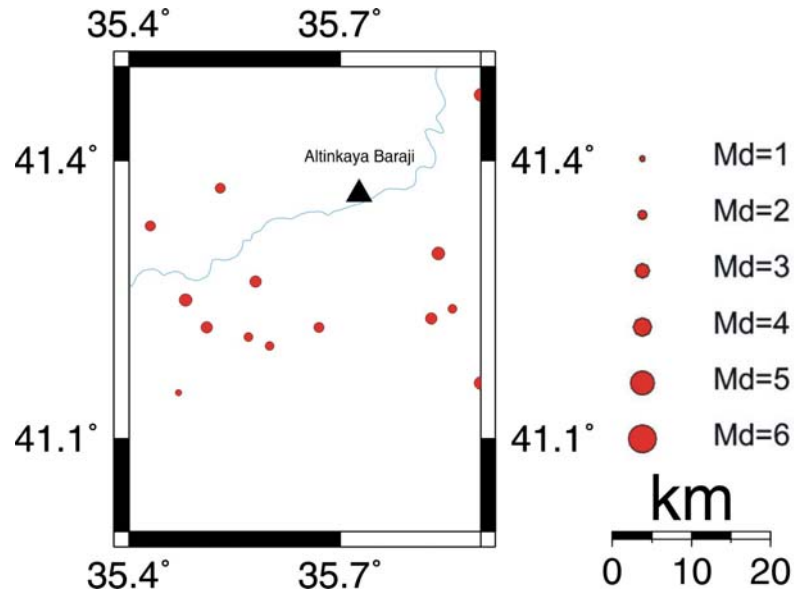


Şekil 4.35: Altinkaya barajı, 1°'lik bölge için, STS dönem deprem dış merkez dağılımları

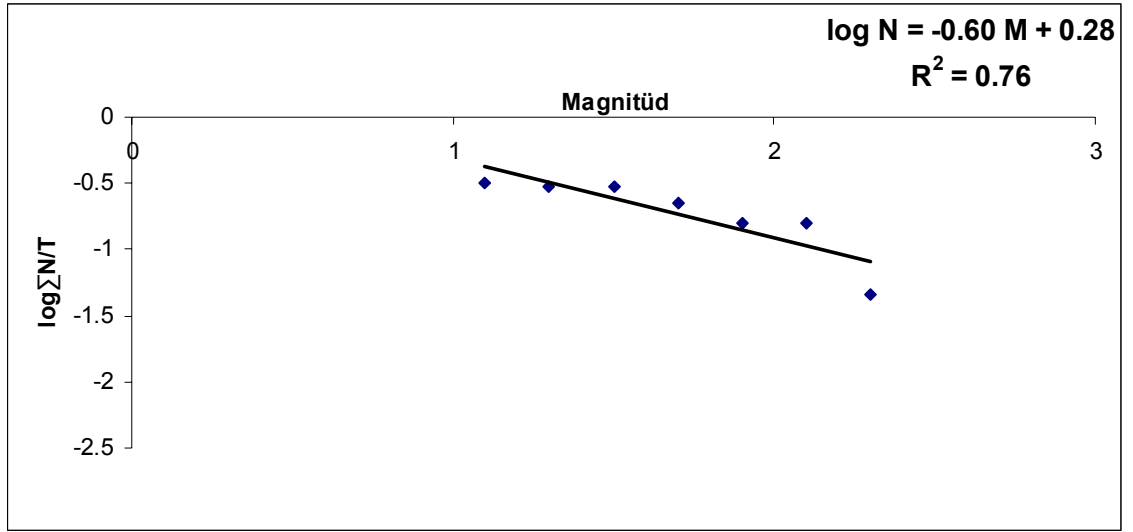


Şekil 4.36: Altinkaya barajı, 1°'lik bölge için, STS dönemi, oluşum sayısı-magnitüd grafiği ($M_c=1.1$)

Altinkaya barajı 0.5°'lik bölge STS döneminde oluşan depremlerin dış merkez dağılımları Şekil 4.37'de ve oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları birim zaman 1 ay ve $M_c=1.1$ olarak elde edilen oluşum sayısı-magnitüd grafiği Şekil 4.38'de gösterilmiştir. Katsayılar $a=0.28$ ve $b=0.60$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.37: Altinkaya barajı , 0.5°'lik bölge için, STS dönemi deprem dış merkez dağılımları



Şekil 4.38: Altinkaya barajı , 0.5°'lik bölge için, STS dönemi oluşum sayısı-magnitüd grafiği (Mc=1.1)

Altinkaya barajı, STO+STS, STO ve STS dönemlerinin 1°'lik ve 0.5°'lik inceleme bölgeleri için, $M_c=1.1$ seçilerek elde edilen oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları ve determinasyon katsayıları Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.14: 1°'lik ve 0.5°'lik bölge için, $M_c=1.1$ için, STO+STS, STO ve STS dönemleri oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları

