

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMENTASYON MERKEZİ**

**DETERMINİSTİK YAKLAŞIMLA
TÜRKİYE'NİN SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ**

104469

Müge AKIN

104469

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2001**

Her hakkı saklıdır



ප්‍රභූතිය

Doç. Dr. Kamil KAYABALI danışmanlığında, Müge AKIN tarafından hazırlanan bu çalışma 02.02.2001 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Altan NECİOĞLU

İmza: *Altan Necioğlu*

Üye: Doç. Dr. Kamil KAYABALI

İmza: *K. Kayabali*

Üye: Doç. Dr. Gürol SEYİTOĞLU

İmza: *Gürol Seyitoğlu*

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Esma KILIÇ

Enstitü Müdürü

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**DETERMINİSTİK YAKLAŞIMLA TÜRKİYE’NİN SİSMİK
TEHLİKE ANALİZİ**

Müge AKIN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Kamil KAYABALI

Jüri : Yrd. Doç. Dr. Altan NECİOĞLU
Doç. Dr. Kamil KAYABALI
Doç. Dr. Gürol SEYİTOĞLU

Türkiye’deki aletsel kayıtların probabilistik sismik tehlike analizi için yetersiz olmasından dolayı bu çalışma kapsamında deterministik yaklaşımla Türkiye’nin sismik tehlike haritasının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda öncelikle çalışmaya esas teşkil eden model faylar, irili ufaklı aktif fayların birlikte değerlendirilip, birbirleri ile ilişkili görünenler tek bir hat şeklinde kabul edilmek suretiyle birleştirilmesi ile elde edilmiş, her bir fay hattı için Bonilla (1984) yaklaşımına göre maksimum magnitüd değerleri belirlenmiştir. Buna bağlı olarak dört değişik azalım ilişkisi kullanılarak bütün Türkiye için 0.2 derece aralıktaki maksimum yatay yer ivmesi değerleri, BASIC programlama dili ile yazılan TUMDES programı ile hesaplatılmıştır.

Model programda farklı azalım ilişkilerine ve yüzey kırığı oranlarına göre elde edilen eş-ivme haritalarından Joyner ve Boore (1988), Sabetta ve Pugliese (1987) ile Fukushima ve Tanaka (1990) sönüm denklemlerinin uygulandığı ve yüzey kırığı oranının 1/3 olması durumundaki harita, Türkiye için deterministik yaklaşımla modellenen Türkiye’nin yeni sismik tehlike haritası olarak sunulmuştur. Bu haritada 0.30g’den büyük alanlar 1. derece, 0.30 ile 0.20g arasındaki alanlar 2. derece, 0.20 ile 0.10g arasındaki alanlar 3. derece ve 0.10g’den düşük alanlar ise 4. derece deprem bölgesi olarak önerilmiştir.

2001, 74 sayfa

Anahtar kelimeler: Deterministik sismik tehlike analizi, yatay yer ivmesi, yüzey kırığı, maksimum magnitüd.

ABSTRACT
Master Thesis

**SEISMIC HAZARD ANALYSIS FOR TURKEY USING THE
DETERMINISTIC APPROACH**

Müge AKIN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Kamil KAYABALI

Jury : Assoc. Prof. Dr. Altan NECİOĞLU
Assoc. Prof. Dr. Kamil KAYABALI
Assoc. Prof. Dr. Gürol SEYİTOĞLU

Because the instrumental earthquake records of Turkey are far from being satisfactory for modeling the seismic hazard using the probabilistic approach, an attempt was made in this study to accomplish it through the deterministic way. In this regard, all active faults of Turkey, small and large, were evaluated together to obtain major fault systems. Then, the procedure suggested by Bonilla (1994) applied to those faults to obtain the maximum magnitude earthquake that they can generate. To do this, it was assumed that 1/3 of the total fault length would rupture to yield the maximum earthquake. Following that, five different attenuation relationships of the strong ground motion were utilized to calculate the maximum horizontal ground accelerations for the whole Turkey at 0.2° intervals by using TUMDES programme written in BASIC programming language.

The computed pga values were contoured and the iso-acceleration maps for each of the attenuation relationship were constructed. The iso-acceleration map based on Joyner and Boore (1988), Sabetta and Pugliese (1987) and Fukushima and Tanaka (1990) relationships was selected as the new seismic hazard map of Turkey on which the seismic zonations were determined as following: $pga > 0.3g$ Zone 1, $0.3g < pga < 0.20g$ Zone 2, $0.20g < pga < 0.10g$ Zone 3, $pga < 0.10g$ Zone 4.

2001, 74 pages

Key words: Deterministic seismic hazard analyses, horizontal ground acceleration, surface rupture, maximum magnitude.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
SİMGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
TABLolar DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Materyal ve Yöntem	2
2. SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ KAVRAMI	8
2.1. Probabilistik Sismik Tehlike Analizi	9
2.2. Deterministik Sismik Tehlike Analizi	11
3. DEPREM BÜYÜKLÜĞÜ (MAGNİTÜDÜ)	14
3.1. Deprem Büyüklüğü (Magnitüdü) Tanımı	14
3.2. Deprem Büyüklüğü (Magnitüdü) Tahmini	15
3.3. Fay Kırığı Karakteristikleri ve Deprem Büyüklüğü	18
3.3.1. Maksimum Ötelenmenin Logaritması (Log D) ile Magnitüd (M) Arasındaki Ampirik İlişki	19
3.3.2. Maksimum Ötelenmenin Logaritması (Log D) ile Fay Uzunluğunun Logaritması (Log L) Arasındaki Ampirik İlişki	21
3.3.3. Fay Uzunluğunun Logaritması (Log L) ile Magnitüd (M) Arasındaki Ampirik İlişki	22
3.3.4. Fay Kırığı Uzunluğu ile Magnitüd (M) Arasındaki Ampirik İlişki	24
3.3.5. Fay Alanı ile Magnitüd (M) Arasındaki Ampirik İlişki	27
4. AZALIM İLİŞKİLERİ (SÖNÜM DENKLEMLERİ)	29
4.1. Deprem Tehlike Analizlerinde Kullanılan Çeşitli Azalım İlişkileri	30
4.1.1. Sabetta ve Pugliese (1987) Azalım İlişkisi	30
4.1.2. Joyner ve Boore (1981) ve (1988) Azalım İlişkileri	30
4.1.3. Campbell (1981) ve (1988) Azalım İlişkileri	31
4.1.4. Fukushima ve Tanaka (1990) Azalım İlişkisi	32
4.1.5. İnan vd. (1996) Azalım İlişkisi	32
4.1.6. Azalım İlişkilerinin Değerlendirilmesi	33

5. ÇALIŞMADA KULLANILAN MODEL	34
5.1. Kullanılan Program	34
5.2. Fayların Çoklu Noktalarla İfadesi	35
5.3. Fay Uzaklığının Hesaplanması	36
5.4. Azalım İlişkilerinin Programda Kullanılması	40
5.5. Maksimum İvme Değerlerinin Hesaplanması	40
5.6. Eş-İvme Haritalarının Elde Edilmesi	40
6. MODELİN TÜRKİYE'YE UYGULANMASI	42
6.1. Modelde Kullanılan Aktif Fayların Tayini	42
6.2. Aktif Faylara Ait Maksimum Magnitüdün Tayini	45
6.3. Azalım İlişkilerinin Uygulanması	46
6.4. Modelle Ortaya Konan Bulgular	49
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	61
KAYNAKLAR	63
EKLER	68
EK 1. TUMDES Programının Veri Girişi ve Hesaplama Kısımına Ait Kaynak Kodu	68
EK 2. TUMDES Programına Ait Input Dosyası	71
EK 3. TUMDES Programına Ait Output Dosyası	72
ÖZGEÇMİŞ	74

III

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında her türlü desteğini esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım saygıdeğer hocam ve danışmanım Sayın Doç. Dr. Kamil KAYABALI'ya saygı ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam sırasında görüşlerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Okan TEKELİ'ye, Sayın Doç. Dr. Gürol SEYİTOĞLU'na, Sayın Dr. Fuat ŞAROĞLU'na, Sayın Dr. Ramazan DEMİRTAŞ'a ve bu tezin ortaya çıkarılmasında bana büyük destekleri olan saygıdeğer eşim Jeoloji Yük. Mühendisi Mutluhan AKIN'a ve tez çalışmaları sırasında bana yardımları dokunan herkese teşekkür ederim.

Müge (KIVANÇ) AKIN
Ankara, Şubat 2001

SİMGELER DİZİNİ

A	Yatay yer ivmesi
D	Fay ötelenme miktarı
km	kilometre
L	Yüzey kırığı uzunluğu
M	Magnitüd (deprem büyüklüğü)
MSK	Değişkenmiş Mercalli Ölçeği
MYİ	Maksimum yer ivmesi
r	Uzaklık
S	Değişken
V	Yer hızı
y	Yer hareketi parametresi
μ	Mikron
ε	Rastgele hata parametresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1996)	3
Şekil 1.2.1. Türkiye'nin Diri Fay Haritası (Şaroğlu, vd., 1992'den)	4
Şekil 1.2.2. Türkiye'nin Neotektonik Unsurları (Yaltrak, vd., 1998)	5
Şekil 1.2.3. Orta Anadolu Fay Zonu ve Diğer Neotektonik Unsurları Gösteren Harita (Koçyiğit ve Beyhan, 1998)	6
Şekil 2.1.1. Probabilistik sismik tehlike analizinin aşamaları (Araya ve Der Kiureghian, 1988)	10
Şekil 2.2.1. Deterministik sismik tehlike analizinin aşamaları: a) Deprem oluşturan kaynağın proje alanına olan uzaklığının belirlenmesi. b) Azalım ilişkileri kullanılarak proje alanında oluşabilecek maksimum yatay yer ivmesinin hesaplanması	13
Şekil 3.3.1.1. Yüzey dalgası magnitüdü - maksimum yüzey ötelenmesi arasındaki ilişki (Bonilla vd, 1984)	21
Şekil 3.3.3.1. Deprem magnitüdü ile fay uzunluğu veya artçışok bölgesinin uzun eksenindeki ilişki (Albee ve Smith, 1966)	24
Şekil 3.3.4.1. Yüzey dalgası magnitüdü - yüzey kırığı uzunluğu arasındaki ilişki (Bonilla, 1984)	25
Şekil 3.3.4.2. Sismik moment - deprem kırığı uzunluğu arasındaki ilişki (Wesnousky, 1986)	26
Şekil 3.3.5.1. Fay alanı - magnitüd arasındaki ilişki (Wyss, 1979)	28
Şekil 5.2.1. Model programda noktalarla ifade edilen faylar	36
Şekil 5.3.1. Model programda grid noktası ile faya ait nokta arasındaki uzaklığın bulunması	37

Şekil 5.3.2. Model programda “e2” ve “u2” noktaları arasındaki uzaklığın (a) bulunması	38
Şekil 5.3.3. Model programda “u1” ve “u2” noktaları arasındaki uzaklığın (b) bulunması	39
Şekil 6.1.1. Model çalışmada kullanılan aktif fay sistemleri	44
Şekil 6.3.1. Azalım ilişkileri karşılaştırmalı grafiği (M = 7 için)	48
Şekil 6.3.2. Azalım ilişkileri karşılaştırmalı grafiği (M = 7.5 için)	48
Şekil 6.3.3. Azalım ilişkileri karşılaştırmalı grafiği (M = 7.9 için)	49
Şekil 6.4.1. Sabetta ve Pugliese (1987) sönüm denklemini kullanarak oluşturulan eş-ivme haritası	52
Şekil 6.4.2. Campbell (1988) sönüm denklemini kullanarak oluşturulan eş-ivme haritası	53
Şekil 6.4.3. Joyner ve Boore (1988) sönüm denklemini kullanarak oluşturulan eş-ivme haritası	54
Şekil 6.4.4. Fukushima ve Tanaka (1990) sönüm denklemini kullanarak oluşturulan eş-ivme haritası	55
Şekil 6.4.5. İnan vd. (1996) sönüm denklemini kullanarak oluşturulan eş-ivme haritası	56
Şekil 6.4.6. Farklı tektonik bölgelere göre farklı sönüm denkleminin kullanılmasıyla oluşturulan eş-ivme haritası	57
Şekil 6.4.7. Elde edilen verilere göre Türkiye için önerilen yeni deprem bölgeleri haritası	60

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.2.1. Deprem büyüklüğünü tahmin etme yöntemleri (Polo ve Slemmons, 1990)	16
Tablo 3.3.1.1. Deprem magnitudü (M) - maksimum ötelenmenin logaritması (Log D) arasındaki ampirik ilişkiler ($M=a+b.\text{Log D}$) (Slemmons, 1977)	20
Tablo 3.3.2.1. Maksimum ötelenmenin logaritması (Log D) - fay uzunluğunun logaritması (Log L) arasındaki ampirik ilişkiler ($\text{Log D}=a+b.\text{Log L}$) (Slemmons, 1977)	22
Tablo 3.3.3.1. Deprem magnitudü (M) - fay uzunluğunun logaritması (Log L) arasındaki ampirik ilişkiler ($M=a+b.\text{Log L}$) (Slemmons, 1977)	23
Tablo 6.2.1. Tez çalışmasında kullanılan Türkiye'deki aktif fay sistemlerinin uzunlukları, tipleri ve 1/3 yüzey kırığı uzunluğundaki maksimum deprem büyüklükleri	45

1. GİRİŞ

Türkiye, jeolojik konumu itibariyle aktif kuşaklardan biri olan Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer almaktadır. Depremsellik açısından dünyanın en aktif kuşaklarından birinde yer alan ülkemizde, bütün mühendislik yapılarının projelendirilmesinde yapının etki altında kalacağı deprem yükünün sağlıklı bir şekilde ortaya konması son derece önemlidir.

Türkiye’de mühendislik yapılarının tasarımında kullanılan yatay yer ivmesi değeri çoğunlukla Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1996)’na bağlı alınarak belirlenmektedir. Adı geçen haritada Türkiye, farklı deprem riskine sahip beş ayrı bölgeye ayrılmış, her bölge için sabit bir yatay yer ivme değeri belirlenmiştir. Bu anlamda birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci derece deprem bölgeleri için sırasıyla 0.4g, 0.3g, 0.2g, 0.1g ve 0.1g den küçük yatay yer ivmesi değerleri kullanılmaktadır (Şekil 1.1).

Bu tür bir yaklaşımın iki açıdan önemli sakıncaları vardır. Birincisi; her bir deprem bölgesi kendi içerisinde homojen kabul edilerek tüm alanlarda deprem esnasında oluşacak etkinin aynı olacağı düşünülmekte ve bir deprem bölgesinden diğerine geçiş 0.1g gibi yüksek bir ivme değeri ile olmaktadır. İkinci husus ise Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası’nın teknik olarak birtakım eksiklik ve yanlışları içermesidir.

Sismik tehlike analizi çalışmalarında her ne kadar “belirsizlik” olarak ifade edilen birçok parametre analize katılsa da bu parametrelerden bazılarının Türkiye açısından eksik oluşu, böyle bir analize dayalı sismik zonlama haritasının sağlıklı bir şekilde ortaya konmasını güçleştirmektedir.

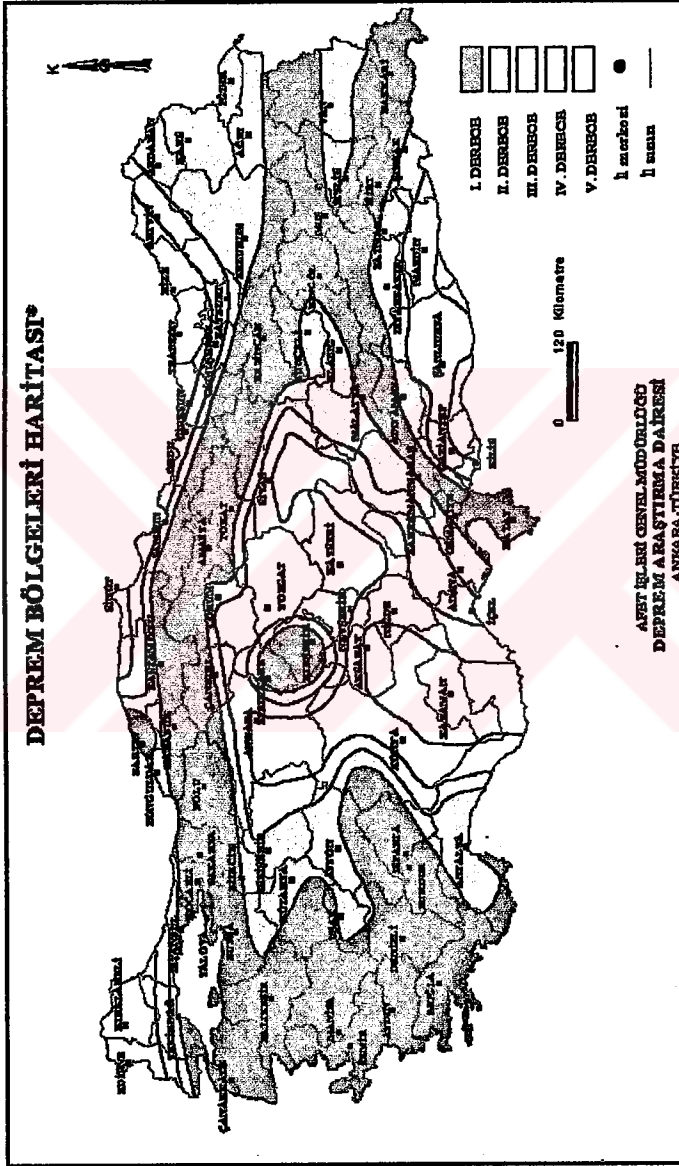
1.1. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında, Türkiye’nin bilinen aktif faylarının belirli maksimum büyüklük değerleri saptanması suretiyle, değişik sönüm denklemleri kullanarak Türkiye için yeni bir deprem bölgeleri haritasının ortaya konulması esas alınmıştır.

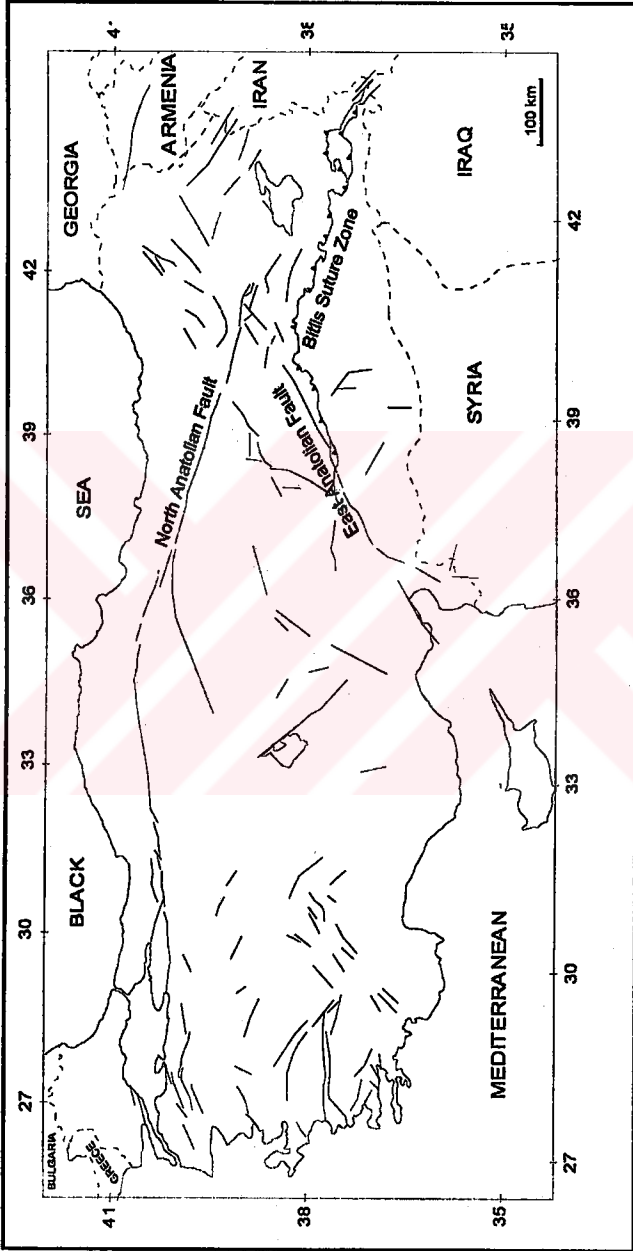
1.2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan başlıca materyali Türkiye'nin Diri Fay Haritası (Şaroğlu vd., 1992) oluşturmaktadır (Şekil 1.2.1). Çalışmada Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı ve Bitlis Sütur Zonu gibi belirli fay kuşakları olduğu gibi alınırken, Büyük Menderes Grabeni, Gediz Grabeni, Karataş-Osmaniye Fay Zonu ve Erzurum Fay Zonu gibi hatlar da birbirleriyle ilişkili olan parçaların birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Bu birleştirmelerde konu ile ilgili uzmanların görüşleri de dikkate alınmıştır (Seyitoğlu, Tekeli, Şaroğlu, Demirtaş, 1999 sözlü görüşme). Aynı zamanda daha önceki çalışmalarda ele alınmayan Eskişehir Fayı, Orta Anadolu Fayı ve Tuzgözü Fayı Yaltırak vd. (1998) haritası (Şekil 1.2.2) ile Koçyiğit ve Beyhan (1998) haritası (Şekil 1.2.3) kullanılarak çalışmaya katılmıştır.