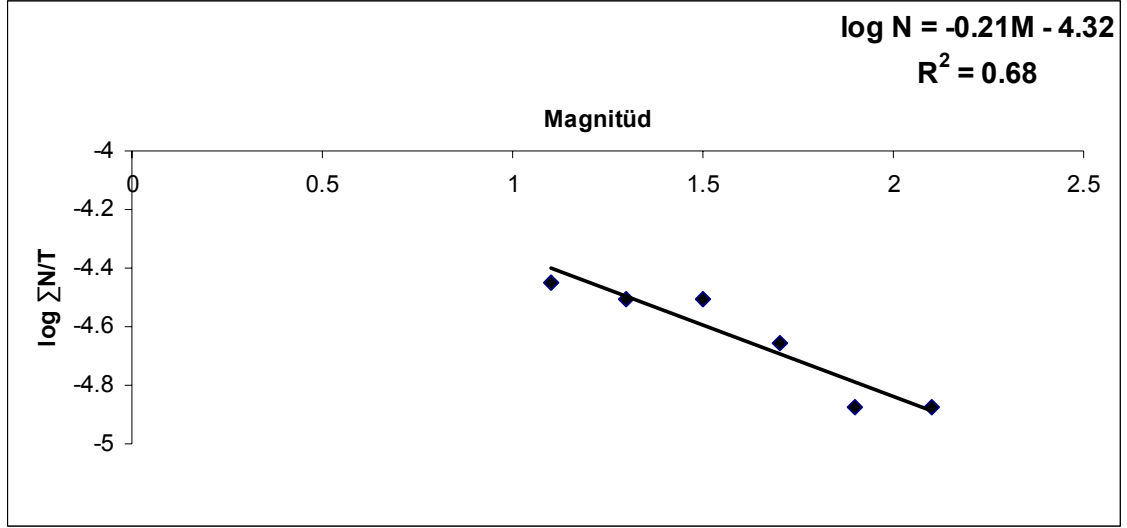
$M_c=1.1$	1°'lik bölge			0.5°'lik bölge		
	a	b	R^2	a	b	R^2
STO+STS	0.85	0.70	0.95	0.46	0.70	0.89
STO	0.80	0.65	0.94	0.32	0.61	0.87
STS	0.82	0.76	0.78	0.28	0.60	0.76

4.2.3. Altinkaya Barajı Deprem Karakteristikleri

Altinkaya barajı 0.5°'lik bölge içerisinde STS döneminde oluşan depremlerden yararlanılarak barajın deprem karakteristikleri incelenmiştir. Söz konusu dönemde oluşan deprem sayısının azlığından dolayı 16.12.1988-21.05.1989 tarihleri arasındaki tek bir deprem grubu için oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi, en büyük artçı şok magnitüdünün ana şok magnitüdüne oranı ve farkı, öncü ve artçı şokların zamansal azalimleri elde edilmiştir.

4.2.3.1. Oluşum Sayısı-Magnitüd İlişkisi

Baraj bölgesi, 0.5 derecelik alanda incelenen depremlerin oluşum sayısı-magnitüd grafiği, birim zaman 1 dakika ve $M_c=1.1$ olarak seçildiğinde, elde edilen katsayılar $a=4.32$ ve $b=0.21$ 'dir (Şekil 4.39).



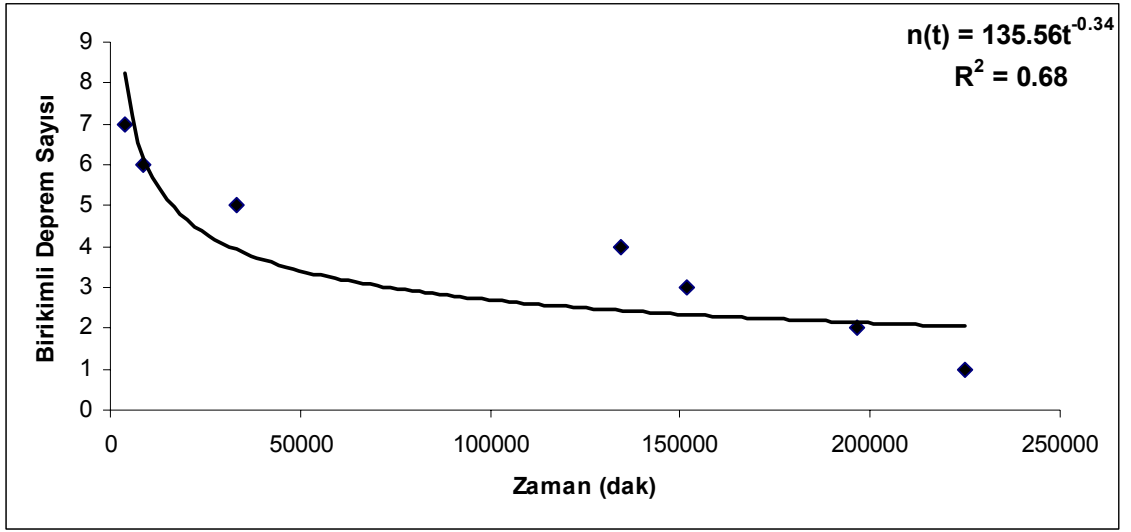
Şekil 4.39: Altinkaya barajı, 0.5°'lik bölge için, deprem karakteristiği oluşum sayısı-magnitüd grafiği ($M_c=1.1$)

4.2.3.2. En Büyük Artçı Şok Magnitüdünün, Ana Şok Magnitüdüne Oranı

Altinkaya barajı incelenen zaman aralığında ana şok ve en büyük artçı şok değerleri sırasıyla $M_0=2.2$ ve $M_1=2.1$ 'dir. $M_0-M_1=0.1$ ve $M_1/M_0=0.95$ 'tir.

4.2.3.3. Öncü ve Artçı Şokların Zamansal Azalimleri

İncelenen dönemde oluşan depremlerin zamansal azalımı Şekil 4.40'da gösterilmiştir.



Şekil 4.40: Altinkaya barajı, 0.5°'lik bölge için, STS dönemi deprem oluş sayısının zamansal azalımı ($M_c=1.1$)

Altinkaya barajı için, incelenen dönemde birim zaman 1 dakika ve $M_c=1.1$ seçilerek elde edilen deprem karakteristikleri parametreleri Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.15: Altinkaya barajı deprem karakteristikleri

$M_c=1.1$	Oluşum Sayısı- Magnitüd İlişkisi			Magnitüd farkı ve oranları				Azalım İlişkisi	
	a	b	R^2	M_0	M_1	M_0-M_1	M_1/M_0	p	R^2
Altinkaya	4.32	0.21	0.68	2.2	2.1	0.1	0.95	0.34	0.68

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Oymapınar barajı (Antalya) ve Altınkaya barajı (Samsun) bölgelerinin rezervuar kaynaklı deprensellikleri incelenmiştir. Barajlara ait deprem ve su seviyeleri verileri DSİ Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. Oymapınar ve Altınkaya baraj bölgelerini 1°'lik ve 0.5°'lik çevreleyen alanda deprem verilerinin dış merkezleri, barajların su tutma tarihine göre belirlenen STO ve STS dönemlere göre, GMT programında haritalanmıştır. Barajlarda oluşan depremlerin oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi incelenmiş, a ve b katsayıları bulunmuştur. Bu amaçla, 1°'lik ve 0.5°'lik bölgeler için, STO, STS ve her iki dönemdeki veriler birleştirilerek adı geçen katsayılar elde edilmiştir. Deprem karakteristiklerinin incelenmesi amacı ile, Oymapınar barajı için 29.05.1984-08.05.1986, Altınkaya barajı için 16.12.1988-21.05.1989 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 azalimleri saptanmıştır.

Oymapınar barajı oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi incelendiğinde, tamamlılık magnitüdü (M_c) 1.1 alındığında, 1°'lik bölge için katsayılar, tüm inceleme zaman aralığında $a=1.81$, $b=0.76$, STO dönemde $a=1.33$, $b=0.60$ ve STS dönemde $a=1.70$, $b=0.70$ bulunmuştur. 0.5°'lik inceleme alanında ise tüm inceleme zaman aralığındaki veriler ile $a=1.56$ ve $b=0.81$ olarak elde edilmiştir. Ayrıca, STO dönemde $a=1.11$, $b=0.69$ ve STS dönemde ise $a=1.56$ ve $b=0.78$ 'dir. STS döneminde, 1 ve 0.5 derecelik alanlarda elde edilen b değerlerinin 1.0'dan küçük olması Gupta ve Rastogi (1976)'nın rezervuar kaynaklı depremlerin b değerleri için öne sürdüğü sonucu sağlamamaktadır.

Oymapınar Barajı 0.5°'lik alan içerisinde oluşan depremlerin birikimli deprem sayısı grafiği incelendiğinde, barajın STO döneminde, yaklaşık 5 yıl içerisinde (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 4.8) incelendiğinde ise su tutma ile birlikte, özellikle ilk iki senelik dönemde gözlenen kümelenme dikkate değerdir. Bu sürede, 13.03.1985 tarihinde $M_d=4.3$, 14.03.1985 tarihinde $M_d=4.1$ magnitüdündeki 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 sönümlendiği 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 azalım 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 azalımı 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 azalım 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 azalımı ilişkisini göstermemektedir. Öncü-artçı şok modeli, genel olarak Mogi'nin 2. Tip'ine uymaktadır.