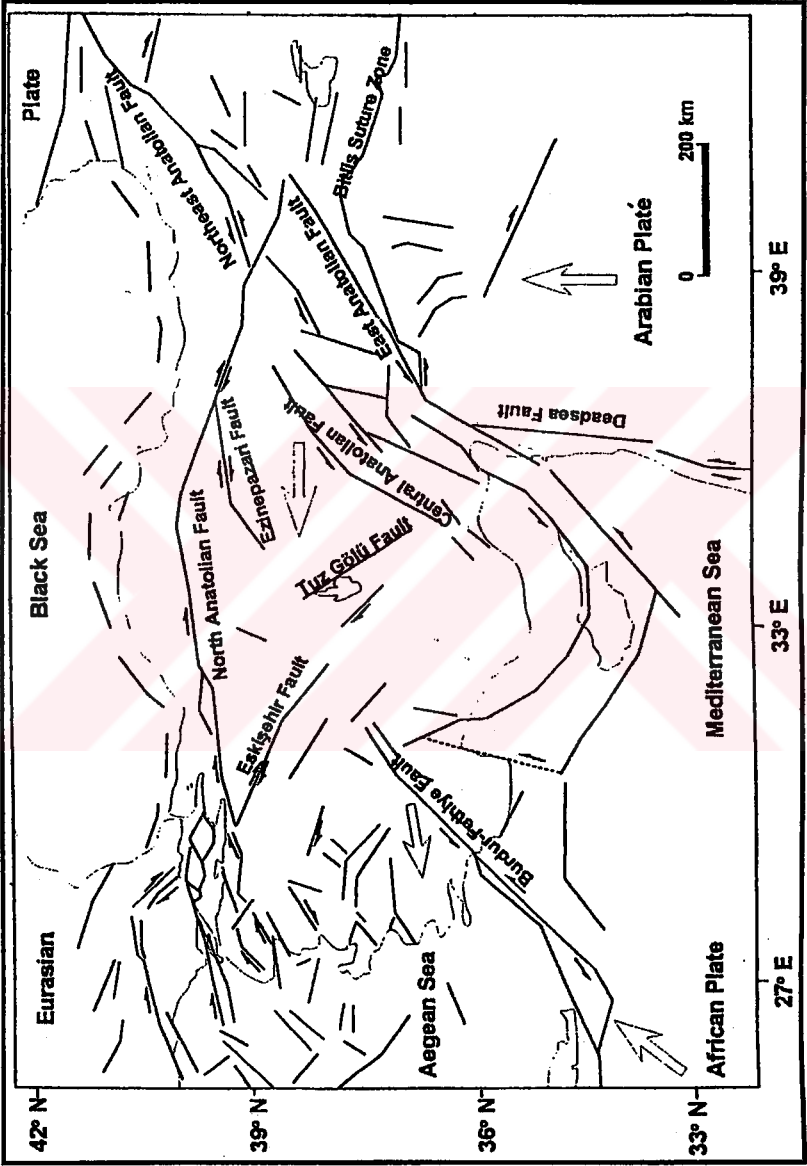
DEPREM BÖLGELERİ HARİTASI*



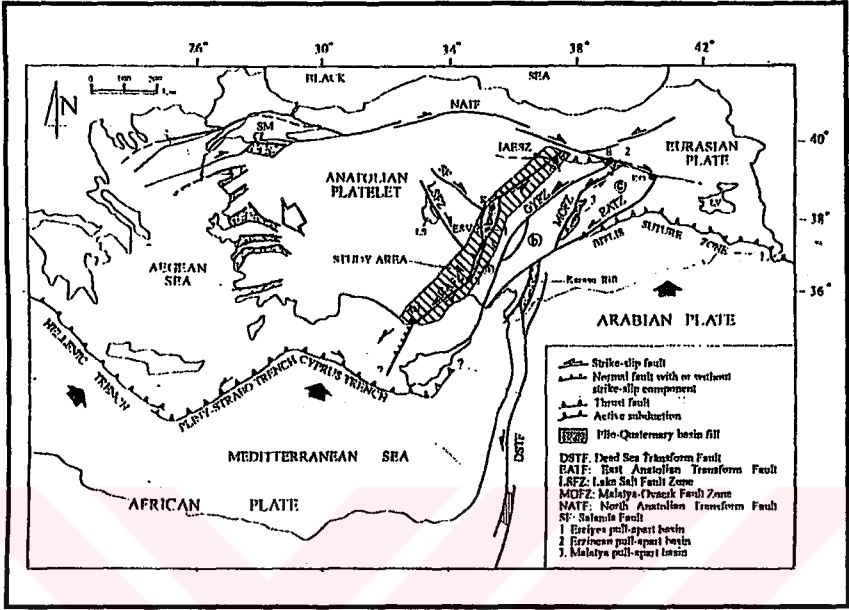
Şekil 1.1. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1996).



Şekil 1.2.1. Türkiye Diri Fay Haritası (Şaroğlu vd., 1992).



Sekil 1.2.2. Türkiye'nin neotektonik unsurları (Yaltrak vd., 1998).



Şekil 1.2.3. Orta Anadolu Fay Zonu ve diğer neotektonik unsurları gösteren harita (Koçyiğit ve Beyhan, 1998).

Herbir fay hattı için, deterministik analizde gerekli olan maksimum deprem büyüklüğü tanımlaması yapılmıştır. Bunu yaparken Bonilla (1984) tarafından ileri sürülen deprem büyüklüğünün, fay kırığı uzunluğunun logaritması ile doğrusal olarak orantılı olduğu kabulünden faydalanılmıştır. Bonilla (1984) bu ilişkiyi $M_s = 6.04 + 0.704 \cdot \log L$ şeklinde ifade etmiştir. Burada "L" km cinsinden yüzey kırığı uzunluğudur. Öte yandan maksimum deprem büyüklüğü tahmininde çoğu zaman maksimum yüzey kırığı oluştuğu varsayılır. Mark (1977), kabul edilen bu maksimum yüzey kırığı uzunluğunun, toplam fay uzunluğunun yarısına eşit olabileceğini belirtmiştir. Bu tez çalışmasında ise fayların toplam uzunluğunun 1/3 uzunluğu kadar kırıldığı kabulünden faydalanılmıştır.

Tüm fay kırık uzunlukları ve buna bağlı olarak da türetebilecekleri maksimum deprem büyüklüğü belirlendikten sonra, maksimum yatay yer ivmesi hesaplamalarına geçilmiş ve burada değişik sönüm denklemleri (azalım ilişkileri) kullanılmıştır. Bunlar;

- a) Joyner ve Boore (1988) sönüm denklemi
- b) Sabetta ve Pugliese (1987) sönüm denklemi
- c) Campbell (1988) sönüm denklemi
- d) Fukushima ve Tanaka (1990) sönüm denklemi
- e) İnan vd. (1996) sönüm denklemidir.

Joyner ve Boore (1988) ve Campbell (1988) tarafından geliştirilmiş azalım ilişkileri, San Andreas Fayı'na ait deprem verilerinden türetilmiş olmaları ve sözkonusu fayın Türkiye'deki ana kırık sistemlerinden en önemlisi olan Kuzey Anadolu Fayı ile büyük benzerlik göstermesi nedeniyle, bu çalışma kapsamında Türkiye için uygulanacak olan deterministik sismik tehlike analizinde kullanılmıştır. Batı Anadolu ile İtalya'nın benzer tektonik özellikteki yay ardı açılma havzalarında yer alması nedeniyle Sabetta ve Pugliese'e (1987) ait, İtalya ve çevresinde meydana gelmiş depremlerden türetilmiş olan azalım ilişkisi de çalışmada kullanılmıştır. Fukushima ve Tanaka (1990) tarafından geliştirilmiş azalım ilişkisi ise orta - büyük magnitüdü depremlerde uygun sonuçlar verdiği için bu çalışmada ele alınmıştır. İnan vd. (1996) azalım ilişkisi ise Türkiye'ye ait verilerden oluşturulmuş olması itibarıyla bu çalışmada gözönünde bulundurulmuştur.

Elde edilen tüm veriler ışığında, bu tez çalışması kapsamında hazırlanan model programın çalışma prensibi şu şekildedir: Öncelikle, maksimum yatay yer ivmesinin hesaplanacağı grid noktasının çevresindeki faylara olan uzaklıklar hesaplanmaktadır. Hesaplanan uzaklık ve faylara ait maksimum büyüklük verileri, herbir fay için bir sönüm denkleminde kullanılarak maksimum yatay yer ivmeleri elde edilmektedir. Bu ivme değerleri arasında en büyük olanı o nokta için kaydedilmekte ve tüm grid noktaları bu şekilde bir değerlendirmeye alındıktan sonra konturlama işlemi yapılmaktadır. Daha sonra ise ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci sönüm denklemleri için aynı işlemler tekrarlanmaktadır. Tüm bu işlemler sonucunda Türkiye için farklı sönüm denklemlerine ve yüzey kırığı uzunluklarına ait sismik tehlike haritaları hazırlanmıştır.

2. SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ KAVRAMI

Büyük ölçekli mühendislik yapılarını projelendirmede önemli bir yer tutan deprem risk analizinin birinci aşamasını sismik tehlike analizi oluşturur. Belirli büyüklükteki bir depremin tekrarlanma aralığının hesaplanması, maksimum yer ivmesi dönüş periyodu ile yer ivmesinin aşılma olasılığının belirlenmesi sismik tehlike analizinin konusunu oluşturur.

Sismik tehlike deyimi, yer hareketi veya deprem büyüklüğüne ait bir parametrenin proje sahasındaki değerinin öngörülen süre içinde belirli bir düzeyi aşma olasılığı olarak ifade edilebilir. Bu sürenin bir yıllık olarak alındığı durumda bulunan (yıllık) aşılma olasılığı, yıllık sismik tehlike olarak adlandırılır (Araya ve Der Kiureghian, 1988).

Sismik tehlike analizi ile, tarihsel deprem kayıtlarını jeolojik, sismolojik, istatistiksel ve diğer bilgilerle birleştirerek belirli bir proje sahasında ileride beklenebilecek sismik etkinlik için belirli olasılık değerleri saptanabilir. Ayrıca zeminin ve mühendislik yapısının, gelecekte maruz kalacağı depremsel yükleme şartlarının hesaplanmasında gerekli olan depremsel yer hareketi ile ilgili ivme, hız, deplasman vb. parametrelerin de hesaplanmasını kapsar (Kayabalı, 1995).

Deprem tehlike tahminleri çeşitli yollarla yapılabilir ve analizler neticesinde çok farklı sonuçlar ortaya çıkar. Örneğin bir aktif fay veya tarihsel sismisite haritası basit bir deprem tehlike tahmin ürünüdür. Bütün bu haritaların diğer parametrelerle ilişkilendirilmesi sonucu sismik zonlama haritaları meydana getirilir. Daha detay çalışmalar ise lokal ölçekte ve sivilaşma, deprem kökenli yer kaymaları, tsunami vb. belirli konular üzerinde gerçekleştirilir (Yeats vd., 1997).

Genel olarak olasılık hesaplamalarına dayalı deprem tehlikesi belirlemelerinde kullanılan kuramsal modeller; jeolojik ve sismolojik verilerden hareketle potansiyel deprem kaynaklarının tanımlanması, deprem büyüklükleri ile olasılık dağılımının belirlenmesi, stokastik işlem modellemesi ve yer hareketinin azalım ilişkilerinin belirlenmesi aşamalarını kapsar (Idriss, 1985).

Sismik tehlike analizleri iki ayrı grup altında incelenir. Bunlar;

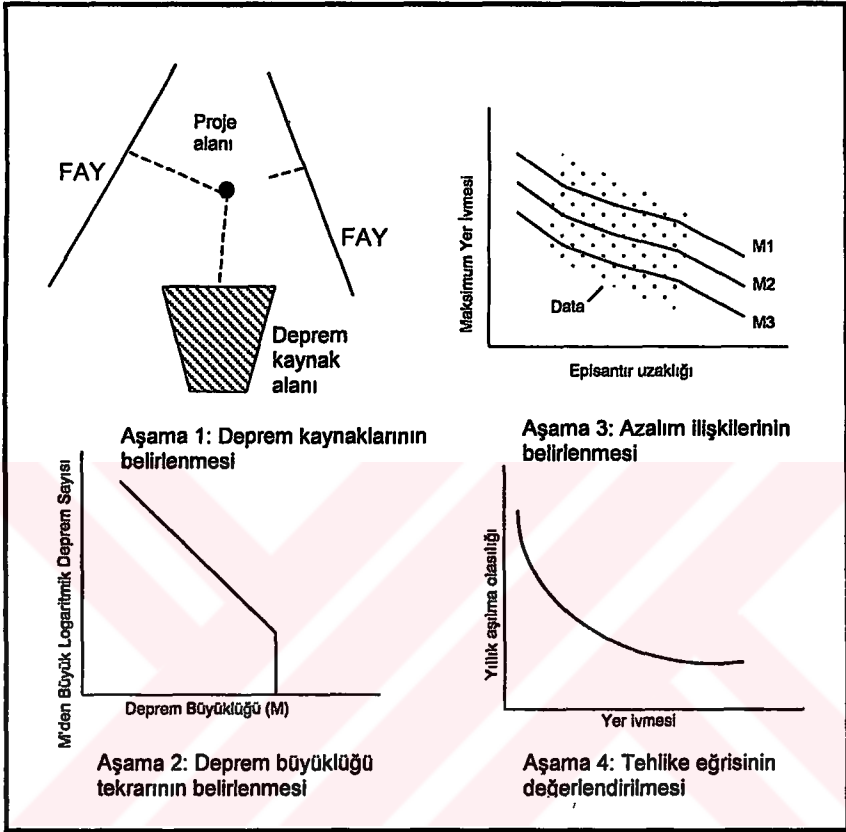
- a) Probabilistik Sismik Tehlike Analizi
- b) Deterministik Sismik Tehlike Analizi'dir.

Proje alanlarında deprem tehlikesinin belirlenmesi amacı ile deterministik ve/veya probabilistik yöntemler kullanılır. Senaryo depremlerin rasyonel yaklaşımlarla belirlendiği durumlarda her iki yöntem birbirine benzer sonuçlar sağlayabilir. Deprem tehlikesi analizlerinin temel sonuçları, belirlenmiş bir bölge için varolan jeoloji ve depremsellik bilgilerine dayalı olarak hesaplanan maksimum yer hareketi parametreleridir (Maksimum ivme, şiddet, hız vb.).

2.1. Probabilistik Sismik Tehlike Analizi

Probabilistik deprem tehlikesi hasar yapıcı yer hareketinin belirli bir yerde ve belirli bir zaman periyodu içerisinde meydana gelme olasılığı olarak tanımlanır. Probabilistik sismik tehlike analizi aşağıdaki aşamalardan oluşur;

1. Deprem kaynaklarının geometrisinin ortaya konulması.
2. Herbir deprem kaynağının magnitüd-frekans ilişkisinin belirlenmesi.
3. Analizde kullanılacak azalım ilişkisinin seçimi.
4. Yer hareketinin aşılma olasılığının hesaplanması (Şekil 2.1.1).



Şekil 2.1.1. Probabilistik sismik tehlike analizinin aşamaları (Araya ve Der Kiureghian, 1988).

Probabilistik metot, son 30 yıldan bu yana sismik tehlike analizlerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, bugüne kadar elde edilen bilgiler probabilistik sismik tehlike analizinin eksik veya hatalı bir yöntem olduğunu göstermektedir. Probabilistik metotta tüm kaynaklara ait depremler probabilitate yoğunluk fonksiyonunun ortaya çıkarılabilmesi için birlikte değerlendirilir. Ancak elde edilen sonuçlar kaynaktan yayılan gerçek depremleri göstermezler. Çünkü faylanma karakteristikleri ile birlikte deprem magnitüd seviyeleri değişebilmekte, bu da tekrarlanma oranını etkileyebilmektedir.

Probabilistik yöntemdeki diğer bir olumsuzluk ise deprem tekrarlanma aralığını belirleyen b-hattının ortaya çıkarılmasında kullanılan deprem büyüklüklerinden kaynaklanmaktadır. Çünkü b-hattı, küçük magnitüdü depremlerin de bulunduğu verilerden elde edilir. Ancak bu küçük magnitüdü depremlerin mühendislik açısından bir etkisi yoktur. Bu verilerin tek etkisi tekrarlanma aralığı üzerinde yaptıkları değişimlerdir ve küçük magnitüdü depremlerden ortaya çıkarılan b-hattı, büyük magnitüdü depremlerin oluşum zamanının tahmininde de kullanılmaktadır. Öte yandan deprem verileri sonucunda bulunmuş bir b-hattının ait olduğu bölgede zaman içerisinde yeni depremlerin oluşumu ile b-hattı değişebilmektedir. Bu nedenle b-hattının bulunmasında ele alınan zaman dilimi ve bu zaman dilimi içerisinde meydana gelmiş olan depremlerin büyüklüğü de çok önemlidir (Krinitzsky, 1998).

2.2. Deterministik Sismik Tehlike Analizi

Deterministik metotla belirlenen deprem tehlikesi, zaman boyutundan bağımsız olarak, bölgede meydana gelebilecek en büyük deprem düzeyinin belirlenmesi esasına dayanır. Bu analiz yönteminde, proje sahasına belirli bir uzaklıkta bulunan deprem kaynağındaki maksimum büyüklükte depremin, proje sahasında anakayada oluşturacağı maksimum yatay yer ivmesi, azalım ilişkisi yoluyla hesaplanır. Bu yaklaşımda, öncelikle proje sahasını etkileyebilecek deprem kaynaklarından, en büyük depremleri ortaya koymak gereklidir. Deterministik metotta, belirli bir alanda veya fay üzerinde varolan tektonik rejim boyunca oluşan “maksimum güvenilir deprem (maximum credible earthquake)” kabulü kullanılır (Yeats vd.,1997). Maksimum güvenilir deprem terimi, bir bölgede veya bir fay boyunca oluşma olasılığı görünen en büyük veya maksimum depremi ifade eder. Maksimum güvenilir depremi, maksimum depremden ayıran en önemli özellik zamana bağımlı olmamasıdır. Maksimum güvenilir depremlerin tahmin edilmesinde birkaç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

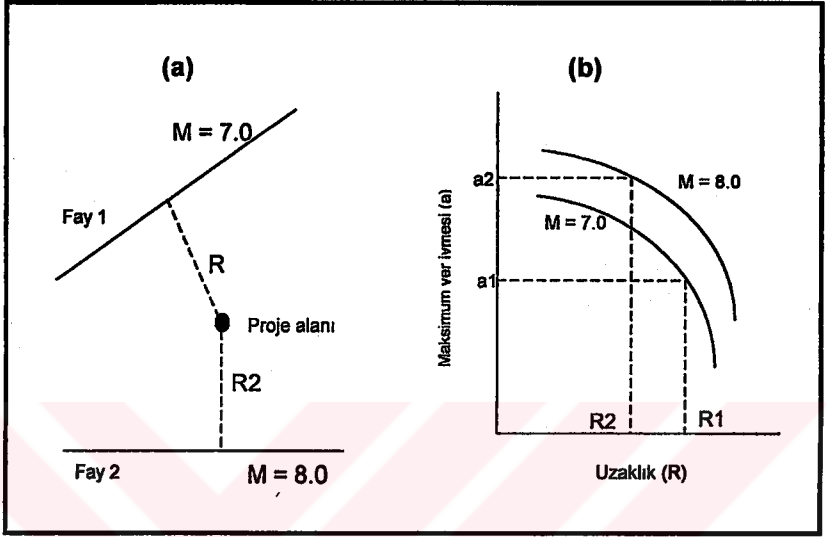
- a) Tarihsel depremlerin incelenmesi
- b) Paleosismik çalışmalar
- c) Fay karakteristiklerinin incelenmesi (yüzey kırığı uzunluğu, fay alanı, ötelenme vb. gibi)

şeklinde dir. Tarihsel depremlerin incelenmesi sırasında deprem kayıt tarihçesi ele alınır. Ancak bu yaklaşımda deprem kayıtlarının yeterli

olmaması veya bazı eksikliklerin bulunması durumları sözkonusu olabilir. Paleosismik çalışmalarda ise jeolojik zaman içerisinde meydana gelmiş olan depremler ve bu depremlerin büyüklüğüne bağlı olarak jeolojik yapı üzerindeki etkileri arazi incelemeleri ile ortaya konmaya çalışılır. Bu yaklaşımda da bazı belirsizlikler vardır. Proje alanını etkileyebilecek maksimum deprem büyüklüğünü belirlemede kullanılan diğer bir yaklaşım ise, fayların kırık uzunlukları, yerdeğiştirme vb. gibi karakteristik özellikleri ile deprem büyüklüğü ilişkisini karşılaştırmaktır. Burada ifade edilmek istenen deprem büyüklüğünün doğrudan depremi üreten kaynak ile belirlendiğidir. Bu konu üzerinde çok çeşitli çalışmalar vardır. Tocher (1958), Iida (1965), Bonilla (1984), Mark (1977) ve Slemmons (1977) gibi birçok uluslararası araştırmacı diri fay karakteristikleri ile deprem büyüklüğü ilişkisini ortaya koymaya çalışmışlardır. Aktif fay parametreleri ve deprem magnitüdü arasındaki bu korelasyonlar önemli mühendislik yapılarının dizaynı açısından büyük öneme sahiptir.