Altinkaya barajı 1°'lik bölge için tüm zaman aralığında $a=0.85$, $b=0.70$, STO dönemde $a=0.80$, $b=0.65$ ve STS dönemde ise $a=0.82$ ve $b=0.76$ elde edilmiştir. 0.5°'lik dönemde ise tüm zaman aralığındaki veride $a=0.46$, $b=0.70$, STO ve STS dönemlere ait katsayılar

ise sırasıyla, $a=0.32$, $b=0.61$ ve $a=0.28$, $b=0.60$ 'dır. Altinkaya baraj bölgesi için b değerlerinin yorumu, veri sayısının yetersizliğinden dolayı uygun değildir.

Altinkaya barajının karakteristiğini incelemek amacıyla, STS dönemi 16.12.1988-21.05.1989 tarihleri arası değerlendirilmiştir. Bu zaman aralığında depremlerin oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi katsayıları $a=4.32$, $b=0.21$ 'dir. M_0-M_1 0.10, M_1/M_0 0.95 ve p -değeri 0.34 olarak bulunmuştur. Altinkaya barajında veri sayısının yetersizliği nedeniyle deprem karakteristiklerinin yorumu güçtür.

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 kayıtçılarının bulunmaması rezervuar kaynaklı depremlerin saptanmasında en önemli eksikliklerdir. Bu depremlerin kaydedilmesi ve incelenmesi gerek baraj, gerekse baraj çevresi için büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- ASSUMPÇÃO, 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*, 9, 301-321.
- BERG, E., 1968, Relation between earthquake foreshock stress and main shocks, *Nature*, 219, 1141-1143.
- BOZKURT, E. ve ADA, E., 1992, Keban Baraj Gölünün Depremler Üzerine Etkisinin Araştırılması Raporu, VIII, 1-38.
- CALOI, P., 1966, The results of geodynamic investigations in the Vajont Gorge, *Ann Geofis. (Rome)*, 19, 1-74.
- 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. ve 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., 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.

- 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., MOHAN, I. and NARAIN H., 1972, The Broach earthquake of March 23, 1970, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 62, 47-61.
- HASSOUP A., 2002, Seismicity and water level variations in the Lake Aswan area in Egypt 1982-1997, *Journal of Seismology*, 6, 459-467.
- HASSOUP A., DENTON P., MAGURIE P. and HASSİB G., 2003, Relocation of swarm events in the June 1987 earthquake sequence from the lake Aswan area in Egypt, *Pure and Applied Geophysics*, 160, 1245-1257.
- <http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=90> [Ziyaret Tarihi: 16.06.2007].
- (<http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=112>) [Ziyaret Tarihi: 16.06.2007].
- <http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=54> [Ziyaret Tarihi: 25.10.2007].
- http://www.mta.gov.tr/mta_web/dirifay1.asp) [Ziyaret Tarihi: 23.10.2007].
- <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/default.htm> [Ziyaret Tarihi: 25.10.2007].
- KAPTAN, C. ve ATA, M., 1978, Altınkaya Baraj bölgesi ve Çevresinin Depremsel Özelliklerinin Araştırılması, DSİ Rapor I, 1-23.
- KISSLINGER, C., 1996, Aftershock and fault-zone properties, *Adv. Geophys.*, 38, 1-36.
- KISSLINGER, C. and JONES, L.M., 1991, Properties of aftershocks sequences in Southern California, *J. Geophys. Res.*, 96, 11, 947- 11, 958.
- KOCABAŞ, G., 2007, Kişisel Görüşme, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- 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.

- 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. Eartquake 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 activitiy, *Bull. Earthquake. Res. Inst. Univ. Tokyo*, 46, 175-203.
- OLSSON, R., 1999, An estimation of the maximum b value in the Gutenber-Richter relation, *Geodynamics*, 27, 547-552.
- ÖZDEN, S. ve KAVRUK, F.M., 2005, Türkiye'deki Barajlar ve Hidroelektrik santrallar, DSİ yayınları.
- 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., MOUMOULIDIS, G. and PURCASU, G., 1967, Aftershock sequence of some large earthquakes in the region Greece, *Ann. Geofia. (Rome)*, 20, 1-93.
- RASTOGİ, B.K., CHADHA, R.K. and SARMA, S.P., 1995, Inverstigation of June 7, 1988 earthquake magnitude 4.5 near Iddukki dam in Southhern India, *Pure and Applied Geophysics*, 145, no:1, 109-122.
- RASTOGİ, B.K., MANDAL, P. and KUMAR, N., 1997, Seismicity around Dhamni Dam, Maharastra, India, *Pure and Applied Geophysics*, 150, 493-509.
- SCHOLZ, C.H., 1968, The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its rellation to earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 58, 399-415.
- SELIM, M.M., IMOTO, M. and HURUKAWA, N., 2002, Statistical inverstigation of reservoir-induced seismicity in Aswan area, Egypt, *Earth Planets Space*, 54, 349-356.

- SIMPSON, D.W., LEITH, W.S. and SCHOLZ C.H., 1988, Two types of reservoir-induced seismicity, 78, 6, 2025-2040.
- ŞAROĞLU, F., EMRE, Ö., ve BORAY, A., 1987, Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, MTA Raporu, 8174, 1-394.
- 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., 1965, A method for determining the value of b in the formula $\log n=a-bM$, showing the magnitude-frequency relation for earthquakes, *Geophys. Bull., Hokkaido Univ.*, 13, 99-103.
- 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 Statis (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 centerary of the Omori formula for a decay law of afterschock activity, *J. Phys. Earth*, 43, 1-33.
- UZUN, L.Ö., 1992, Altinkaya Barajı Göl Alanı Çevresinin Depremsel Etkinliğinin İncelenmesi ve Araştırılması Raporu, DSİ Rapor IV, 1-13.
- UZUN, L.Ö., ADA, E., İDER, H., 1988, Altinkaya Baraj Bölgesi ve Çevresinin Su Tutma Öncesi Depremsel Özelliklerinin Araştırılması, DSİ Rapor III, 1-9.
- 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., 2001. A Software Package to analyze Seismicity: ZMAP, *Seis. Res. Lett.*, 72(2), 374-383.

- 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 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.
- WIEMER, S. and KATSUMATA, K., 1999, Spatial variability of seismicity parameters in aftershock zones, *J. Geophys. Res.*, 104, 13135-13151.
- WYSS, M., SHIMAZAKI, K., and WIEMER, S., 1997, Mapping active magma chambers by b value benath Off-Izu Volcana, Japan, *J. Geophys. Res.*, 102, 20, 413-20, 433.

EK

KEBAN BARAJI ÖRNEĞİ

Tez çalışmasında incelenen Oymapınar ve Altinkaya barajları deprem karakteristikleri dışında, STO dönemi bulunmayan Keban barajı deprem karakteristikleri saptanmaya çalışılmıştır. Baraja ait veriler DSİ Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır (Bozkurt ve Ada, 1992). Keban barajı genel görünüşü Şekil 1’de ve barajın genel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

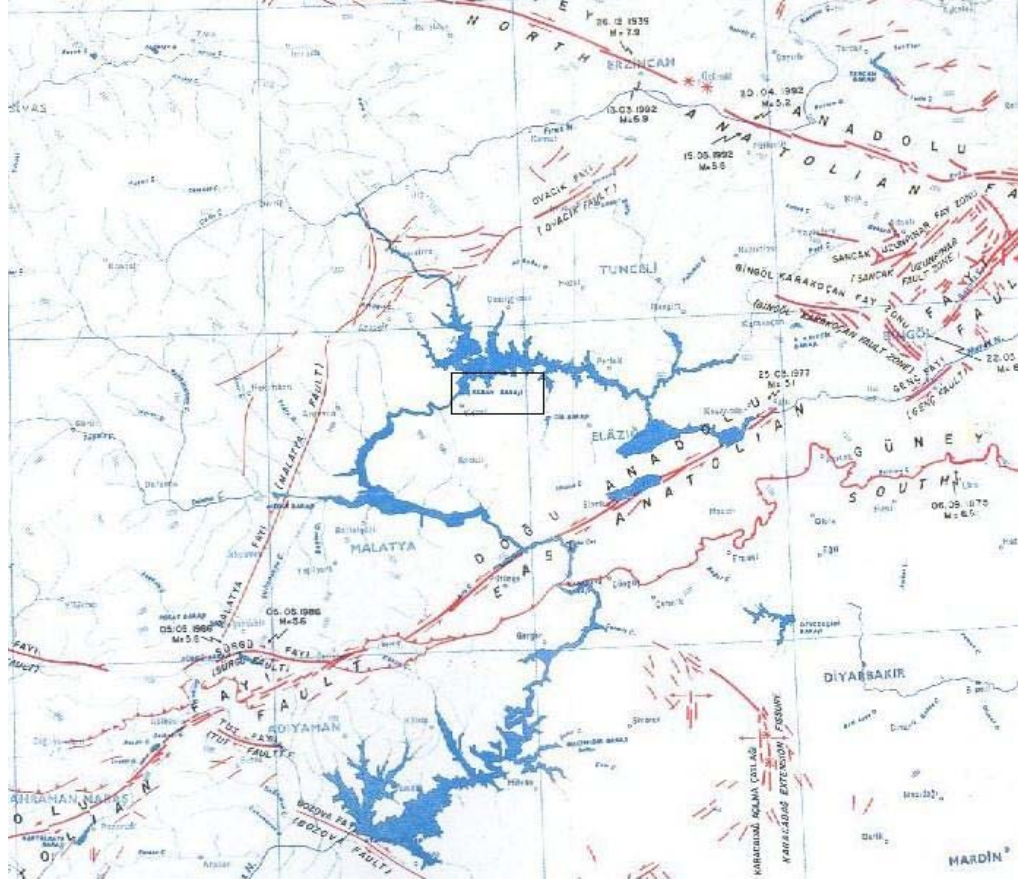


Şekil 1: :Keban barajı genel görünüşü (<http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=54>)