Magnitüd tahmin yaklaşımlarının her biri, bazı belirsizlikler içerdiği için, bu yaklaşımların birkaçının kullanılması, tek bir tekniğin uygulanmasından daha güvenilir maksimum magnitüd büyüklüğü tahmini verir. Böylece bu analizlerle fayın davranışları hakkında oldukça fazla bilgi edinilebilir ve magnitüd tahmini, varolan verilerden sağlanan en iyi tahmini oluşturur.

Deterministik yaklaşımda son aşama ise, proje sahasının bulunduğu bölgenin karakteristiklerine en uygun azalım ilişkisinin seçilmesi ve proje sahasına belirli bir uzaklıkta bulunan deprem kaynağındaki maksimum depremin proje sahasında anakayada oluşturacağı maksimum yer ivmesinin, seçilen azalım ilişkisi yoluyla hesaplanmasıdır (Şekil 2.2.1).



Şekil 2.2.1. Deterministik sismik tehlike analizinin aşamaları: a) Deprem oluşturan kaynağın proje alanına olan uzaklığının belirlenmesi. b) Azalım ilişkileri kullanılarak proje alanında oluşabilecek maksimum yatay yer ivmesinin hesaplanması.

Deterministik tehlike analiz metodunun en önemli avantajı, deprem oluşum veya fay kayma oranı gibi zamana bağımlı verilere gerek duyulmamasıdır. Bu gibi verilere, çalışma yapılmamış sahalarda kolayca ulaşmak her zaman mümkün değildir.

3. DEPREM BÜYÜKLÜĞÜ (MAGNİTÜDÜ)

3.1. Deprem Büyüklüğü (Magnitüdü) Tanımı

Daha objektif ve sayısal olarak deprem büyüklüğünü belirleme imkanı ancak deprem esnasında yer hareketini ölçebilen modern aletlerin son 60 yıl içinde gelişmesi ile mümkün olmuştur. Sismik aletlerle deprem büyüklüğü sayısal olarak belirlenebilir ki buna "deprem magnitüdü" adı verilir. Çoğu deprem magnitüdü ölçümleri aletseldir. (Kramer, 1996).

Günümüzde deprem magnitüd dereceleri, aktif tektonik ve sismoloji çalışmalarında kullanılan en önemli deprem büyüklük parametrelerinden bir tanesidir. Magnitüd dereceleri, lokal magnitüd (M_L), yüzey dalgası magnitüdü (M_S), cisim dalgası magnitüdü (m_b) ve moment magnitüdü (M_w) vb. gibi değişik formlara sahiptir. Bu değişik magnitüd dereceleri depremlerin magnitüdlerini belirleyen farklı tiplerdeki sismik ağların oluşturulması sonucunda ortaya çıkarılmıştır. Magnitüd dereceleri arasındaki önemli farklardan bir tanesi ölçülen dalganın periyodudur. Ölçülen frekanstaki fark, kullanılan sismometrelerdeki tepki zamanına ve farklı uzaklıklardaki deprem kaynaklarından sismometreye ulaşan dalgaların değişik frekans spektrumuna bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

Lokal (yerel) magnitüd (M_L), deprem kaynağından 100 km uzakta bir Wood-Anderson sismografinin kaydettiği depremin 1 μ luk amplitüdün büyüklüğünü sıfır olarak ifade edilmesidir. Bu durumda 1000 μ luk bir amplitüd değeri 3 magnitüdüne karşılık gelmektedir.

Yüzey dalgası magnitüdü (M_S), bölgesel veya telesismik uzaklıkta 20 saniye periyodundaki (T) yüzey dalgalarının maksimum genliğinin ölçülmesi ile elde edilir. Özellikle orta ve büyük depremler için kullanılır.

Cisim dalgası magnitüdü (m_b) ise, kısa periyotlu (~1 sn) cisim dalgalarının amplitüdüne göre belirlenen bir deprem büyüklüğüdür.

Önemli bir deprem büyüklüğü ifadesi olan moment magnitüdü (M_w) de, büyük depremler sırasında açığa çıkan enerjiyi ölçmek için geliştirilmiştir. Bu magnitüdün hesaplanmasında sismik moment (M_0) kavramından yararlanılır. Sismik moment, bir depremin oluşturduğu statik deplasman (yerdeğiştirme) prensibine dayalı bir boyut tahmin etme yöntemidir. Magnitüdden doğrudan bir ölçüm olmasından dolayı sismotektonik

çalışmalarda oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Hesaplamalarda sismogramlardan, arazi gözlemlerinden ve jeodezik ölçümlerden yararlanılır.

3.2. Deprem Büyüklüğü (Magnitüdü) Tahmini

Bir fay boyunca veya belirli bir bölge içerisinde oluşacak depremlerin büyüklüğünü tahmin etmek, sismik tehlike analizlerinin temel ögesini oluşturur. Deprem büyüklüğünün tahmin edilmesi basit bir işlem olmayıp, son yıllarda geliştirilmiş birçok yaklaşım ve metotlar sayesinde elde edilmeye çalışılmaktadır.

Tarihsel veriler; deprem büyüklüğü ile yüzey kırığı uzunluğu, yüzey ötelenmesi ve deprem kırığı alanı gibi fay parametreleri arasında bağıntılar bulunduğunu ortaya koymuş ve bu parametrelerin karşılaştırılması sonucu deprem büyüklüğü ile ilgili tahminleri mümkün kılmıştır. Bu karşılaştırmalardan elde edilen deprem büyüklüğü ile tarihsel veriler ve kaynak büyüklüğü hesaplamalarına ait sonuçlar, birlikte yorumlanarak son bir deprem büyüklüğü tahmini yapılabilir (Demirtaş, 1997).

Büyük fay zonlarında, genellikle bir deprem sırasında fayların tüm uzunluğu boyunca kırılmadıkları, sadece bir kısmının kırıldığı gözlenmiştir. Bir fay veya fay zonu açık bir şekilde çözüldükten sonra potansiyel deprem kırığı uzunluğunu tahmin etmek için bazı mantık ve tekniklerin uygulanmasına gerek duyulmaktadır. Bununla ilgili olarak yarım uzunluk, kısmi fay uzunluğu ve segmentasyon teknikleri gibi birkaç teknik geliştirilmiştir (Slemmons, 1982).

Yaklaşımlar, deprem büyüklüğü tahmininin genel bir elemanını oluşturur ve araştırılmakta olan sismik kaynak ile değerlendirme arasında nasıl bir ilişki olduğu hakkındaki farklı belirsizlik seviyelerini ortaya koyar. Örneğin bir fay boyunca büyük bir deprem oluşmuşsa ve yeterince tanımlanmışsa, o zaman fayın bu tür bir depremi oluşturacak kapasiteye sahip olduğu ile ilgili bilgiler oldukça güvenlidir.

Ölçek olarak kullanılan parametreler, deprem büyüklüğünü ifade etmek için kullanılan çeşitli parametreler ve kavramlardır. Deprem kırığı uzunluğu, yüzey ötelenmesi, kırık alanı ve sismik moment gibi parametreler örnek olarak verilebilir.

Teknikler, deprem büyüklüklerini tahmin etmek için kullanılan özel sayısal ve tahmin ile ilgili bilgilerdir. Veri ise büyüklük tahmini için kullanılan çeşitli giriş değerleridir. Bu iki kategori tahminlerde çok sık karşılaşılan iki önemli belirsizliği oluşturur (Tablo 3.2.1).

Tablo 3.2.1. Deprem büyüklüğünü tahmin etme yöntemleri (Polo ve Slemmons, 1990).

Sismik tehlike tipi tahmini	Yaklaşımlar	Ölçek parametreleri	Teknikler	Veriler
Karakteristik deprem	Tarihsel deprem	Tarihsel sismisite	Deprem büyüklüğü ile fay parametrelerinin karşılaştırılması	Deprem kırığı ölçümleri
Maksimum deprem	Paleosismik	Deprem kırığı uzunluğu	Fay uzunluğunun parçalara ayrılması	Fay geometrisi
Maksimum güvenilir deprem	Kaynağın tanımlanması	Deprem kırığı alanı	Segmentasyon	Kayma hızı
Saçılmış deprem	Bölgesel karşılaştırma	Fay ötelenmesi	Sismik moment hesaplamaları	Tarihsel sismisite katalogları
	Göreceli karşılaştırma	Sismik moment	Magnitüd-frekans ilişkileri	Kesme modülleri
			Maksimum olasılık istatistikleri	Sismojenik zonun derinliği

Tablo 3.2.1’de ölçek olarak kullanılan parametrelerden deprem kırığı uzunluğu metodu, deprem büyüklüğü tahminlerinde en sık kullanılan metotlardan birisidir. Bu metot, bir deprem kırığının potansiyel uzunluğunu ölçmeyi ve sayısal ilişkiler sayesinde potansiyel deprem büyüklüğünün tahmin edilmesini gerektirir (Slemmons, 1977; Bonilla, 1984).

Tarihsel kayıtlara göre 6 ve daha büyük magnitüdü depremler yüzey kırığı oluşturmaktadır (Bonilla, 1970; Slemmons, 1977). Tarihsel depremler incelendiğinde, büyük depremler ile yüzey kırığı uzunluğu, kırık alanı ve yüzey ötelenmesi gibi parametre değerleri arasında önemli ilişkilerin olduğu görülür.

Deprem kırığı uzunluğu metodunda iki ana belirsizlik kaynağı bulunmaktadır. Bunlar, potansiyel bir faya ait kırık uzunluğunun belirlenmesi ve büyüklük tahminlerinde kullanılan sayısal ilişkiler ile ilgili belirsizliklerdir (Demirtaş, 1997).

Tarihsel depremler ile ilgili gözlenmiş deprem kırığı uzunlukları, iki ana yolla tahmin edilebilir. Bunlar, depremlerin yüzey kırığı uzunlukları ve artçışok dağılımlarıdır. Yüzeysel jeolojik veriler, deprem büyüklüğüne ölçek olabilecek bilgileri temsil eder ve potansiyel deprem büyüklüklerini tahmin etmek için kullanılabilir (Bonilla, 1980). Bazı araştırmacılar ise artçışok dağılımlarını kullanarak deprem kırığı uzunluğunu ortaya koyabilecek daha doğrudan kanıtları araştırmışlardır (Acharya, 1979; Wyss, 1979; Darragh ve Bolt, 1987). Büyük depremlerde yüzey kırığı uzunluğu ile artçışok dağılımları arasındaki fark, tüm kaynağın küçük bir yüzdesini oluşturur ve genellikle önemsizdir.

Darragh ve Bolt (1987), orta büyüklükteki depremlerde iki uzunluk tahmini arasındaki farkın daha büyük ve daha kritik olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca orta büyüklükteki depremlerde ($M = 6-7$) artçışok dağılımlarından elde edilen uzunlukların daha iyi kaynak uzunluklarını temsil ettiklerini ifade etmişlerdir.

Albee ve Smith (1966), tarihsel depremlerde yaptıkları incelemeler sonucunda potansiyel deprem kırığı uzunluğunun fay zone uzunluğunun yarısından daha az olabileceğini ve yarım uzunluğun deprem büyüklüklerini tahmin etmek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bir deprem esnasında kırılan kısmın fay zoneunun ne kadar yüzdesini oluşturduğu hakkındaki bilgi eksikliğinden dolayı, çoğu tahminler toplam fay uzunluğunun %50 sini kullanmaktadır (Wenworth vd., 1969; Wesson vd., 1975; Mark, 1977; Freeman vd., 1986).

Plaka içi alanlardaki doğrultu atımlı faylar için Slemmons ve Chung (1982) tarafından geliştirilmiş fay uzunluğu tahmininin diğer bir yolu, kısmi fay uzunluğu tekniğidir. Bu teknik, toplam fay sistemi uzunluğunun tahmin edilmesini ve tek bir deprem esnasında kırılan toplam sistem uzunluğunun türetilmesini gerektirir. Hem yarım hem de kısmi fay uzunluğu tahminlerinde, genellikle toplam fay uzunluğunun belirlenmesinde bazı belirsizlikler görülebilir.

Fay uzunluğunu tahmin etmenin en doğrudan yolu segmentasyon tekniğidir. Segmentasyon tekniği, kırık zonu tanımlanacak fay zonu hakkında fiziksel bilgileri kullanır ve deprem büyüklüğünü tahmin etmek için deprem segment uzunluğunu dikkate alır (Slemmons, 1982).

3.3. Fay Kırığı Karakteristikleri ve Deprem Büyüklüğü

Bugüne kadar yapılmış pek çok bilimsel araştırma, depremleri oluşturan en önemli unsur olan faylara ait bazı karakteristik özellikler ile deprem büyüklüğü arasında istatistikî ilişkiler bulunduğunu göstermiştir. Bu konu üzerinde çalışan araştırmacılar faylara ait bazı parametreleri ve deprem büyüklüklerini incelemişler; bu iki unsur arasında çeşitli ilişkiler saptamışlardır. Sismik tehlike analizlerinde fayların oluşturabileceği maksimum deprem büyüklüğünün belirlenmesinde, bu ilişkilerden önemli ölçüde faydalanılmaktadır. Genellikle tam anlamıyla tanımlayıcı olmayan tarihsel ve sismolojik kayıtlarla depremlerin tekrarlanma aralıklarının ve büyüklüklerinin incelenmesi yerine, günümüzde bu unsurların incelenebilmesi için jeolojik metotlar bir alternatif olarak kullanılmaktadır.

Dizayn depremin belirlenmesinde kullanılan jeolojik metodun temeli iyi oluşturulmuş bir deprem büyüklüğü (genellikle magnitüd ile temsil edilir) ve fay uzunluğu - maksimum fay ötelenmesi öğeleri arasındaki karşılaştırmaya dayanmaktadır (Slemmons, 1977). Kullanılan bu jeolojik metot; düşük - orta oranda aktif olan, tarihsel olarak sismik olmayan veya aktivitesi tam olarak belirlenemeyen, ancak günümüzde yüksek oranda aktif ve tarihsel kayıtların az veya yeterli olmadığı bölgelerdeki fayların türetebileceği deprem büyüklüklerinin belirlenmesinde gereklidir.

Sığ odaklı depremlerin magnitüdü ve kırılan bölgenin boyutları ile yüzey kırığı uzunluğu arasında çeşitli ilişkiler olduğu 1950'li yıllarda farkedilmiştir. Günümüzde mühendislik uygulamalarında, magnitüd ve Log L - Log D (L: fay uzunluğu; D:ötelenme miktarı) arasındaki ilişkilerle dizayn depremler hesaplanmaktadır. Dizayn deprem kavramı bir proje sahasını etkileyebilecek en büyük magnitüdü deprem olarak kullanılmaktadır. Magnitüd - fay uzunluğu ve magnitüd - maksimum fay ötelenmesi arasındaki korelasyonlar, yüksek korelasyon katsayılarına sahiptir ve bu nedenle dizayn depremin tahmininde geniş kullanım alanları vardır.

Belirli bir proje sahasında olabilecek yer hareketinin belirlenmesi için öncelikle tehlike oluşturabilecek önemli aktif fayları belirlemek gereklidir. Sismik dalgalar uzaklıkla sönümlendiğinden, proje sahası için kabul edilecek dizayn depremler yakın bir faydan dolayı orta magnitüdü bir depremi kapsayabileceği gibi; uzak bir ana faydan kaynaklanan büyük ölçekli bir depremi de kapsayabilir. Eğer ana fay proje sahasının yakınında ise, daha uzak faylar tekrarlanma aralığının sık olmaması halinde genellikle dizayn depremin tahmininde kullanılmazlar (Yeats vd., 1997).

3.3.1. Maksimum Ötelenmenin Logaritması (Log D) ile Magnitüd (M) Arasındaki Ampirik İlişki

Bu metot, genellikle yüzey kırıklarında veya ilişkili deformasyonlarda bir paleosismik olayda görülen maksimum veya ortalama ötelenme miktarlarının araştırılmasını içerir. Daha sonra bu ötelenme değerleri, tarihsel deprem büyüklükleri ile yüzey ötelenmeleri arasındaki regresyonlardan geliştirilmiş sayısal formüllerle deprem büyüklüğünü ölçmek için kullanılır.

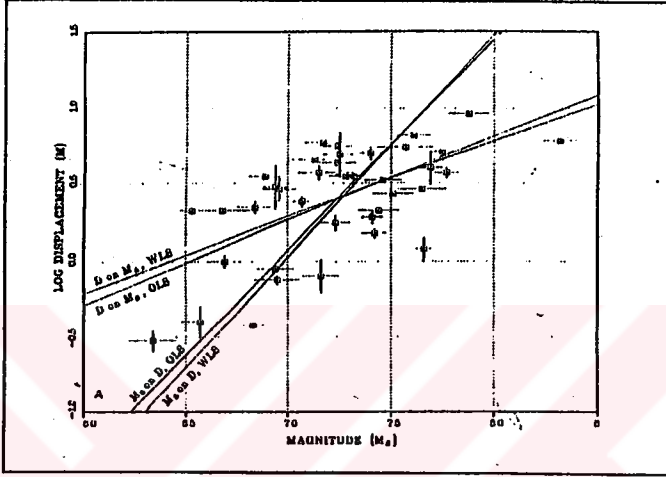
Ötelenme değerini deprem büyüklüğüne dönüştürmek için, sayısal bir ilişki veya karşılaştırmadan yararlanılır. Ötelenme - deprem büyüklüğü ilişkileri benzer değerlendirmelere sahiptirler ve birçok çalışmada tartışılmıştır (Tocher, 1958; Iida, 1965; Bonilla, 1967; Chinnery, 1969; Bonilla ve Buchanan, 1970; Mark ve Bonilla, 1977; Slemmons, 1977, 1982; Slemmons ve Chung, 1982; Bonilla vd. 1984; Zhang, 1989).

Tablo 3.3.1.1 de bu ilişkiye ait uluslararası alanda yayınlanmış bazı formüller yer almaktadır ve tüm bu formüller " $M = a + b \cdot \log D$ " korelasyonuna dayanmaktadır.

Tablo 3.3.1.1. Deprem magnitudü (M) - maksimum ötelenmenin logaritması (Log D) arasındaki ampirik ilişkiler ($M=a+b.\text{Log D}$) (Slemmons, 1977).

Araştırmacı	Bölge	Fayın Cinsi	Çalışma sayısı	a	b	D
Tocher (1958)	Kaliforniya	Tümü	9	7.012	0.720	m
Iida (1965)	Tüm dünya	Tümü	58	6.836	1.818	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	K. Amerika	Tümü	19	6.838	1.169	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Tümü	50	6.890	1.105	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Normal	14	6.853	0.841	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Ters	7	7.166	1.280	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Normal oblik	7	7.094	0.065	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Ters oblik	5	6.928	0.067	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Doğrultu atımlı	17	6.881	1.332	m

Slemmons (1982) ve Bonilla vd. (1984) tarafından gerçekleştirilmiş yeni çalışmalarda yüzey dalgası magnitudleri ile maksimum ötelenme değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 3.3.1.1).



Şekil 3.3.1.1. Yüzey dalgası magnitüdü - maksimum yüzey ötelenmesi arasındaki ilişki (Bonilla vd, 1984).

Doğrultu atımlı faylar için yüzey dalgası magnitüdü - maksimum yüzey ötelenme ilişkisi; $M_s = 7.00 + 0.782 (\log D_{\max})$ formülü ile verilmektedir. $D_{\max}$, herbir deprem için metre cinsinden maksimum yüzey ötelenme değerini göstermektedir (Bonilla vd., 1984).

3.3.2. Maksimum Ötelenmenin Logaritması (Log D) ile Fay Uzunluğunun Logaritması (Log L) Arasındaki Ampirik İlişki

Bu ilişki, uzunluğu bilinen bir fay boyunca maksimum fay ötelenmesinin tahminine olanak sağlar ve iyi bir istatistiksel korelasyon gösterir. Tablo 3.3.2.1 de bu ilişkiye ait uluslararası alanda yayınlanmış bazı formüller yer almaktadır ve tüm bu formüller " $\log D = a + b \cdot \log L$ " korelasyonuna dayanmaktadır.

Tablo 3.3.2.1. Maksimum ötelenmenin logaritması (Log D) - fay uzunluğunun logaritması (Log L) arasındaki ampirik ilişkiler (Log $D=a+b \cdot \text{Log } L$) (Slemmons, 1977).

Araştırmacı	Bölge	Fayın Cinsi	Çalışma sayısı	a	b	D	L
Tocher (1958)	Kaliforniya	Tümü	9	-2.809	0.664	m	m
Iida (1965)	Tüm dünya	Tümü	59	-3.444	1.075	m	km
Bonilla ve Buchanan (1970)	K. Amerika	Tümü	19	-4.268	0.952	m	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Tümü	61	-2.240	0.558	m	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Normal	20	-3.136	0.775	m	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Ters	8	0.152	0.035	m	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Normal oblik	7	0.198	0.042	m	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Ters oblik	5	-1.641	0.451	m	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Doğrultu atımlı	21	-3.273	0.752	m	m

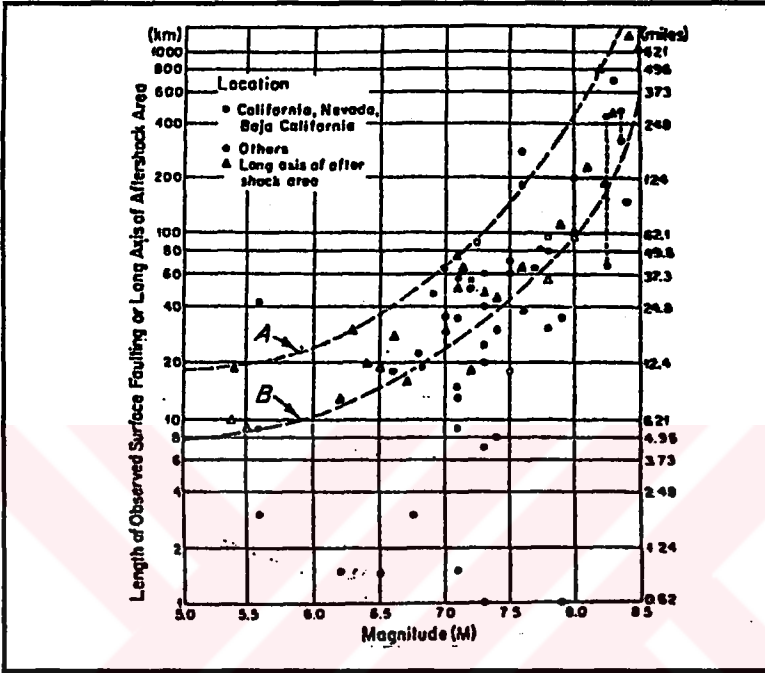
3.3.3. Fay Uzunluğunun Logaritması (Log L) ile Magnitüd (M) Arasındaki Ampirik İlişki

Uzunluğu bilinen faylar boyunca, gelecekte meydana gelebilecek depremlerin türetebileceği maksimum magnitüdün belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan ilişkidir. Tablo 3.3.3.1 de bu ilişkiye ait uluslararası alanda yayınlanmış bazı formüller yer almaktadır ve tüm bu formüller " $M = a+b \cdot \text{Log } L$ " korelasyonuna dayanmaktadır.

Tablo 3.3.3.1. Deprem magnitüdü (M) - fay uzunluğunun logaritması (Log L) arasındaki ampirik ilişkiler ($M=a+b \cdot \log L$) (Slemmons, 1977).

Araştırmacı	Bölge	Fayın Cinsi	Çalışma sayısı	a	b	L
Tocher (1958)	Kaliforniya	Tümü	10	3.415	0.825	m
Iida (1959)	Tüm dünya	Tümü	35	6.27	0.63	km
Iida (1959)	Japonya	Tümü	12	6.62	0.49	km
Iida (1965)	Tüm dünya	Tümü	54	6.07	0.76	km
Bonilla ve Buchanan (1970)	K. Amerika	Tümü	14	2.008	1.075	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Tümü	53	3.757	0.758	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Normal	14	4.303	0.630	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Ters	7	7.497	0.047	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Normal oblik	7	3.828	0.751	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Ters oblik	5	7.137	- 0.049	m
Bonilla ve Buchanan (1970)	Tüm dünya	Doğrultu atımlı	20	1.239	1.242	km

Albee ve Smith (1966), Kaliforniya’da deprem riski üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında Kaliforniya’dan ve Nevada’dan 19 deprem ile yüzey kırığı gözlenmeyen; ancak artçı çok dağılım bölgesi uzunlukları incelenen 22 depremi ele almışlardır. Çalışmanın sonucunda yüzey kırığı görülmeyen sığ odaklı küçük depremlerin, daha büyük magnitüdü ve yüzey kırıklı depremler ile aynı eğri üzerine düştükleri belirlenmiştir. Buna göre, magnitüd ile fay uzunluğu arasında eğrisel bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir (Şekil 3.3.3.1).



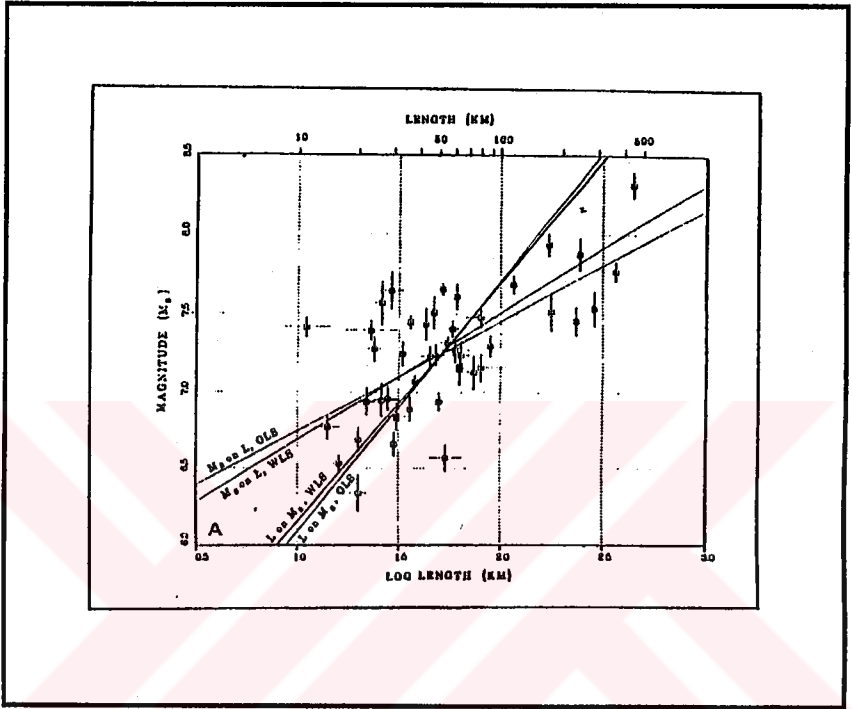
Şekil 3.3.3.1. Deprem magnitüdü ile fay uzunluğu veya artçışok bölgesinin uzun eksenini arasındaki ilişki (Albee ve Smith, 1966) (A eğrisi yaklaşık eğri; B eğrisi ise en iyi uyan eğridir).

3.3.4. Fay Kırığı Uzunluğu ile Magnitüd (M) Arasındaki Ampirik İlişki

Potansiyel bir fay kırığı uzunluğu belirlendikten sonra, uzunluk parametrelerini deprem büyüklüğüne dönüştürmek için bazı analizler kullanılır. Bu analizler birçok araştırmacı tarafından çalışılmış ve geliştirilmiştir. Söz konusu bu ilişkilerde deprem büyüklüğünün, fay kırığı uzunluğunun logaritması ile doğrusal olarak orantılı olduğu ortaya çıkmaktadır. Yüzey kırığı uzunluğu - magnitüd arasındaki ilişki Şekil 3.3.4.1 de görülmektedir. Tüm tarihsel depremler çalışılarak, Bonilla (1984) tarafından geliştirilen bu ilişki;

$$M_s = 6.04 + 0.708 \cdot \log L \text{ şeklindedir.}$$

L: Yüzey kırığı uzunluğu (km)



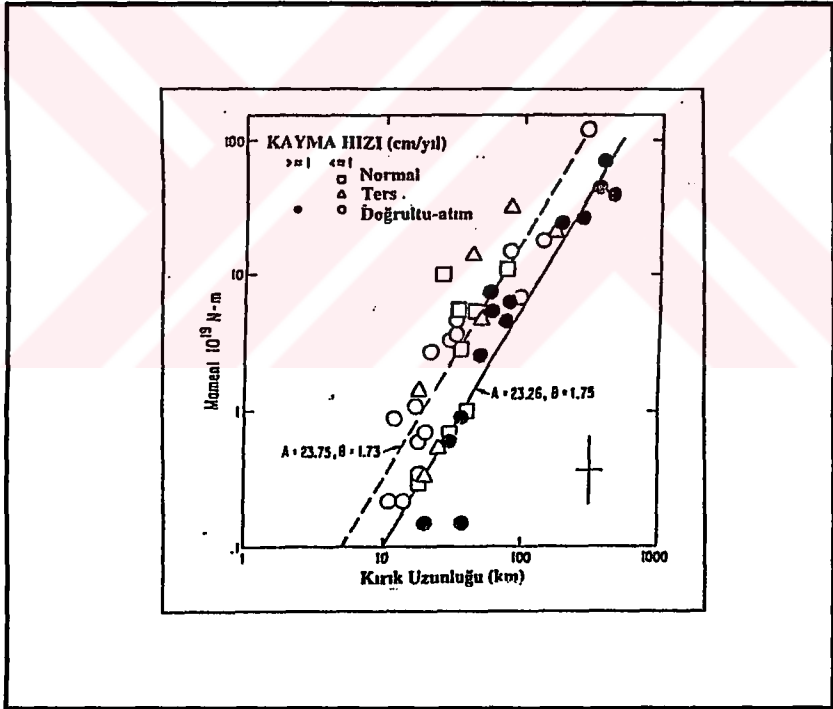
Şekil 3.3.4.1. Yüzey dalgası magnitüdü - yüzey kırığı uzunluğu arasındaki ilişki (Bonilla, 1984).

Bu ilişkide standart sapma 0.3 magnitüd birimi olup, M_s 5.5-8.0 arasındaki depremler için geçerlidir.

Acharya (1979) yüzey kırığı uzunluğu - magnitüd ilişkisi arasında bölgesel değişimlerin olduğunu vurgulamış ve dünya çapında verileri kullanarak regresyonlarda bazı dağılımları açıklamıştır. Acharya'nın veri tabanı 6.0 ve daha büyük magnitüdü depremlerden oluşmuştur. Araştırmacının karşılaştırma katsayısı yüksek olup, standart sapmaları 0.4 ile 0.9 magnitüd birimleri kadardır. Bonilla vd. (1984) ve Nowroozi (1985), bölgesel verileri dikkate alarak daha iyi karşılaştırmalar yapmıştır.

Regresyon ilişkilerindeki dağılımın diğer bir nedeni, farklı yüzey ötelenme yönlerine sahip olmalarıdır. Bonilla ve Buchanan (1970), Slemmons (1977, 1982) ve Bonilla vd. (1984) ötelenme yönü ile sistematik farklılıkların bulunduğunu belirtmişler ve verilerin bunu belgelemek için çok az olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Wesnousky (1986) ve Kanamori-Allen (1986) tarafından yapılan çalışmalarda, uzunluk karşılaştırmalarında magnituden ziyade sismik momenti kullanmışlardır. Wesnousky (1986) 46 adet deprem verisi kullanarak moment ve yüzey kırığı uzunluğu arasında bir ilişki geliştirmiştir (Şekil 3.3.4.2). Bu şekilde iki regresyon eğrisi görülmektedir. Koyu çizgi yıllık kayma hızı 1 santimetre ve daha büyük, kesik çizgi ise yıllık kayma hızı 1 santimetreden daha küçük olan fayları göstermektedir.



Şekil 3.3.4.2. Sismik moment - deprem kırığı uzunluğu arasındaki ilişki (Wesnousky, 1986).

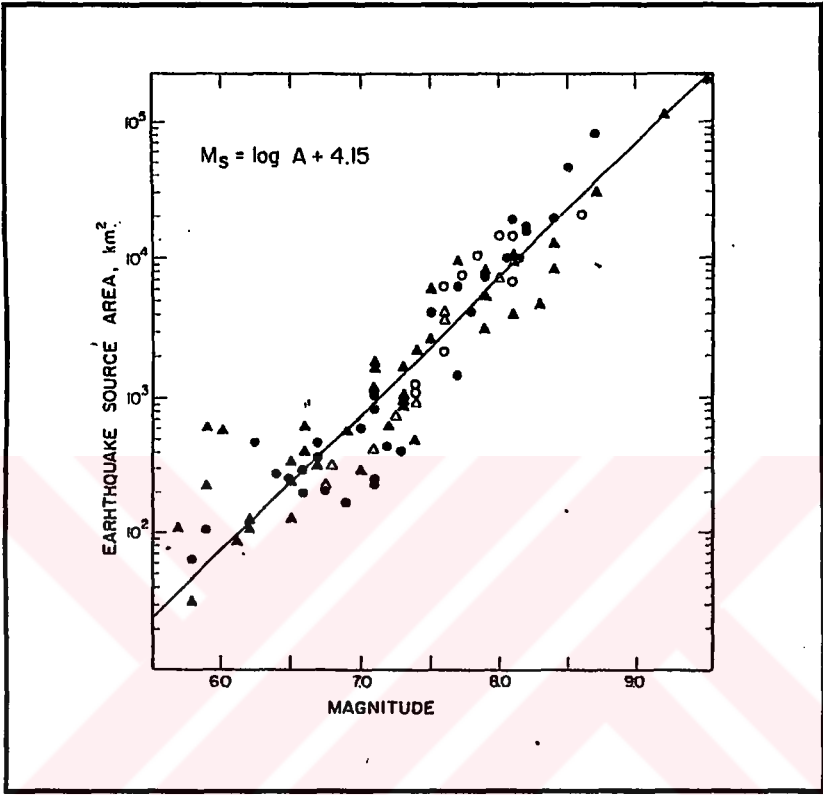
Bonilla vd. (1984) birçok değişkenin gözönüne alınmamasından dolayı deprem magnitüdü ile yüzey kırığı parametreleri arasında tek bir değerin var olmadığını işaret etmiştir. Bu değişkenleri, gerilme düşüşü, yüzey kırığı şekli ve makaslama modülleri oluşturur. Araştırmacılar, ayrıca ölçüm hatalarındaki değişimleri, regresyon eğrisindeki değişimler ile karşılaştırmışlar ve regresyon eğrisinin tahmini değişimlerinin hakim olduklarını saptamışlardır.

Deprem kırığı uzunluğu ilişkileri, ortalama veya beklenen deprem büyüklüğünü tahmin etmek için plaka içi bölgelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu değerler, karakteristik ve maksimum deprem tahminlerinde de doğrudan ele alınmaktadır.

3.3.5. Fay Alanı ile Magnitüd (M) Arasındaki Ampirik İlişki

Wyss (1979), Singh vd. (1980) ve Bonilla vd. (1984) deprem büyüklüğü ile fay alanı arasında sayısal ilişkiler geliştirmişlerdir. Wyss (1979), Şekil 3.3.5.1 de gösterilen sayısal ilişkileri geliştirmek için 90 adet depremin fay alanı ve magnitüd tahminlerini değerlendirmiştir. Wyss (1979) tarafından ele alınan fay alanları, deprem moment tahminleri ile artçışok alanlarından hesaplanmıştır. Wyss (1979) tarafından geliştirilen bu ilişki;

$M = \log A + 4.15$ şeklindedir. Burada M, deprem büyüklüğü; A ise km^2 cinsinden fay alanını göstermektedir.



Şekil 3.3.5.1. Fay alanı - magnitüd arasındaki ilişki (Wyss, 1979).

Singh vd. (1980), benzer bir ilişki ortaya koymuştur. Bonilla vd. (1984) 21 depremdeki regresyonları araştırmış ve artçışoklardan, makrosismisite aktivitesinden, deformasyon modellerinden, makrosismik modellerden fay genişliklerini tahmin etmişlerdir. Elde ettikleri sonuç Wyss (1979)'ın sonuçlarına oldukça benzerdir. Bu sonuca ait ilişki aşağıdaki şekildedir.

$$M = 0.823 \cdot \log A + 4.96$$

Deprem büyüklüğünün belirlenmesinde kullanılan fay alanı metodu, büyük potansiyel depremlere eşlik eden nadir derin sismojenik zona sahip alanlarda faydalıdır.

4. AZALIM İLİŞKİLERİ (SÖNÜM DENKLEMLERİ)

Bir deprem sırasında oluşan yer titreşimleri, deprem odağından çevreye yayılır ve etkinlikleri jeolojik koşullara bağlı olarak odaktan uzaklaştıkça genellikle azalır. Azalım ilişkileri, yer hareketi parametrelerinin odak noktasından uzaklaştıkça nasıl değişeceğini gösteren ve fiziki ölçmelere dayanan fonksiyonlardır. Bu ilişki genellikle “M” magnitudündeki bir depremin, “r” odak uzaklığındaki proje sahasında yaratacağı en büyük yer ivmesi “y” nin değerini veren bir fonksiyon şeklindedir ($y=f\{m,r\}$).

Herhangi bir noktada bir deprem kaynağında oluşan yer hareketinin proje sahasındaki amplitüdü bir azalım ilişkisi ile belirlenir. Azalım ilişkileri genel olarak aşağıdaki bağıntıda verilen formata uyarlanır;

$$\log y = a + bM + d \log \{R + c(M)\} + d'R + \varepsilon$$

Burada “y” yer hareketi parametresi, “M” deprem büyüklüğü, “ε” ise rastgele hata parametresidir. a, b, c, d katsayıları çoğu zaman ampirik verilerden elde edilir (EERI Committee on Seismic Risk, 1989). Maksimum yer ivmesi ve maksimum hız, yer hareketi parametreleridir ve çoğunlukla mühendisler tarafından sismik yüklerin ve salınım şiddetinin karakterize edilmesinde kullanılır. Sismik yükler, yüksek frekans aralığında maksimum yer ivmesinin ve orta frekans aralığında maksimum hızın dizayn spektrumuna oranlanması ile belirlenir. Maksimum ivme ve hız için oluşturulan birçok azalım ilişkisi geçmişli yıllarda ileri sürülmüş, ancak 1980’li yıllardan sonra ciddi bir şekilde ele alınmıştır.

Azalım ilişkilerinin ortaya konulmasında genellikle jeolojik yapının ve yer koşullarının değişik olduğu birkaç bölgeden toplanan verilerin kullanılması uygun olmaktadır. Öte yandan aynı bölgede meydana gelen depremler de değişik azalım özellikleri gösterebilir. Bunu açıklayan başlıca nedenler depremlerin oluşum mekanizmalarındaki farklılıklar ve sismik kaynak ile proje sahası arasındaki jeolojik birimlerin deprem dalgalarını yayma özelliklerindeki değişiklikleridir. Ayrıca deprem dalgalarının yayılması genellikle her yönde aynı şiddette olmadığından, depremlerin proje sahasına göre konumları da bu farklılığın bir başka nedenidir.