Tablo 1: Keban barajı genel özellikleri (<http://www.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=54>)

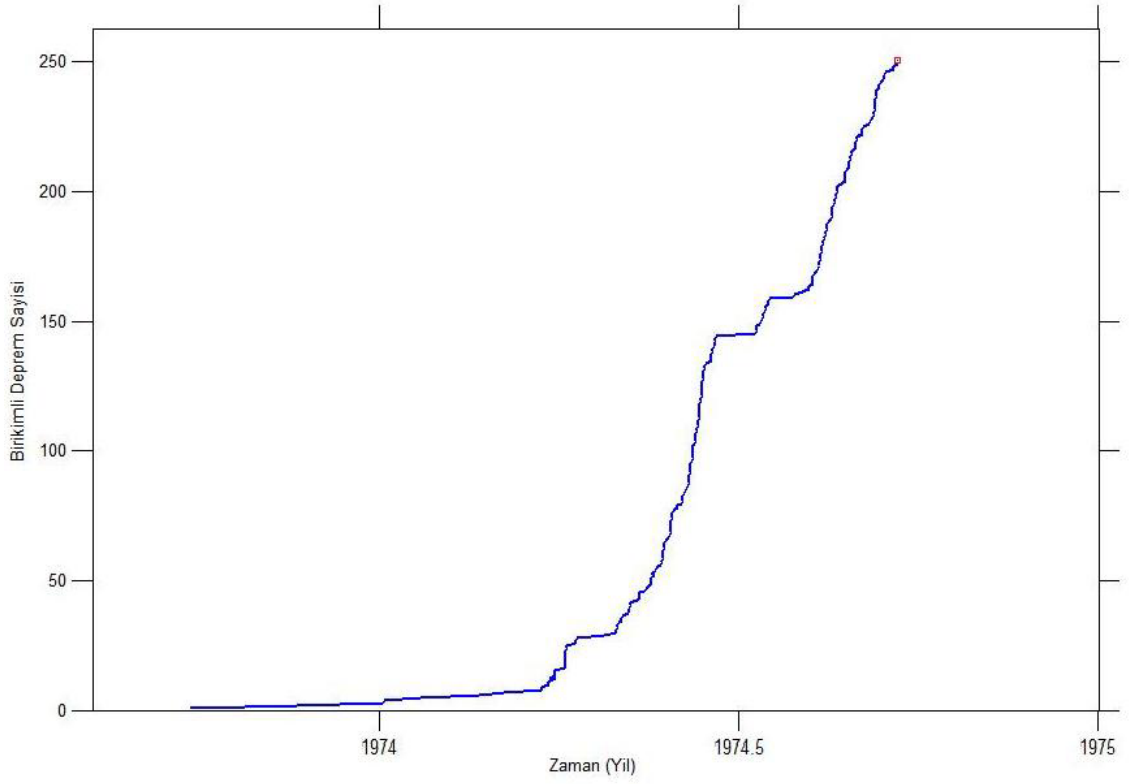
Yeri:	Elazığ
Amaç:	Enerji
İnşaatın (başlama-bitiş) Yılı:	1965-1975
Gövde Dolgu Tipi:	Kaya/Beton ağırlık
Gövde Hacmi:	16679 dam ³
Yükseklik (Talvegden):	210 m
Normal Su kotunda göl Hacmi:	31000 hm ³
Güç:	1330 MW
Yıllık Üretim:	6000 GWh

Keban baraj yerinde ve çevresinde büyük ve küçük çeşitli faylar bulunmaktadır. Sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu ve sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu baraj çevresinde bulunan önemli tektonik yapılardır. Keban barajı çevresinde bulunan diri fayları gösteren harita Şekil 2’de verilmiştir.