Sismik tehlike analizlerinde hangi azalım ilişkisinin kullanılacağı bir araştırma konusudur. Önemli olan proje sahasına uygulanacak en uygun

azalım ilişkisinin seçilmesidir. Eğer proje sahasını çevreleyen alan içerisinde bir azalım ilişkisi geliştirilmemişse sismotektonik açıdan proje sahasının özelliklerine benzer bölgeler için geliştirilmiş azalım ilişkileri kullanılmalıdır.

4.1. Deprem Tehlike Analizlerinde Kullanılan Çeşitli Azalım İlişkileri

4.1.1. Sabetta ve Pugliese (1987) Azalım İlişkisi

Sabetta ve Pugliese (1987), yapmış oldukları araştırmada, İtalya'daki kuvvetli yer hareketi dataalarını kullanarak ivme ve hız için azalım ilişkileri geliştirmişlerdir. Veri tabanları 1976'dan 1987'ye kadar olan ve magnitüdleri 4.6 ile 6.8 arasında değişen 17 depremi kapsamaktadır. Buna göre geliştirdikleri azalım ilişkileri;

$$\log A = (-1.562) + 0.306.M - \log (R^2 + 5.8^2)^{0.5} + 0.169.S$$

$$\log V = (-0.710) + 0.455.M - \log (R^2 + 3.6^2)^{0.5} + 0.133.S$$

şeklinde dir. Bu formüllerde A (g) cinsinden yatay yer ivmesini, V cm/s cinsinden yatay hızı, M magnitüdü, R km cinsinden fay kırığına olan en yakın uzaklığı ve S ise lokal jeolojiye bağlı ve 0 ile 1 arasında olan bir değişkeni temsil etmektedir. Araştırmacılar çalışmalarında fay uzaklığı yerine, odak uzaklığını kullanarak yüksek standart sapmaya sahip benzer azalım ilişkileri elde ettiklerini belirtmişlerdir. Ancak büyük magnitüd ve yakın uzaklıklar için beklenenden daha fazla değere sahip sonuçlar elde edildiğini de vurgulamışlardır.

4.1.2. Joyner ve Boore (1988) Azalım İlişkisi

Joyner ve Boore (1981), yaptıkları ilk çalışmalar ile maksimum yatay ivme ve hız için azalım ilişkileri geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sönüm denklemleri;

$$\log A = (-1.02) + 0.249.M - \log r - 0.00255.r + 0.26.P$$

$$r = (d^2 + 7.3^2)^{0.5} \quad 5.0 \leq M \leq 7.7$$

$$\log V = (-0.67) + 0.489.M - \log r - 0.00256.r + 0.17.S + 0.22.P$$

$$r = (d^2 + 4.0^2)^{0.5} \quad 5.3 \leq M \leq 7.4$$

şeklindedir. Bu formüllerde A (g) cinsinden maksimum yatay yer ivmesi, V cm/s cinsinden maksimum yatay hız, M moment magnitüdü, d km cinsinden fay kırığına olan en yakın uzaklık, S kaya birimleri için 0, zemin birimleri için 1 olarak alınan değişken ve P ise yine 0 ile 1 arasında değişen ve yer hareketi kayıtlarına bağlı olan bir başka değişkendir.

Joyner ve Boore (1988), daha önce yaptıkları çalışmaları geliştirerek yeni azalım ilişkileri ortaya koymuşlardır. Araştırmacıların buldukları azalım ilişkisi;

$$\log A = 0.43 + 0.23.(M-6) - \log r - 0.0027.r$$

şeklindedir. Bu sönüm denkleminde A maksimum yatay yer ivmesi (birimi g), M magnitüd, r ise km cinsinden episantır uzaklığıdır. Sismik tehlike analizlerinde yaygın olarak kullanılan bu ilişki San Andreas Fayı'na ait olan verilerden elde edilmiştir.

4.1.3. Campbell (1988) Azalım İlişkisi

Campbell (1981), yapmış olduğu çalışmada, kırılma zonuna 50 km uzaklıktaki kuvvetli yer hareketi verilerini kullanarak magnitüdü 5.0 ile 7.7 arasında olan dünya çapındaki tüm depremlerin kaynak azalım karakteristiklerini incelemiştir. Araştırmacının veri tabanını, 15 Ekim 1979 tarihli Imperial Vadisi depremini de içeren 229 adet yatay bileşeni olan maksimum ivme kaydına sahip 27 deprem oluşturmaktadır. Bu veriler yardımıyla aşağıdaki ilişki geliştirilmiştir.

$$\text{Maksimum yer ivmesi (MYİ)} = a \cdot \exp(b.M) \cdot [R + c.(M)]^d$$

Bu formülde maksimum yer ivmesi, her kaydın iki yatay bileşeninden elde edilen maksimum değerlerin ortalaması ile temsil edilir. M Richter magnitüdü ve R ise fay zonuna olan uzaklıktır.

Campbell (1988), daha önceden yapmış olduğu çalışmaları temel alarak San Andreas Fayı'na ait verileri kullanmış ve yeni bir azalım ilişkisi geliştirmiştir. Geliştirilen bu yeni sönüm denklemi ise;

$$\ln A = (-3.303) + 0.85.M - 1.25.\ln(r + 0.0872.e^{0.678.M}) + 0.0059.r$$

şeklinde. Bu denklemde A maksimum yatay yer ivmesini (birimi g), M magnitüdü, r ise km cinsinden episantır uzaklığını göstermektedir.

4.1.4. Fukushima ve Tanaka (1990) Azalım İlişkisi

Aktif bir deprem bölgesi olan Japonya için de çeşitli azalım ilişkileri belirlenmiştir. Bunlardan bir tanesi Fukushima ve Tanaka (1990) tarafından ortaya konmuştur. Araştırmacılar sönüm denkleminin oluşturulmasında Japonya'dan 28, Amerika'dan ve diğer ülkelerden ise 15 depreme ait toplam 1372 adet maksimum yer ivmesinin yatay bileşeninden faydalanmışlardır. Japonya için daha önceleri yapılmış olan çalışmalarda bulunan artan uzaklık ile azalan ivmelere ilişkin katsayılar, bu çalışma ile belirlenen ve farklı depremlerin analizi sonucu elde edilen değerlerden küçüktür. Fukushima ve Tanaka'nın (1990) çalışmaları neticesinde ortaya konan azalım ilişkisi;

$$\log A = 0.41.M - \log_{10}(R + 0.032.10^{0.41.M}) - 0.0034.R + 1.30$$

şeklinde. Bu ilişkide A iki yatay bileşenden elde edilen maksimum ivmenin ortalaması (cm/s^2), R proje sahası ile fay kırığı arasındaki en kısa uzaklık (km) ve M ise yüzey dalgası magnitüdüdür. Aynı zamanda bu çalışmada dört farklı jeolojik ortam koşulunun (sert kayaç, orta sert kayaç, yumuşak kayaç ve zemin) azalım ilişkisine etkisi de araştırılmıştır. Buna göre kaya ve yumuşak zeminler için yukarıdaki sönüm denkleminde bulunabilecek ortalama maksimum yatay yer ivmesi değerleri 0.1 ile 1.4 arasında değişmektedir. Diğer azalım ilişkileri ile bu azalım ilişkisi arasındaki ivme değerlerinin ölçeğindeki farklılık, jeolojik koşullardan ve değişik ivme ölçek kullanımından kaynaklanmaktadır.

4.1.5. İnan vd. (1996) Azalım İlişkisi

Önemli bir deprem kuşağında olan Türkiye için azalım ilişkilerinin belirlenmesine yönelik çok fazla araştırma olmamakla birlikte, İnan vd. (1996) tarafından geliştirilmiş olan bir sönüm denklemi bulunmaktadır. Bu ilişkinin ortaya çıkarılmasında Türkiye'deki aletsel dönemde kaydedilmiş olan deprem kayıtlarından elde edilen veriler kullanılmıştır. İnan vd. (1996) tarafından geliştirilmiş azalım ilişkisi;

$$\log A = 0.65.M - 0.9.\log r - 0.44$$

şeklinde. Bu ilişkide A maksimum yatay yer ivmesini, M magnitudü, r ise km cinsinden episantır uzaklığını göstermektedir.

4.1.6. Azalım İlişkilerinin Değerlendirilmesi

Uluslararası alanda yapılmış çalışmalar sonucu ortaya çıkarılan azalım ilişkilerinin birbirleriyle karşılaştırılması ve değerlendirme yapılması amacıyla $M=7.0$, $r=40$ km ve $M=7.9$, $r=20$ km değerleri için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Buna göre $M=7.0$ maksimum deprem büyüklüğü ve $r=40$ km uzaklık değerleri için maksimum yatay yer ivmesi değerleri Sabetta ve Pugliese (1987) sönüm denkleminde 0.093g; Joyner ve Boore (1988) sönüm denkleminde 0.089g, Campbell (1988) sönüm denkleminde 0.14g, Fukushima ve Tanaka (1990) sönüm denkleminde 0.15g ve İnan vd. (1996) sönüm denkleminde 0.47g olarak hesaplanmıştır.

$M=7.9$ maksimum deprem büyüklüğü ve $r=20$ km uzaklık değerleri için ise maksimum yatay yer ivmesi değerleri Sabetta ve Pugliese (1987) sönüm denkleminde 0.34g; Joyner ve Boore (1988) sönüm denkleminde 0.33g, Campbell (1988) sönüm denkleminde 0.36g, Fukushima ve Tanaka (1990) sönüm denkleminde 0.4g ve İnan vd. (1996) sönüm denkleminde 3.4g olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bu değerler incelendiğinde her iki uzaklık ve maksimum deprem büyüklüğü parametresine göre Sabetta ve Pugliese (1987), Joyner ve Boore (1988) ve Campbell (1988) azalım ilişkileri yaklaşık olarak aynı değeri vermektedirler ve bulunan sonuçlar kabul edilebilir ölçüdedir. Öte yandan Fukushima ve Tanaka (1990) azalım ilişkisi ile elde edilen maksimum yatay yer ivme değerleri diğer ilişkilerden bulunanlara oranla daha yüksektir. Çünkü bu sönüm denkleminde bulunabilecek ortalama maksimum yatay yer ivmesi değerleri 0.1 ile 1.4 arasında değişmektedir. İnan vd. (1996)'nın azalım ilişkisi ise diğer ilişkilere oranla çok daha yüksek ivme değerleri sunmakta, bu nedenle güvenilirliği konusunda şüpheler doğurmaktadır. Hatta $M=7.9$ ve $r=20$ km için saptanan 3.4g yatay yer ivmesi değeri kabul edilemez bir sonuçtur.

5. ÇALIŞMADA KULLANILAN MODEL

Türkiye'nin deterministik yöntem ile sismik tehlike analizinin yapılması, bu tez çalışmasının ana hedefini oluşturmaktadır. Çeşitli aşamalardan oluşan bu model çalışmasında; Türkiye'deki aktif fay hatlarının türetebileceği maksimum deprem büyüklüklerine göre elde edilen yatay yer ivmesi değerleri, yazılan TUMDES adlı bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmış ve Türkiye için hazırlanmış yatay yer ivmesi haritaları ortaya konmuştur.

5.1. Kullanılan Program

TUMDES adlı bilgisayar programı, Türkiye'nin deterministik yöntemle sismik tehlike analizinin ve yatay yer ivmesi değer hesabının yapılması amacıyla yazılmıştır. Program yazımında, en temel yazılım dillerinden biri olan QBASIC programlama dili kullanılmıştır. Programa ait kaynak kodu Ek-1'de verilmiştir. Program başlıca 2 aşamadan oluşmaktadır.

- a) Veri girişi ve veriler üzerinde her türlü düzenlemenin yapıldığı bölüm
- b) Verilere dayalı hesaplamaların yapıldığı bölüm

ve yazılan programdan elde edilen verilerden sonra uygulanan diğer aşamalar:

- i- Maksimum yatay yer ivmesi verileri kullanılarak konturlamanın yapıldığı başka bir program (SURFER 6.0)
- ii- Yatay yer ivmesi haritalarının oluşturulduğu bölüm

Programın ilk aşamasını oluşturan veri düzenlemesi bölümü, programın hesaplama kısmında kullanılacak verilerle ilgilidir. Bu aşamada yeni veri girişi, listelenmesi, düzeltilmesi, eklenmesi veya silinmesi gibi işlemler yapılabilmekte, böylece programın güncelleştirilmesine imkan sağlanmaktadır. Buna ait örnek bir input ve output dosya sistemi Ek 2 ve Ek 3'te verilmiştir.

Programın ikinci ve önemli aşamasını oluşturan hesaplama kısmı ise, esas amaç olan yatay yer ivmesi değerlerinin azalım ilişkileri kullanılarak bulunmasını sağlar. Bu aşamada oluşturulan veri dosyalarındaki tüm veriler değerlendirilir ve sonuçlar elde edilir.

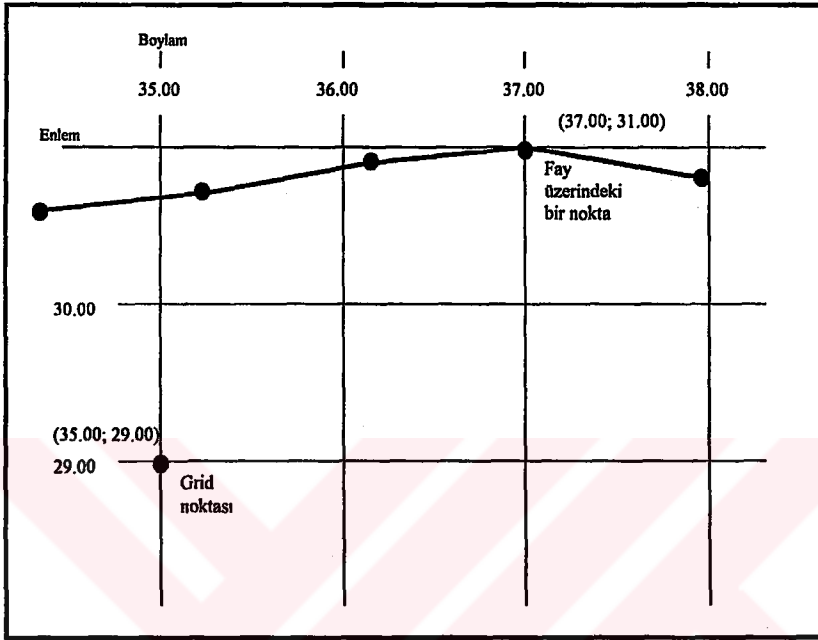
Yazılan programdan hesaplanan maksimum yatay yer ivmesi verilerine, SURFER 6.0 programı kullanılarak konturlama işlemi uygulanmakta ve eş ivme eğrileri elde edilmektedir.

Son aşama ise Türkiye için yatay yer ivmesi haritalarının oluşturulması kısmıdır ve burada elde edilen eş ivme eğrileri ile Türkiye koordinatları çakıştırılmak suretiyle sismik tehlike haritaları ortaya çıkarılır. Bu çakıştırmalar yapılırken kullanılan yazılım ise FREEHAND 9.0 versiyonlu çizim programıdır.

5.2. Fayların Çoklu Noktalarla İfadesi

Yazılımda kullanılmak üzere belirlenen fay sistemleri, ARCINFO ortamında sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayara aktarılan fay sistemleri doğru parçacıklarına ayrılarak, her doğru parçacığına ait başlangıç ve bitiş noktalarının koordinatları enlem ve boylam cinsinden belirlenmiştir.

Bu işlemden sonra her doğru parçacığının başlangıç ve bitiş noktaları arasında 50 adet nokta saptanmış ve faylar nokta sistemine dönüştürülmüştür. Örneğin buna göre, Kuzey Anadolu Fayı 12 adet doğru parçasına karşılık yaklaşık 600 adet noktadan oluşmaktadır. Tüm faylara ait noktalar ayrı bir veri dosyası olarak düzenlenmiştir. Buna göre bu veri dosyasında programda kullanılacak olan aktif faylara ait 7927 adet noktanın koordinatları bulunmaktadır. Noktaların hazırlanmış olan programdaki ana görevi, grid noktaları ile fay arasındaki uzaklığın bulunmasında yardımcı olmaktır (Şekil 5.2.1).



Şekil 5.2.1. Model programda noktalarla ifade edilen faylar.

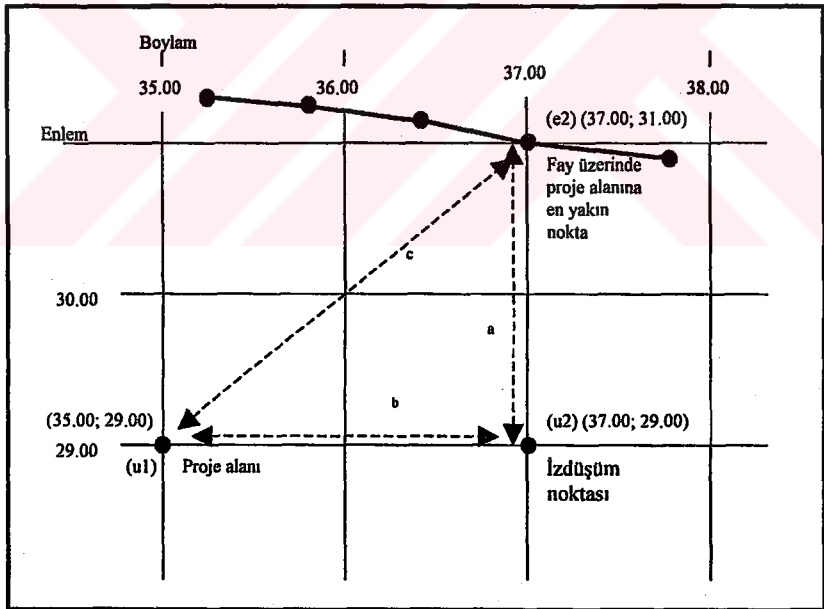
5.3. Fay Uzaklığının Hesaplanması

Deterministik yöntemle Türkiye'nin sismik tehlike analizini yapacak olan bu bilgisayar programında Türkiye, 26 – 45 derece doğu boylamları ve 36 – 42 derece kuzey enlemleri arasında 0.2 derecelik aralıklarla grid sistemine bölünmüştür ve toplam 2976 adet grid noktası bulunmaktadır. Program içeriğinde yapılacak tüm hesaplamalarda ve sonuçta ortaya çıkacak olan sismik tehlike haritasında bu grid noktaları esas alınmıştır. 0.2 derecelik aralıklarla bölünme sonucunda elde edilen bu grid sistemine ait noktalar için bir veri dosyası oluşturulmuştur.

Yazılımda ilk ve en önemli kısımlardan bir tanesi, grid noktaları ile fay noktaları arasındaki uzaklığın bulunmasıdır. Çünkü herhangi bir proje sahasında deprem sonrasında oluşacak maksimum yatay yer ivmesi uzaklığa bağlıdır ve uzaklığın artmasıyla azalmaktadır.

Hazırlanan model program (TUMDES), proje alanı olarak kabul edilen herbir grid noktası çevresindeki tüm fay sistemlerini taramakta ve taranan tüm bu faylara olan uzaklıkları (kilometre cinsinden) belirlemektedir. Söz konusu uzaklık hesaplamalarında, grid noktasına 10 kilometreden daha yakın olarak belirlenen faylar 10 kilometre olarak azalım ilişkilerinde hesaba katılmış; 250 kilometreden daha uzak olarak belirlenen faylar ise değerlendirmeye alınmamıştır. Bunun nedeni faya 10 kilometreden daha az veya 250 kilometreden daha fazla olan uzaklıkların azalım ilişkilerinde kullanılması durumunda elde edilen yatay yer ivmesi sonuçlarının hatalı olabileceğidir.

Grid noktaları ile fay noktaları arasındaki uzaklığın bulunması sırasında grid noktaları ile faylara ait noktaların koordinatları kullanılmıştır. Örneğin herhangi bir grid noktası “u1” ve faya ait bir nokta da “e2” olarak adlandırıldığında, “u1” ve “e2” arasındaki uzaklığın bulunmasında analitik işlemlerden faydalanılmıştır (Şekil 5.3.1).



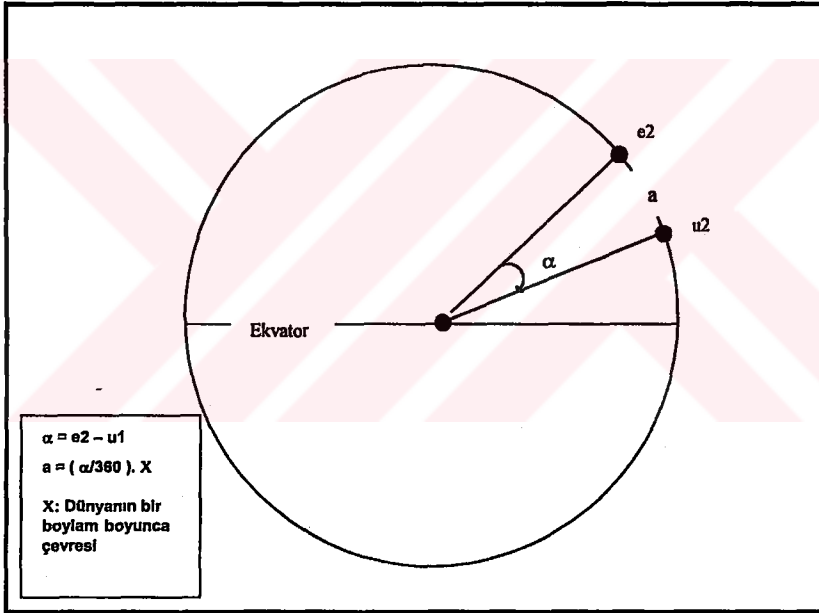
Şekil 5.3.1. Model programda grid noktası ile faya ait nokta arasındaki uzaklığın bulunması.

Şekil 5.3.1'deki (e2) ve (u2) arasındaki "a" uzaklığının bulunması sırasında, (e2) ve (u2) noktaları aynı boylam üzerindeki iki nokta olarak ele alınmış, dünyanın bir boylam boyunca çevresinin (X) 40.009 km olduğu yaklaşıma göre (Bilgin, 1987), (a) uzaklığı aşağıdaki formülden belirlenmiştir;

$$\alpha = e2 - u1$$

$$a = (\alpha / 360) \cdot X$$

Yukarıdaki formülde (α)nın bulunması sırasında, boylam değerleri aynı olan bu noktaların, derece cinsinden olan enlem değerlerinin arasındaki fark alınmıştır (Şekil 5.3.2).



Şekil 5.3.2. Model programda "e2" ve "u2" noktaları arasındaki uzaklığın (a) bulunması

Şekil 5.3.1'deki (u1) ve (u2) noktaları arasındaki "b" uzaklığı ise dünyanın ekvatordaki yarıçapının da kullanıldığı analitik işlemler yardımıyla hesaplanmıştır. Söz konusu şekilde (u1) ve (u2) noktaları aynı enlem (29.00°) üzerinde bulunmaktadır. (u2) noktası, (e2) ile aynı boylam üzerinde

bulunan bir izdüşüm noktasıdır. Buna göre (u1) ve (u2) arasındaki (b) uzaklığı ise aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

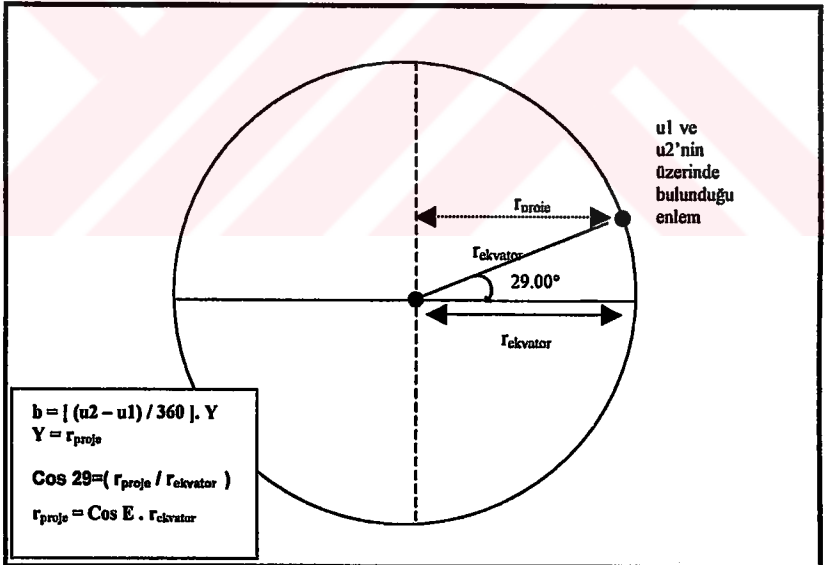
$$b = [(u2 - u1) / 360] \cdot Y$$

Formüldeki “Y” değerinin belirlenmesi için ekvatorun yarıçapı ($r_{\text{ekvator}} = 6372 \text{ km}$) ile dünyanın merkezinden geçtiği kabul edilen doğru ile (u2) noktası arasındaki uzaklık (r_{proje}) trigonometrik ilişki ele alınmıştır. Bu ilişkide;

$$\cos 29 = (r_{\text{proje}} / r_{\text{ekvator}})$$

$$r_{\text{proje}} = \cos E \cdot r_{\text{ekvator}}$$

Bu formülden bulunan sonuç (Y) değerini vermektedir ve elde edilen değer (b) nin hesabı için gerekli olan yukarıdaki formülden yerine konduğunda (b) uzaklığı da hesaplanmıştır (Şekil 5.3.3).



Şekil 5.3.3. Model programda “u1” ve “u2” noktaları arasındaki uzaklığın (b) bulunması

Formüllerden bulunan (a) ve (b) değerleri ile, programda yatay yer ivmesinin hesabında kullanılan uzaklık olan (u1) ve (e2) noktaları arasındaki (c) uzaklığı;

$$c^2 = a^2 + b^2$$

ilişkisinden elde edilmiştir. Bulunan sonuç kilometre cinsindendir. Tüm bu hesaplamaların yapılmasındaki amaç, deterministik analizde önemli bir parametre olan uzaklığın hassas ve gerçekçi bir şekilde bulunması ve dünyanın küreselliğinden kaynaklanan etkilerin hesaba katılmasıdır.

5.4. Azalım İlişkilerinin Programda Kullanılması

Deterministik sismik tehlike analizlerinde, uzaklık ve maksimum deprem büyüklüğü kullanılarak maksimum yatay yer ivmesinin belirlenebilmesi için azalım ilişkilerinin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle hazırlanmış olan model programda, tüm grid noktaları ile fay noktaları arasındaki uzaklıklar hesaplandıktan sonra, her bir grid noktası için elde edilmiş uzaklık verileri ile uzaklık hesaplaması yapılmış olan fayın 1/3 uzunluğu boyunca kırıldığı kabulüne göre, Bonilla (1984) tarafından önerilen formülünden hesaplanan faylara ait maksimum deprem büyüklüğü verileri bir sönüm denkleminde kullanılmakta ve böylece bir grid noktası için çok sayıda maksimum yatay yer ivmesi (a_{max}) değerleri bulunmaktadır.

5.5. Maksimum İvme Değerlerinin Hesaplanması

Model program, her grid noktası için azalım ilişkisini kullanarak maksimum yer ivmelerini hesaplamakta ve ortaya çıkan bu değerler arasında karşılaştırma yaparak en büyük yatay yer ivmesi (a_{max}) değerini belirlemektedir. Elde edilen bu değer, o grid noktasına ait maksimum yatay yer ivmesi değeri olarak kaydedilmektedir.

5.6. Eş-İvme Haritalarının Elde Edilmesi

Uzaklık ve 1/3 yüzey kırığı uzunluğuna göre belirlenmiş maksimum magnitüd verileri, 5 farklı sönüm denkleminde ayrı ayrı ve fay karakterleri gözönüne alınarak fay karakterine uygun sönüm denkleminin kullanılmasıyla, tüm grid noktalarında yatay yer ivmesi (a_{max}) değerleri farklı yaklaşımlar sonucunda belirlenmiştir. Elde edilen bu ivme değerleri

SURFER 6.0 programına aktarılmış ve her senaryo için ayrı ayrı konturlanması sonucunda, Türkiye'ye ait yatay yer ivmesi haritaları oluşturulmuştur.

6. MODELİN TÜRKİYE'YE UYGULANMASI

6.1. Modelde Kullanılan Aktif Fayların Belirlenmesi

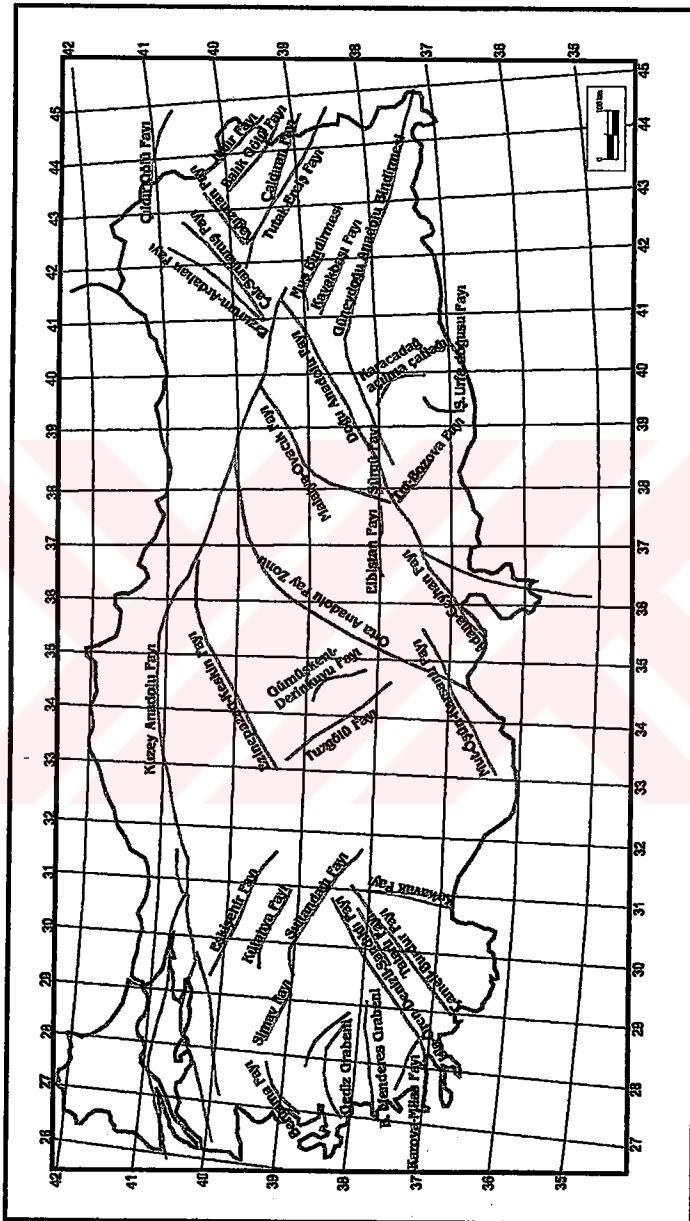
Hazırlanmış olan model programın Türkiye'ye uygulanabilmesi amacıyla, öncelikle Türkiye'de deprem üretebilecek aktif fay hatları belirlenmiştir. Aktif fayların ortaya konulmasında Türkiye Diri Fay Haritası'ndan (Şaroğlu vd., 1992), Yaltırak vd. (1998) ile Koçyiğit ve Beyhan (1998)'in çalışmalarından ve konu ile ilgili uzmanların görüşlerinden (Seyitoğlu, Tekeli, Şaroğlu, Demirtaş, 1999 sözlü görüşme) yararlanılmıştır.

Türkiye için daha önceki yıllarda yapılan sismik tehlike analiz çalışmalarında; Tuzgözü Fayı, Eskişehir Fayı ve Orta Anadolu Fay Kuşağı gibi faylar değerlendirmeye alınmamıştır. Oysa adı geçen faylar Türkiye'nin önemli aktif fay sistemlerindendir. Türkiye için daha gerçekçi bir sismik tehlike analizi yapılmak istenirse bu faylar mutlaka gözönüne alınmalıdır. Bu nedenle, ilk defa bu tez çalışması kapsamında yukarıda bahsedilen faylar Koçyiğit ve Beyhan (1998) ve Yaltırak vd. (1998) haritalarından faydalanılarak analizlerde kullanılmıştır.

Türkiye'nin aktif faylarının belirlenmesinin ardından birbirine yakın ve ilişkili oldukları düşünülen faylar birleştirilerek ana fay zonları çizilmiştir (Seyitoğlu, Tekeli, Şaroğlu, Demirtaş, 1999 sözlü görüşme). Buna göre bu çalışmada 38 adet aktif fay sistemi belirlenmiş ve kullanılmıştır (Şekil 6.1.1). Buna göre bu model çalışmasında kullanılan Türkiye'deki aktif faylar aşağıdaki şekildedir;

1. Kuzey Anadolu Fayı
2. Doğu Anadolu Fayı
3. Karataş-Osmaniye Fay Zonu
4. Güneydoğu Anadolu Bindirmesi
5. Eskişehir Fayı
6. Kütahya Fayı
7. Zeytinadağ-Bergama
8. Simav Fay Zonu
9. Sultandağı Fayı
10. Gediz Grabeni (üst kolu)
11. Gediz Grabeni (alt kolu)
12. Büyük Menderes Grabeni
13. Karova-Milas Fay Zonu

14. Ula-Ören-Denizli-Sandıklı Fay Zonu
15. Tatarlı (Dinar) Fayı
16. Çameli-Burdur Fayı
17. Kırkkavak Fayı
18. Ezinepazarı-Keskin Fayı
19. Tuzgözü Fayı
20. Gümüşkent-Derinkuyu Fayı
21. Orta Anadolu Fayı (Erciyes- Ecemiş)
22. Mut-Öşün-Karsantı Fayı
23. Malatya-Ovacık Fayı
24. Elbistan Fayı
25. Sürgü Fayı
26. Şanlıurfa Fayı
27. Karacadağ Açılma Çatlağı
28. Tut-Bozova Fayı
29. Kavakbaşı Fayı
30. Muş Bindirmesi
31. Erzurum-Ardahan arası Fay Zonu
32. Çat-Sarıkamış arası Fay Zonu
33. Çıldır Gölü Fayı
34. Iğdır Fayı
35. Balık Gölü Fayı
36. Çaldıran Fayı
37. Tutak-Erciş Fayı
38. Kağızman Fayı



6.2. Aktif Faylara Ait Maksimum Magnitüdün Belirlenmesi

Çalışma kapsamında ele alınan 38 adet faya ait fay uzunlukları, ölçekli diri fay haritası üzerinden hassas olarak ölçülerek tesbit edilmiştir. Fay uzunluklarının ölçülmesindeki amaç, o fayın türetebileceği maksimum deprem büyüklüğünün belirlenmesidir. Yapılmış olan birçok uluslararası çalışmada, deprem büyüklüğü ile fay karakteristikleri arasında ilişkiler olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada bir fayın türetebileceği maksimum deprem ile fay kırığı uzunluğu arasındaki ilişkiden faydalanılmış ve sismik tehlike analizi için gerekli olan, bir faya ait maksimum deprem büyüklüğü Bölüm 3.3.4'de bahsedilen Bonilla (1984) tarafından önerilen ilişkiden hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, fay kırığı uzunluğunun $1/3$ 'ü yüzey kırığı uzunluğu (L) olarak dikkate alınmıştır.

Buna göre çalışmada kullanılmış olan fay sistemlerinin uzunlukları, $1/3$ yüzey kırığı uzunluğundaki maksimum deprem büyüklükleri ve fay tipleri Tablo 6.2.1'de sunulmuştur.

Tablo 6.2.1. Tez çalışmasında kullanılan Türkiye'deki aktif fay sistemlerinin uzunlukları, tipleri ve $1/3$ yüzey kırığı uzunluğundaki maksimum deprem büyüklükleri.

Fay Adı	Fay Uzunluğu (km)	Fay Tipi*	Referans No**	$1/3$ yüzey kırığı uzunluğu için maks. magnitüd
Kuzey Anadolu Fayı	1400	DA	1	7.9
Doğu Anadolu Fayı	760	DA	1	7.7
Karataş-Osmaniye Fay Zonu	170	DA	1	7.3
Güneydoğu Anadolu Bindirmesi	700	T	1	7.7
Eskişehir Fayı	200	N	3	7.3
Kütahya Fayı	150	N	1	7.2
Zeytinadağ-Bergama Fay Zonu	120	DA	1	7.2
Simav Fay Zonu	85	N	4	7.1
Sultandağı Fayı	210	N	1	7.3
Gediz Grabeni (üst kolu)	120	N	1	7.2
Gediz Grabeni (alt kolu)	185	N	1	7.3
Büyük Menderes Grabeni	160	N	1	7.3
Karova-Milas Fay Zonu	90	N	1	7.1

Tablo 6.2.1. Devamı

Ula-Ören-Denizli-Sandıklı Fay Zonu	310	N	1	7.5
Tatarlı (Dinar) Fayı	100	DA	1	7.1
Çameli-Burdur Fayı	260	DA	1	7.4
Kırkkavak Fayı	80	N	2	7.0
Ezinepazarı-Keskin Fayı	380	DA	1	7.5
Tuzgözü Fayı	185	N	5	7.3
Gümüşkent-Derinkuyu Fayı	100	N	1	7.1
Orta Anadolu Fayı (Erciyes-Ecemiş)	460	DA	1	7.6
Mut-Öşün-Karsantı Fayı	240	DA	1	7.4
Malatya-Ovacık Fayı	300	DA	1	7.5
Elbistan Fayı	70	DA	1	7.0
Sürgü Fayı	40	DA	1	6.8
Şanlıurfa Fayı	75	N	1	7.0
Karacadağ Açılma Çatlağı	85	N	1	7.1
Tut-Bozova Fayı	90	DA	1	7.1
Kavakbaşı Fayı	90	T	1	7.1
Muş Bindirmesi	85	T	1	7.1
Erzurum-Ardahan arası Fay Zonu	180	DA	1	7.3
Çat-Sarıkamış arası Fay Zonu	160	DA	1	7.3
Çıldır Gölü Fayı	150	DA	1	7.2
İğdir Fayı	130	DA	1	7.2
Balık Gölü Fayı	140	DA	1	7.2
Çaldıran Fayı	130	DA	1	7.2
Tutak-Erciş Fayı	250	DA	1	7.4
Kağızman Fayı	90	DA	1	7.1

***DA: Doğrultu atımlı fay / T: Ters fay / N: Normal fay**

- ****
- 1 Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ., 1992
 - 2 Glover ve Robertson, 1998
 - 3 Şengör, 1987
 - 4 Seyitoğlu, 1997
 - 5 Çemen et al., 1999

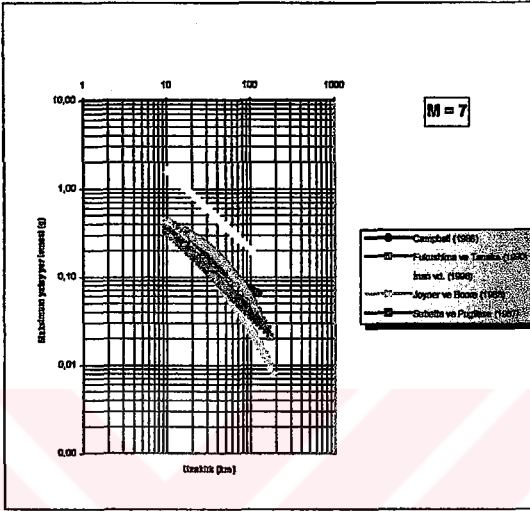
6.3. Azalım İlişkilerinin Uygulanması

Model çalışmasının Türkiye'ye uygulanması için hazırlanmış olan programda, bulunan uzaklık ve maksimum deprem büyüklüğü verileri beş ayrı azalım ilişkisinde ayrı ayrı kullanılmıştır. Bunların sonucunda her azalım ilişkisi için farklı maksimum yatay yer ivmesi değerleri elde

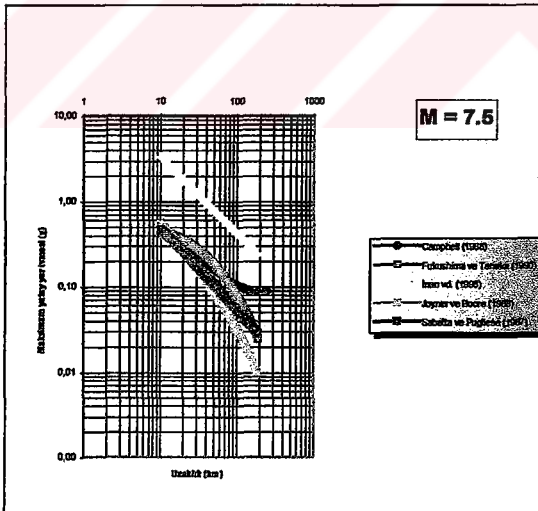
edilmiştir. Programda; Joyner ve Boore (1988), Sabetta ve Pugliese (1987), Campbell (1988), Fukushima ve Tanaka (1990) ve İnan vd. (1996) sönüm denklemleri ile ivme hesaplamaları yapılmıştır.