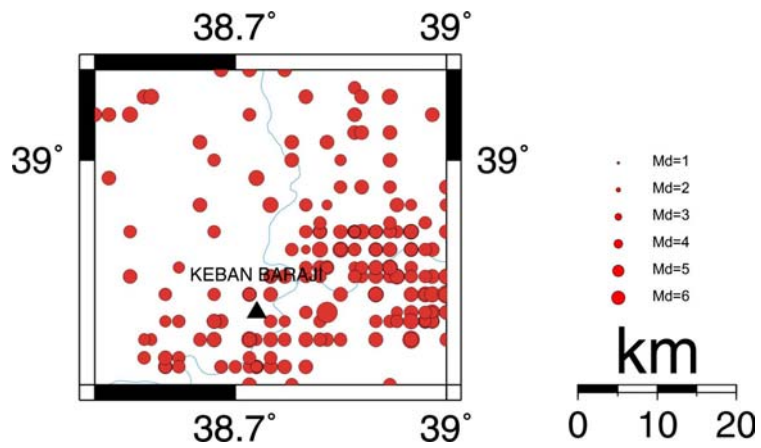
Şekil 2: Keban barajı çevresi diri fay haritası (http://www.mta.gov.tr/mta_web/dirifay1.asp)

Keban barajı 4 Kasım 1973 tarihinde su tutmaya başlamıştır. Su tutma ile birlikte baraj gölünün deprenselliğinin incelenmesi çalışmaları da başlamıştır. Bu barajda STO döneme ait inceleme yapılmamıştır. Ayrıca, Keban barajı örneğinde, Eylül 1974 tarihinden sonra, 24 aylık bir dönem veri alınamamıştır. Bu sebeple, Keban barajı rezervuar kaynaklı deprenselliği incelenirken, 4 Kasım 1973-31 Eylül 1974 tarihleri arasındaki süre değerlendirilmiştir. Bu tarihler arasında Şekil 3’te gösterildiği gibi toplam 251 adet, magnitüdüleri M_d olan deprem verisi vardır. Keban barajı örneğinde, baraj gölünün uzanımı dikkate alınarak, inceleme alanı $38.5-39.0^\circ K$ ve $38.75-39.1^\circ D$ olarak seçilmiştir.



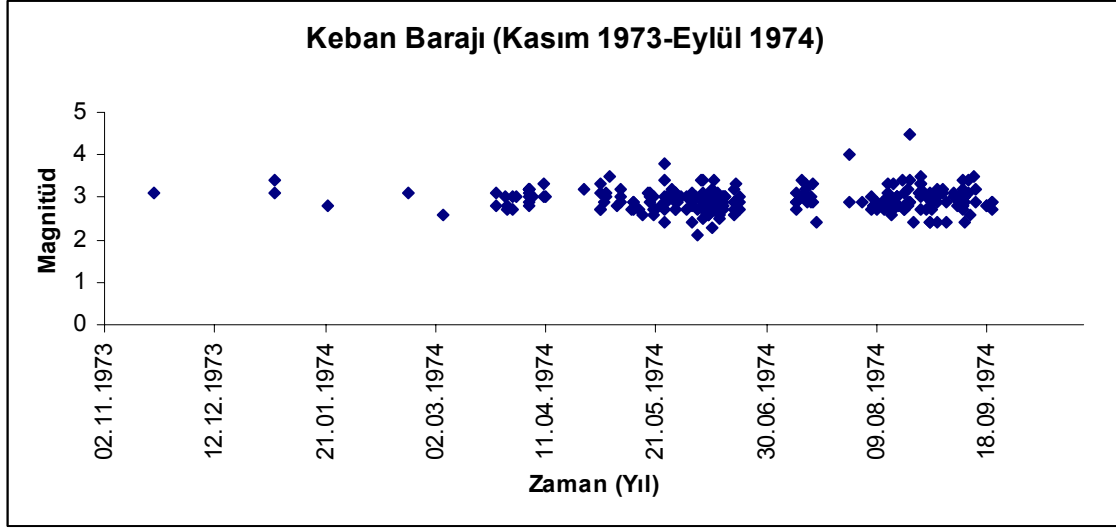
Şekil 3: Keban barajı 4 Kasım 1973-31 Eylül 1974 tarihleri arasındaki birikimli deprem sayısı-zaman grafiği

Keban barajı, seçilen bölgede oluşan depremlerin dış merkez dağılımları ise Şekil 4'te gösterildiği gibidir.

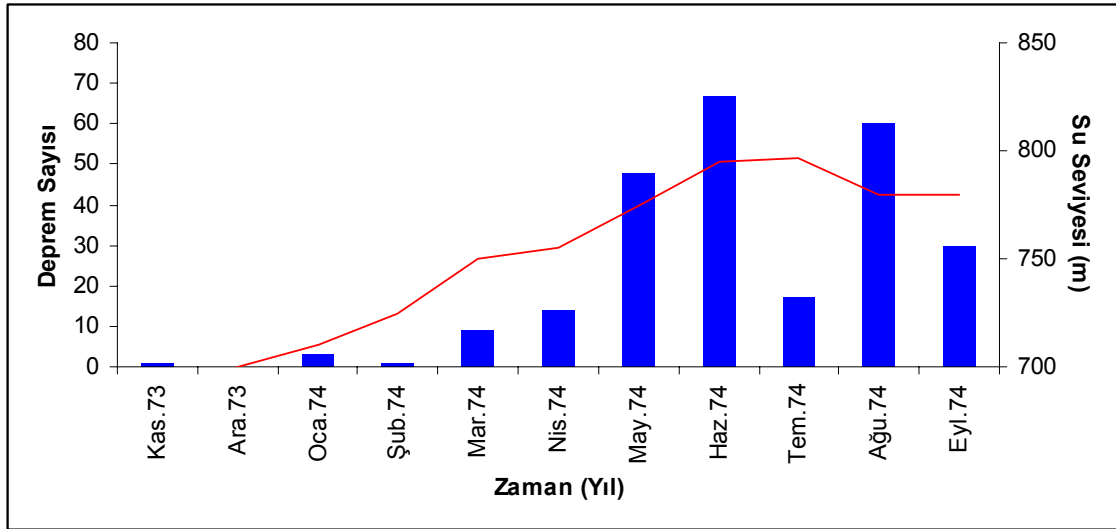


Şekil 4: Keban barajı 4 Kasım 1973-31 Eylül 1974 tarihleri arasındaki depremlerin dış merkez dağılımları

Barajın incelenen süre içinde, seçilen bölgede oluşan depremlerin magnitüd-zaman dağılımı grafiği Şekil 5'te verilmiştir. 38.5-39.0°K ve 38.75-39.1°D inceleme bölgesi için, barajın su tutma tarihinden (Kasım 1973), Eylül 1974 tarihleri arasında aylık deprem sayısı-su seviyesi grafiği Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5: Keban barajı, 38°.5-39°.00 K ve 38°.75-39°.1 D koordinatları için, magnitüd-zaman dağılımı



Şekil 6: Keban barajı, 38°.5-39°.00 K ve 38°.75-39°.1 D için, aylık deprem sayısı-su seviyesi grafiği

Keban barajının deprem karakteristiklerinin araştırılması amacıyla, inceleme süresinde oluşan depremler dört farklı dönemde incelenmiştir. Bu dönemler, dönem başlangıcındaki depremlerin büyüklükleri $M_d \geq 3.5$ olan ve deprem sayılarının yoğun

olarak izlendiği veri gruplarıdır. i1 dönemi, 04.05.1974-24.05.1974, i2 dönemi 24.05.1974-20.06.1974, i3 dönemi 30.07.1974-21.08.1974, i4 dönemi 21.08.1974-20.09.1974 zaman aralıklarını kapsamaktadır. Keban barajı deprem karakteristikleri incelenirken tamamlılık magnitüdü, $M_c=2.5$ olarak seçilmiştir. Dört farklı dönem için saptanan, oluşum sayısı-magnitüd ilişkisi grafiğinden b-değerleri, M_0-M_1 ve M_1/M_0 değerleri, depremlerin zamanla azalım ilişkisi katsayısı p-değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Keban barajı deprem karakteristikleri

$M_c=2.5$ Dönem	Oluşum Sayısı- Magnitüd İlişkisi			Magnitüd farkı ve oranları				Azalım İlişkisi	
	a	b	R^2	M_0	M_1	M_0-M_1	M_1/M_0	p	R^2
i1	0.99	1.56	0.83	3.5	3.2	0.3	0.91	1.02	0.59
i2	1.05	1.39	0.87	3.8	3.4	0.4	0.89	0.69	0.43
i3	0.65	1.35	0.91	4	3.4	0.6	0.85	0.62	0.26
i4	0	1.10	0.89	4.5	3.5	1	0.78	0.60	0.52

STS dönemi içinde bulunan inceleme zaman aralığında (4 Kasım 1973-31 Eylül 1974), Keban barajı deprem karakteristikleri için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- 1- b değerlerinin, $b \geq 1$ olması rezervuar kaynaklı depremler için Gupta ve Rastogi (1976) tarafından öne sürülen sonuçları desteklemektedir.
- 2- b değerleri her inceleme durumunda azalan değerler gösterdiğinden i1, i2, i3 ve i4 dönemleri öncü şok-artçı şok grubu olarak irdelenememiştir.
- 3- b değerleri azalırken M_0-M_1 değerleri artmış, M_1/M_0 değerleri ise azalmıştır.
- 4- p değerleri Değiştirilmiş Omori Bağıntısına uymamaktadır.

Elde edilen 3 nolu sonuç, Oymapınar barajı deprem karakteristikleri incelenmesinde olduğu gibi, Papazachos ve diğ. (1967), Chaudhury ve Srivastava (1973), Rastogi ve diğ. (1995; 1997)’nin önerilerini desteklemektedir.

ÖZGEÇMİŞ

Hande Aykurt, 1980 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği bölümünden 2004 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Aralık, 2005 tarihinde İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Sismoloji Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen Araştırma Görevlisi olarak yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.