Sismik tehlike analizlerinde en önemli olan noktalardan biri de tehlike analizi yapılacak bölge için uygun azalım ilişkisini seçmektir. Çünkü her azalım ilişkisi farklı özellikteki sismotektonik bölgelere aittir. Bu çalışmanın ana konusunu oluşturan deterministik yaklaşımla Türkiye'nin sismik tehlike analizinin gerçekleştirilmesi sırasında kullanılan Joyner ve Boore (1988) ve Campbell (1988) tarafından ortaya konmuş azalım ilişkileri San Andreas Fayı için geliştirilmiştir ve sözkonusu fay Türkiye'deki ana kırık sistemlerinden en önemlisi olan Kuzey Anadolu Fayı ile büyük benzerlik göstermektedir. Öte yandan Sabetta ve Pugliese (1987) tarafından ortaya konan ilişki ise İtalya ve çevresinde meydana gelmiş depremlerden türetilmiştir. Batı Anadolu ile İtalya'nın tektonik açıdan benzer karakterli yay ardı açılma mekanizmasına sahip olması nedeniyle Sabetta ve Pugliese (1987)'nin oluşturdıkları azalım ilişkisi de bu çalışmada kullanılmıştır. Fukushima ve Tanaka'ya (1990) ait olan sönüm denklemi ise orta - büyük magnitüdü depremlerde olumlu sonuç vermektedir ve bu nedenle diğer sönüm denklemlerine ait sonuçlar arasında karşılaştırma yapabilmek amacıyla çalışmada kullanılmıştır. İnan vd. (1996) azalım ilişkisi ise Türkiye'ye ait verilerden elde edilmiş olması itibarıyla model çalışmada gözönünde bulundurulmuştur.

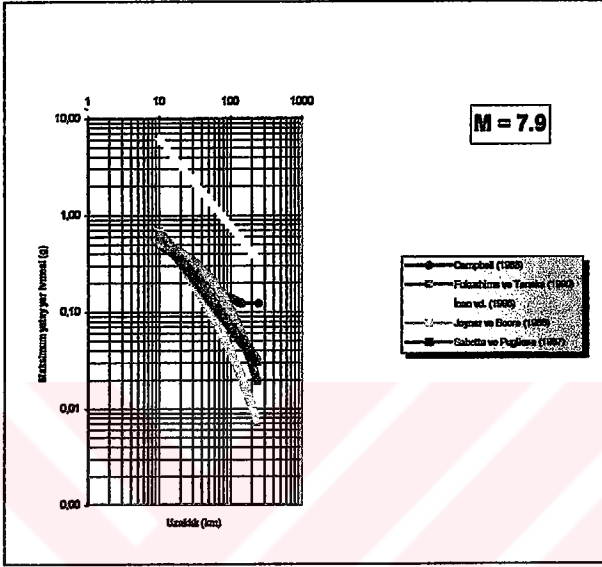
Ayrıca elde edilen verilerden, her biri ayrı olarak üç farklı deprem büyüklüğüne ait değerler ve bunlara ait azalım ilişkileri, ilgili grafiklerin yer aldığı Şekil 6.3.1, Şekil 6.3.2 ve Şekil 6.3.3'de karşılaştırılmıştır. Bu grafiklerde uzaklığa karşılık maksimum yatay yer ivmesi değerleri, 5 ayrı azalım ilişkisi için değerlendirilmiştir. Şekil 6.3.1'de 7 magnitüdüne göre İnan vd. (1996)'ne ait değerler haricinde, diğer 4 azalım ilişkisinde uzaklık arttıkça ivme değerlerinin düştüğü gözlenmektedir. Buna karşılık İnan vd. (1996)'ne ait verilerde farklı olarak, uzaklık arttıkça ivme değerlerinin düştüğü söz konusu ise de, maksimum yatay yer ivmesi değerlerinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum 7.5 ve 7.9 magnitüd değerleri için de aynı olup, diğer şekillerde de benzer şekliyle yorumlamak mümkündür.



Şekil 6.3.1. Azalım ilişkileri karşılaştırmalı grafiği ($M=7.0$ için).



Şekil 6.3.2. Azalım ilişkileri karşılaştırmalı grafiği ($M=7.5$ için).



Şekil 6.3.3. Azalım ilişkileri karşılaştırmalı grafiği (M=7.9 için).

6.4. Modelle Ortaya Konan Bulgular

Yapılan bu çalışma sonucunda, model program ile hesaplanan maksimum yatay yer ivmeleri ile Türkiye'ye ait sismik tehlike haritaları hazırlanmıştır. 5 adet azalım ilişkisinin ayrı ayrı kullanılmasıyla 5 ve fay tipleri gözönüne alınarak fay tipine uygun azalım ilişkisinin kullanılmasıyla da 1 adet olmak üzere toplam 6 adet eş-ivme haritası ortaya çıkartılmıştır. Daha sonra bu eş-ivme haritaları model faylarla karşılaştırılarak değerlendirme yapılmıştır.

Buna göre Sabetta ve Pugliese (1987) sönüm denklemi ve yüzey kırığı oranının 1/3 olması durumunda elde edilen eş-ivme haritası Şekil 6.4.1'de verilmiştir. Söz konusu haritada en düşük yatay yer ivmesi değeri 0.05g, en yüksek yatay yer ivmesi değeri ise 0.60g olarak belirlenmiştir. Bu harita üzerindeki maksimum yatay yer ivmesi değerlerinin (0.60g) Türkiye'nin ana kırık sistemleri olan Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı boyunca

yeraldığı görülmüştür. Öte yandan daha farklı bir tektonik rejime sahip olan Batı Anadolu horst-graben sisteminde ise elde edilmiş olan maksimum yatay yer ivmesi 0.40g'dir. Depremselliğin fazla olmadığı Orta Anadolu bölgesinde ise yatay yer ivmesi değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir.

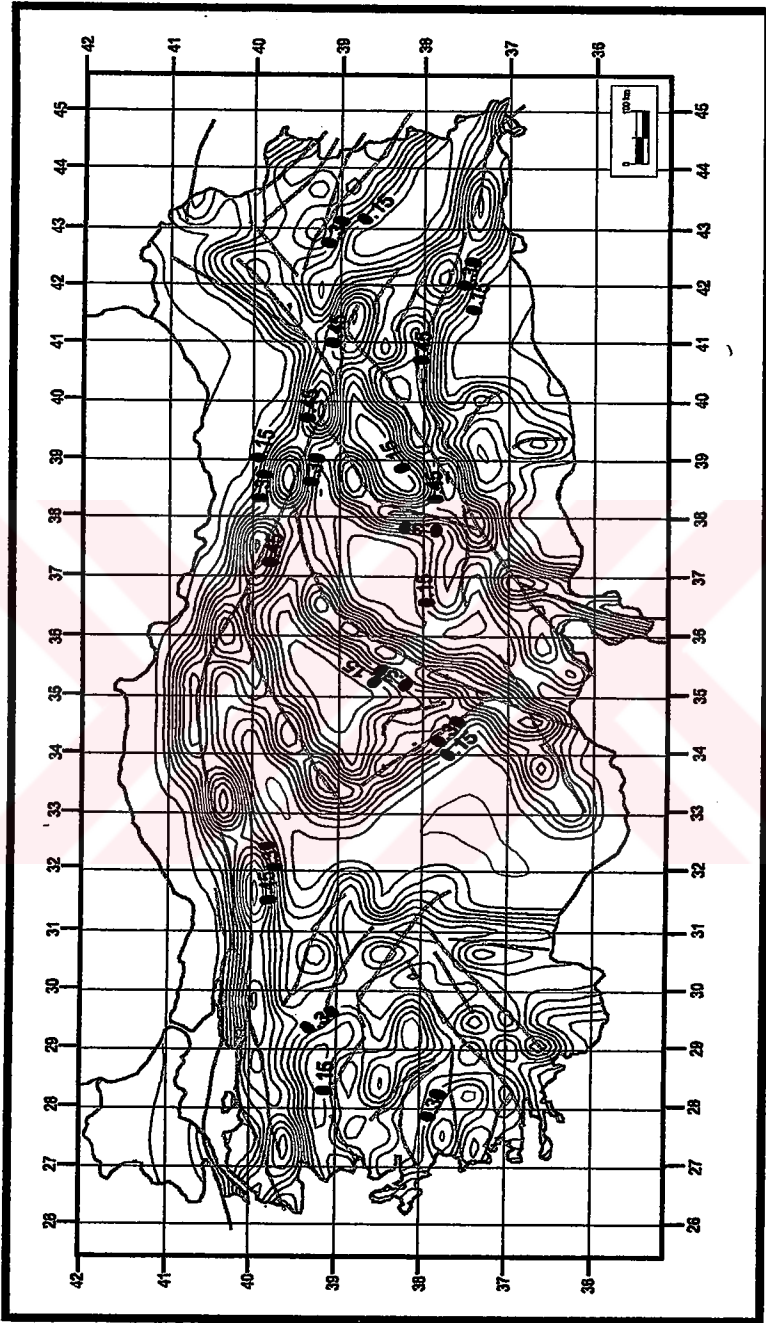
Campbell (1988) sönüm denklemi ve yüzey kırığı oranının 1/3 olması durumunda elde edilen eş-ivme haritası Şekil 6.4.2'de verilmiştir. Söz konusu haritada en düşük yatay yer ivmesi değerinin 0.10g, en yüksek yatay yer ivmesi değerinin ise 0.48g olduğu görülmektedir. Bu harita üzerinde maksimum yatay yer ivmesi değerleri yine Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı ve Batı Anadolu horst-graben sistemi boyunca'dır. Burada dikkati çeken en önemli husus iki farklı fay sisteminin (KAF ve Batı Anadolu) yakın değerlere sahip olmasıdır.

Joyner ve Boore (1988) sönüm denklemi ve yüzey kırığı oranının 1/3 olması durumunda elde edilen eş-ivme haritası Şekil 6.4.3'de verilmiştir. Söz konusu haritada en düşük yatay yer ivmesi değeri 0.05g, en yüksek yatay yer ivmesi değeri ise 0.65g olarak saptanmıştır. Bu haritada maksimum yatay yer ivme değerleri Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı, Orta Anadolu Fayı ve Güneydoğu Anadolu Bindirmesi boyunca yoğunlaşmıştır. En düşük ivme değerlerine ise Konya civarında rastlanmaktadır.

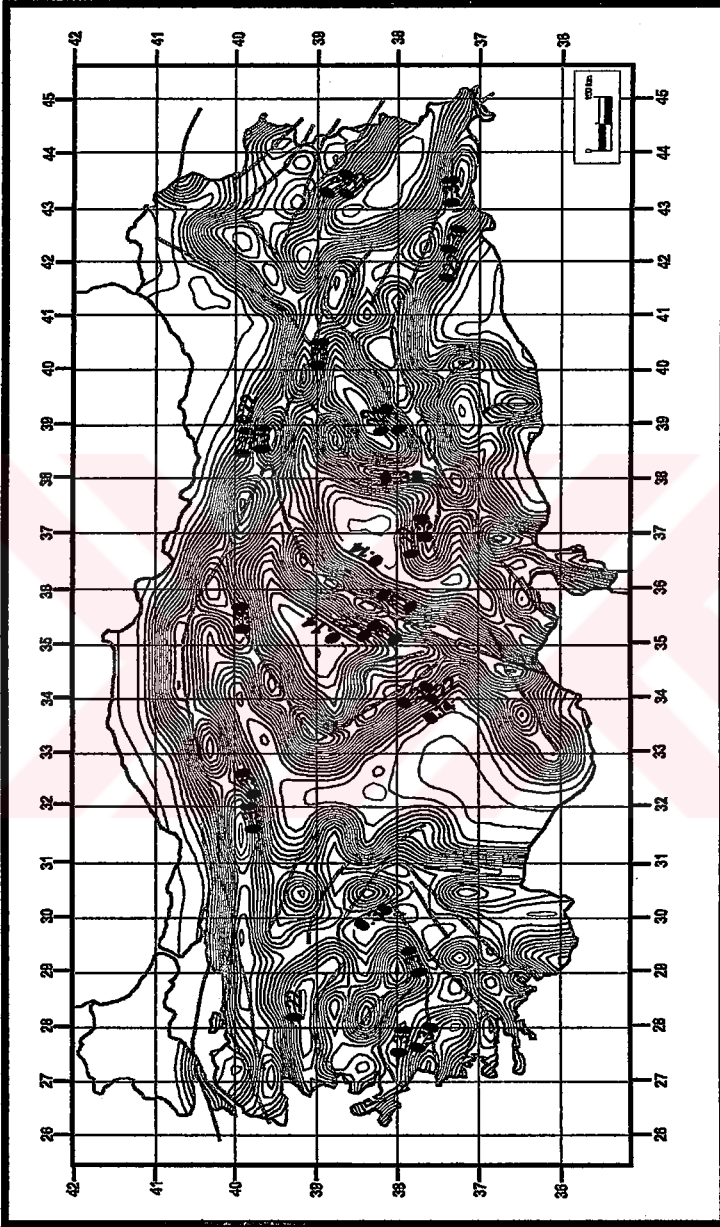
Fukushima ve Tanaka (1990) sönüm denklemi ve yüzey kırığı oranının 1/3 olması durumunda elde edilen eş-ivme haritası Şekil 6.4.4'de verilmiştir. Söz konusu haritada en düşük yatay yer ivmesi değerinin 0.10g, en yüksek yatay yer ivmesi değerinin ise 0.50g olduğu görülmektedir.

İnan vd (1996) sönüm denklemi ve yüzey kırığı oranının 1/3 olması durumunda elde edilen eş-ivme haritası Şekil 6.4.5'de verilmiştir. Söz konusu haritada en düşük yatay yer ivmesi değerinin 0.15g, en yüksek yatay yer ivmesi değerinin ise 6.36g olduğu saptanmıştır. Ancak harita üzerindeki kontur sıklığının önlenmesi amacıyla kontur aralıkları 0.5 birim alınmıştır ve bundan dolayı en büyük ve en küçük ivme değerleri harita üzerinde görülememektedir. Bu sonuçlara bakıldığında maksimum yer ivmesi değerlerinin oldukça yüksek, hatta kabul edilebilir sınırlar dışında bulunduğu görülmektedir. Bu nedenle söz konusu azalım ilişkisinin ve bu ilişki kullanılarak elde edilmiş olan eş ivme haritasının gerçeği yansıttığını söylemek oldukça güçtür.

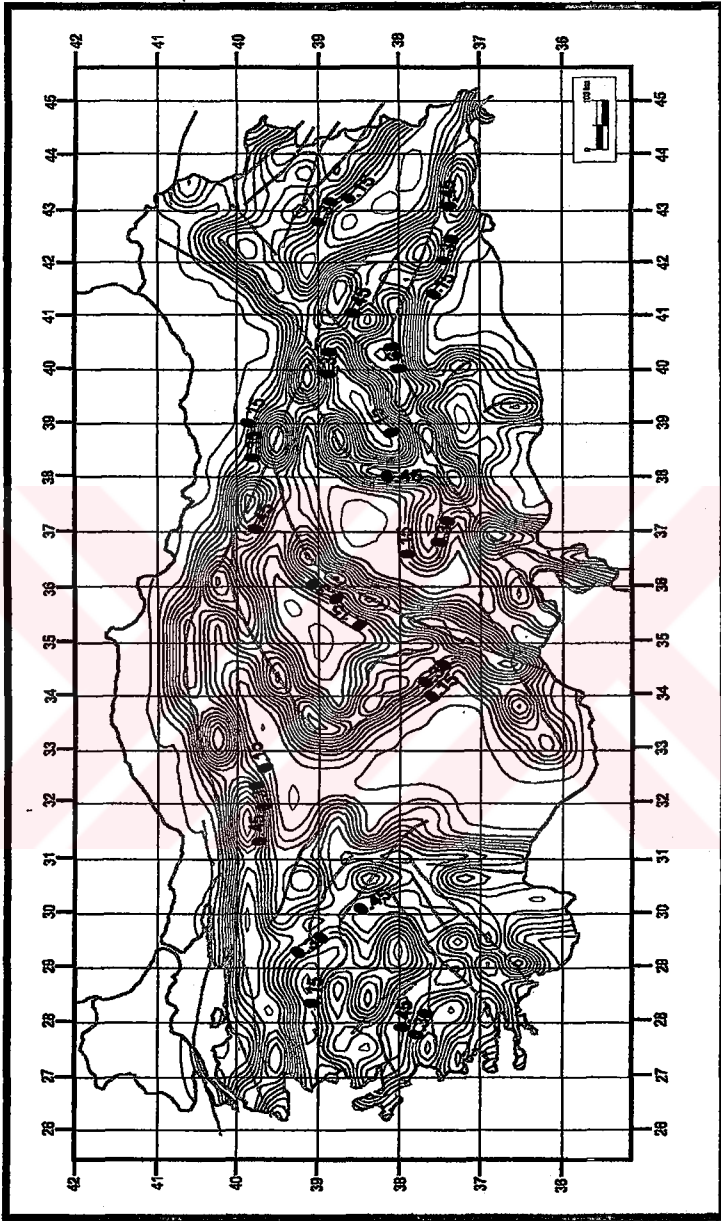
Türkiye'nin deterministik yöntemle sismik tehlike analizinin yapıldığı bu çalışmada daha gerçekçi yaklaşımlarda bulunmak amacıyla, hesaplamalarda tek bir azalım ilişkisine bağlı kalmayıp fay tipine uygun azalım ilişkisi ve $1/3$ yüzey kırığı uzunluğu dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre normal faylar için Sabetta ve Pugliese (1987); ters faylar için Fukushima ve Tanaka (1990); doğrultu atımlı faylar için ise Joyner ve Boore (1988) azalım ilişkileri kullanılmıştır. Bu yöntemle elde edilen eş ivme haritası Şekil 6.4.6'da verilmiştir. Söz konusu harita incelendiğinde maksimum ivmelerin Türkiye'nin ana kırık sistemleri boyunca dağılım gösterdiği görülmektedir.



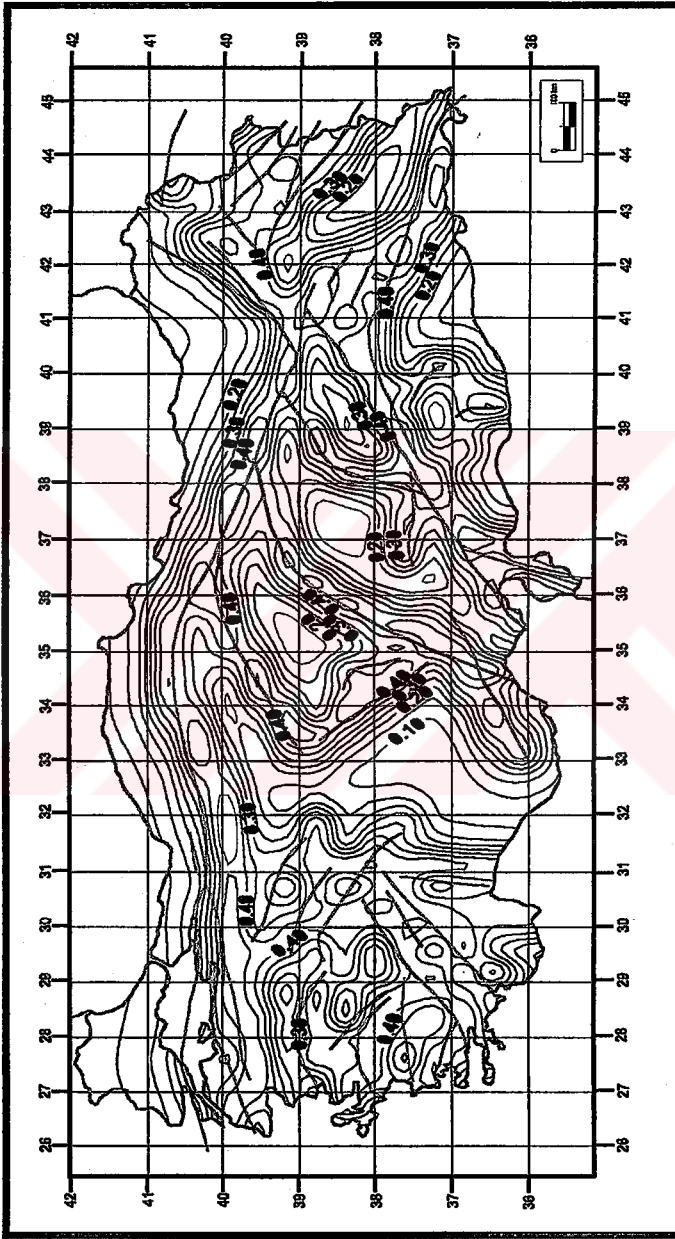
Şekil 6.4.1. Sabetta ve Pugliese (1987) sönüm denklemini kullananak oluşturulan eş ivme haritası.



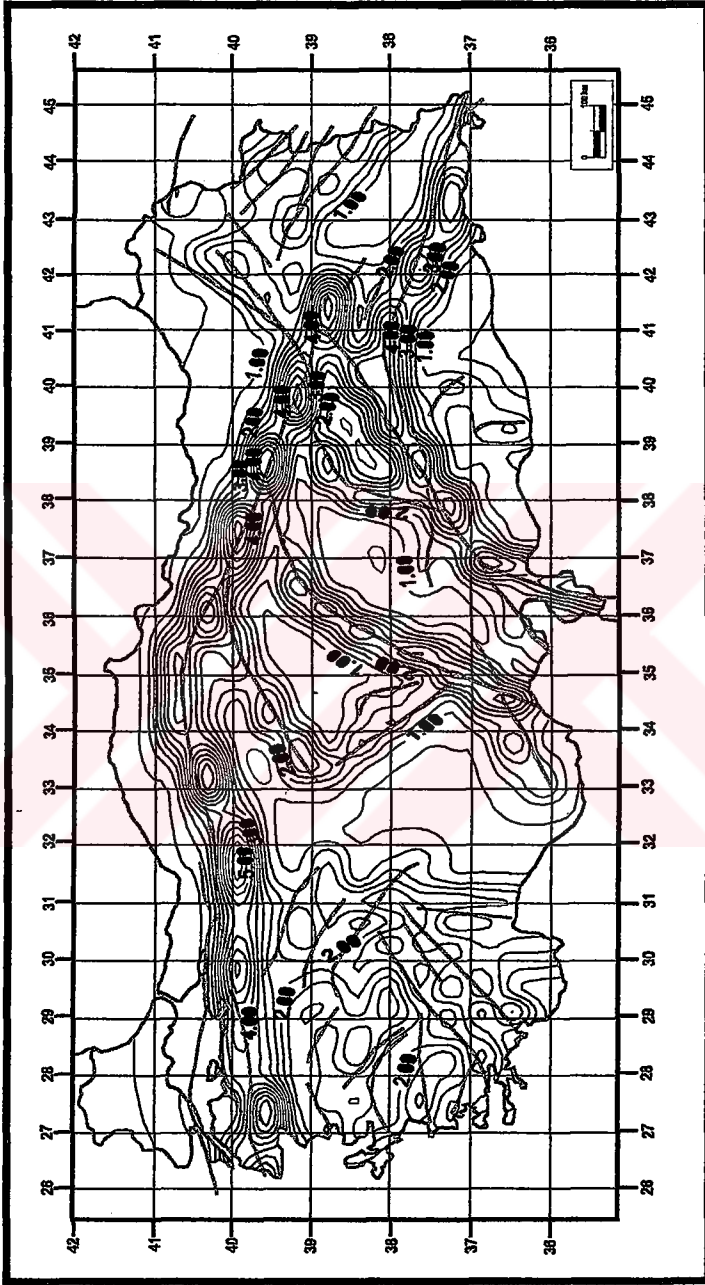
Şekil 6.4.2. Campbell (1988) sönüm denklemini kullanarak oluşturulan eş ivme haritası.



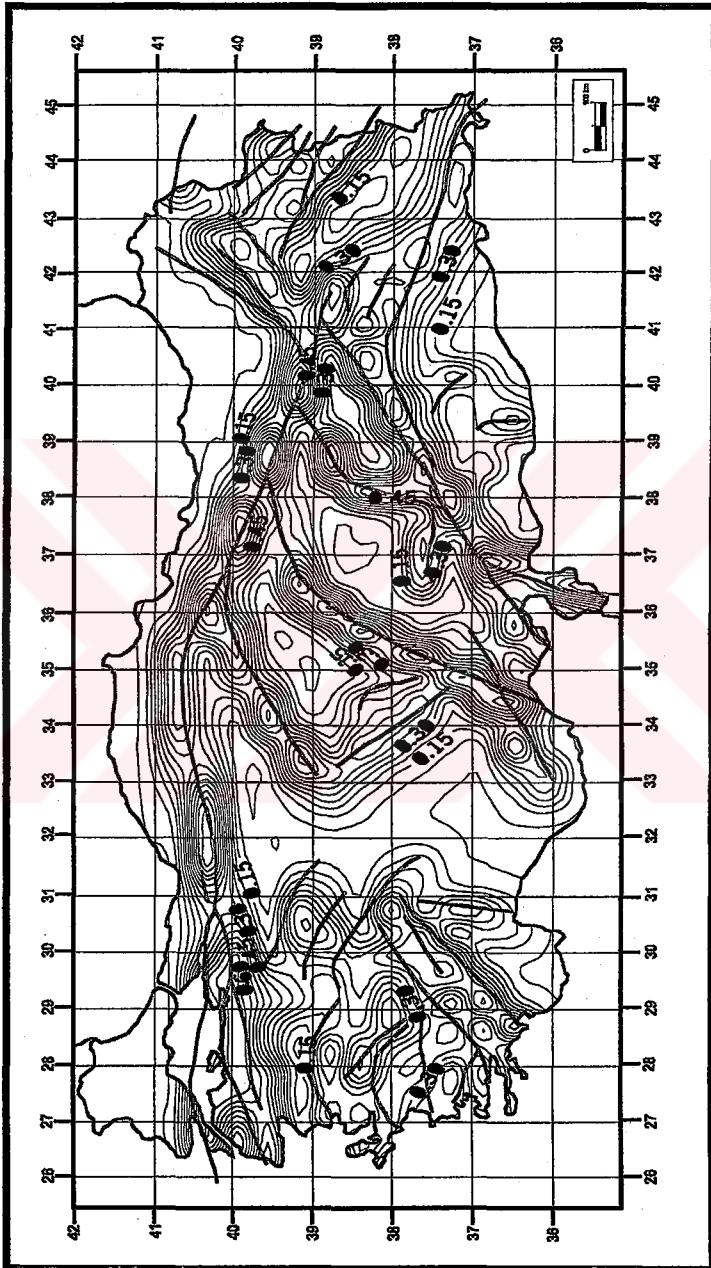
Şekil 6.4.3. Joyner ve Boore (1988) sönüm denklemini kullanarak oluşturulan eş ivme haritası.



Şekil 6.4.4. Fukushima ve Tanaka (1990) sönüm denklemini kullanarak oluşturulan eş ivme haritası.



Şekil 6.4.5. İnan vd. (1996) sönüm denklemini kullanarak oluşturulan eş ivme haritası.



Oluşturulan altı adet haritadan elde edilen bulgular birarada değerlendirildiğinde Joyner ve Boore (1988); Sabetta ve Pugliese (1987) ile Fukushima ve Tanaka (1990) sönüm denklemlerinin birarada kullanıldığı ve yüzey kırığı oranının 1/3 olması durumunda elde edilmiş olan eş-ivme haritasının Türkiye için kullanılmasının daha uygun olduğu sonucuna varılmış ve Türkiye'nin yeni sismik tehlike haritası olabileceği düşünülmüştür. Bu haritaya göre maksimum yatay yer ivmesi değerleri 0.60g'ye kadar çıkmakta, ana fay sistemleri boyunca da 0.65g'ye ulaşmaktadır. Önerilen bu haritaya bağlı olarak maksimum yatay yer ivme değerleri kullanılmak suretiyle Türkiye için bölgelendirme yapılmış ve Türkiye dört ayrı zona ayrılmıştır (Şekil 6.4.7). Maksimum yatay yer ivmesi değerlerine karşılık gelen deprem bölgeleri aşağıdaki şekildedir.

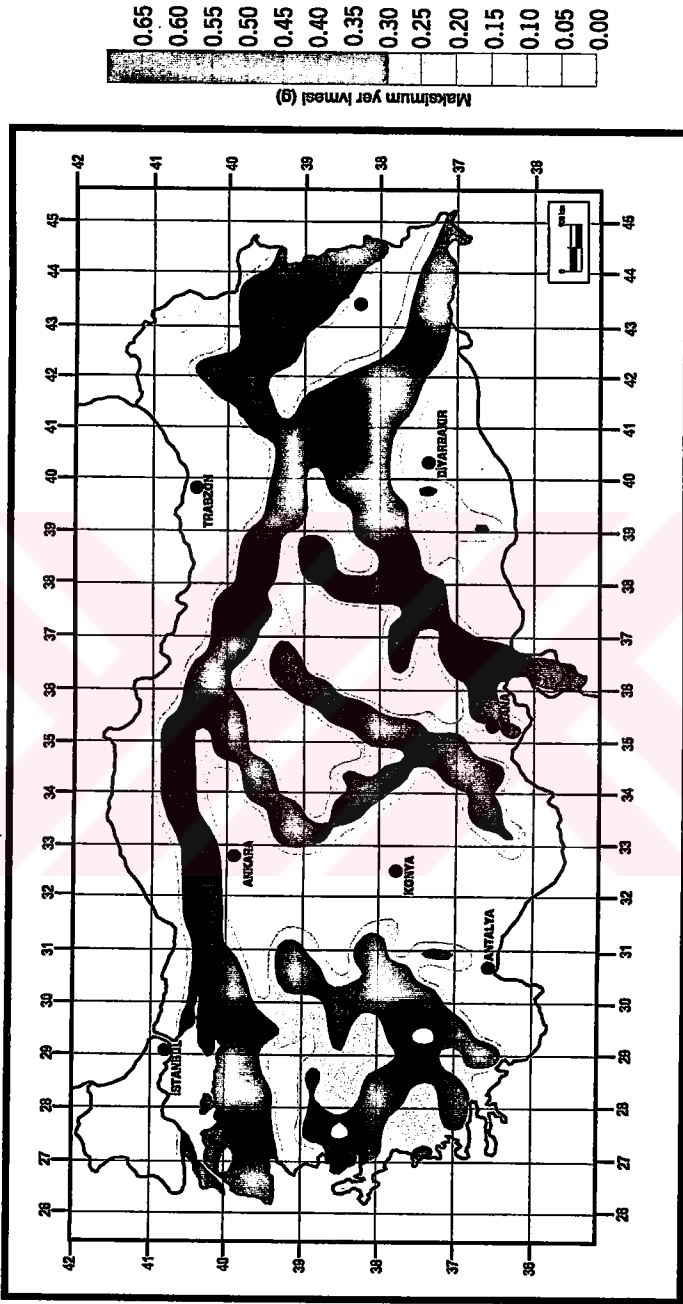
Maksimum yatay yer ivmesi değeri (g)	Bölgelendirme
> 0.30	1. derece
0.30 – 0.20	2. derece
0.20 – 0.10	3. derece
< 0.10	4. derece

Yukarıdaki değerlere göre 0.30g' den büyük ivme değerlerine sahip olan alanlar 1. derece deprem bölgesi içinde yer almakta olup bu kesimlerde meydana gelebilecek bir depremin etkisi oldukça fazla olacaktır. Türkiye'de Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı, Batı Anadolu horst-graben sistemi, Orta Anadolu Fayı ve Güneydoğu Anadolu Bindirmesi'nin bulunduğu hatlar boyunca 0.40g'den büyük değerlere rastlanmaktadır ve bu alanlar 1. derece deprem bölgesi içinde kalmaktadır.

Ana kırık sistemlerinden uzaklaştıkça maksimum yatay yer ivmesi değerleri azalmakta ve bu kesimler genellikle 2. derece deprem bölgesi içerisine girmektedir. Aynı zamanda Doğu Anadolu'daki faylar çevresinde (Tutak-Erçiş Fay Hattı, Erzurum-Ardahan Fay Hattı, Çaldıran Fayı, vb.) ve Batı Akdeniz'de yine bu deprem bölgesine ait ivme değerlerine rastlanmaktadır.

Üçüncü derece olarak belirtilen ve 0.20 – 0.10g arasındaki maksimum yatay yer ivmesi değerlerine sahip bölgeler ise yer yer Marmara Bölgesi'nin güney kesimleri, Karadeniz kıyıları ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin orta kesimleridir.

Dördüncü derecedeki ve 0.10g'den düşük maksimum yatay yer ivmeli bölgeler çok az olmakla birlikte İç Anadolu'nun güney kesimlerinde ve Türkiye-Suriye sınırına yakın bölgelerde gözlenmektedir.



Şekil 6.4.7. Elde edilen verilere göre Türkiye için önerilen yeni deprem bölgeleri haritası.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deterministik yöntemi kullanarak Türkiye'nin sismik tehlike analizini ve bunun sonucunda da eş ivme haritalarının oluşturulmasını amaçlayan bu çalışmadan şu sonuçlar elde edilmiştir.

Yerli azalım ilişkisi (İnan vd., 1996) ile hesaplanan maksimum yatay yer ivmesi değerleri çok yüksek olup, gerçekçi olmaktan uzaktır. Bunun başlıca nedeninin bu eşitliğin hazırlanması sırasında zemin büyütme etkisinin sağlıklı bir şekilde hesaba katılmamış olması düşünülmektedir.

Bunun dışında, İtalyan verilerine göre geliştirilmiş Sabetta ve Pugliese (1987); Kuzey Amerika'nın batısı için geliştirilmiş Campbell (1988) ve Joyner ve Boore (1988) ile bütün dünya verilerini kullanarak geliştirilmiş Fukushima ve Tanaka (1990) sönüm denklemlerinin kullanılmasıyla yapılan hesaplamalara göre Türkiye'deki maksimum yatay yer ivmesi değerlerinin en yüksek olanları 0.4-0.5g civarında hesaplanmıştır. Sabetta ve Pugliese (1987) ile Joyner ve Boore (1988) denklemlerini kullanarak elde edilen eş ivme haritaları arasında büyük benzerlikler vardır. Fukushima ve Tanaka (1990) ile Campbell (1988) denklemlerinin kullanılması ile elde edilen eş ivme haritalarındaki ivme değerlerinin önceki ikisine göre genellikle daha düşük olduğu gözlenmektedir.

Her ne kadar sönüm denklemleri tek tek ele alınmak suretiyle eş ivme haritaları oluşturulmuşsa da, Türkiye için bir sismik tehlike haritası oluşturmada doğru olanın farklı sismotektonik bölgeler için farklı sönüm denklemlerinin kullanılması olacağı düşüncesinden hareketle ayrı bir eş ivme haritası (karma harita) elde edilmeye çalışılmıştır. Bu haritanın hazırlanmasında, Batı Anadolu'nun sismotektonik yapısının İtalya'nın tektonik konumuna olan benzerliğinden dolayı bu kesim için Sabetta ve Pugliese (1987)'in denklemini; Türkiye'nin geri kalan kısmı için de doğrultu atımlı fayların bulunduğu bölgelerde Joyner ve Boore (1988) denklemini kullanılmıştır. Bitlis kenet kuşağının modelde ele alınmasında bindirme tektoniğine göre hesaplamalar yapılmıştır ve bu tip ters fay sistemlerinde Fukushima ve Tanaka (1990) azalım ilişkisinden yararlanılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda "karma" olarak hazırlanan eş ivme haritasının Türkiye için yeni sismik tehlike (veya deprem bölgeleri) haritası olması önerilmiştir. Bu harita üzerinde maksimum yatay yer ivmesinin 0.30g'den

büyük olduğu yerler I. derece; 0.3g-0.2g arasında olduğu kesimler II. derece; 0.2g-0.1g arasında olduğu kesimler III. derece ve 0.1g'den daha düşük bölümler ise IV. derece olarak sınıflandırılmıştır.

Türkiye'nin önceki sismik tehlike haritalarında Eskişehir Fayı, Tuzgözü Fayı, Ezinepazarı Fayı ve Orta Anadolu Fay Zonu dikkate alınmamıştır. Bu çalışmada ortaya konan haritada bu hatlar boyunca belirgin şekilde "yeni" birinci derece deprem bölgeleri ortaya çıkmıştır. Özellikle OAFZ'nun ortaya konmasıyla Türkiye'nin en son hazırlanmış deprem bölgeleri haritasındaki IV. ve V. derece deprem bölgeleri I. derece deprem bölgesi kategorisine girmiştir.

OAFZ konusunda iki değişik görüş öne sürülmüştür. Birincisi; Koçyiğit ve Beyhan (1998) tarafından ortaya konan Orta Anadolu Fay Zonunun; doğrultu atımlı, küçük-orta büyüklükte deprem türeten, genç ve aktif bir fay zonu olduğu görülmüştür. İkincisi ise bu fay zonunun aktivitesi konusunda bazı şüpheler olduğunu, sismisite açısından Koçyiğit ve Beyhan (1998) tarafından öne sürülen delillerin yetersiz olduğunu vurgulayan Westaway (1999)'a ait görüştür. Bu çalışmada Koçyiğit ve Beyhan (1998)'in görüşleri benimsenmiş ve OAFZ güneyde Akdeniz'den kuzeye doğru eski Ecemiş hattını takip ederek Erciyes Dağı yakınından kuzeydoğuya; oradan da Kızılırmak vadisi boyunca Kuzey Anadolu Fay Zonu'na ulaşan bir hat olarak ele alınmıştır.

Türkiye için önerilen sismik tehlike haritasında ağırlıklı olarak Joyner ve Boore (1988) ile Sabetta ve Pugliese (1987) denklemleri kullanılmış olsa da, bu denklemlerin Türkiye'ye ne ölçüde uygulanabileceği konusunda henüz net bir görüş olmamıştır. Bu denklemlerin Türkiye'ye uygulanabilmesi için sismotektonik yapıların benzerliğinin yanı sıra, kabuk bileşiminin de benzer olması zorunluluğu vardır.

Model çalışmasında kullanılan deterministik sismik tehlike analiz metodu ile çeşitli bulgular ortaya konmuş olmasına rağmen bu yöntemin sismik tehlikeyi dönüş periyodu veya yıllık aşılma olasılığı şeklinde vermemesi en büyük dezavantaj olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Acharya, H. K. , 1979, Regional variations in the rupture-length magnitude relationships and their dynamical significance, Bulletin of Seismological Society of America, v.69, p.2063-2084.**
- Albee, A.L., and Smith, J.L., 1966, Earthquake characteristics and fault activity in Southern California, in Lung, R., and Proctor eds., Engineering Geology in Southern California: Los Angeles Section, Association of Engineering Geologists, p.9-34.**
- Araya, R. and Der Kiureghian, A., 1988, Seismic hazard analysis; improved models, uncertainties and sensitivities. Earthquake Engineering Research Center, Report No: UCB/EERC-90/11, University of California, Berkeley, CA, 155p.**
- Bilgin, T., 1987, Genel Kartografya 1, İ. Ü. Edebiyat Fak. Yayınları, No 1898, İstanbul, 323 sayfa.**
- Bonilla, M.G., 1967, Historical surface faulting in continental United States and adjacent parts of Mexico, U.S. Geological Survey Open-File Report, 36p.**
- Bonilla, M.G., 1970, Surface faulting and related effects, in Wiegel, R.L., eds., Earthquake Engineering: Englewoods Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, p.47-74.**
- Bonilla, M.G., and Buchanan, J.M., 1970, Interm report on worldwide historic surface faulting: U.S. Geological Survey Open-File Report, 32p.**
- Bonilla, M.G., 1980, Comment and reply on "Estimating maximum expectable magnitudes of earthquakes from fault dimensions: Geology, v.8, p.162-163.**
- Bonilla, M. G., Mark, R. K. and Lienkaemper, J. J., 1984, Statistical relations among earthquake magnitude, surface rupture length and surface fault displacement, Bull. Seism. Soc. Am. 74, 2379-2411.**
- Campbell, W.K., 1981, Near source attenuation of peak horizontal acceleration, Bulletin of Seismological Society of America, 71(6), 2039-2070.**
- Campbell, W.K., 1988, Predicting strong ground motion in Utah, in Evaluation of Regional and Urban Earthquake Hazards and Risk in Utah, Hays and Gori, Editors, U.S. Geol. Surv. Profess. Paper.**

- Chinnery, M.A., 1969, Earthquake magnitude and source parameters: Bulletin of Seismological Society of America, v.59, p.1969-1982.**
- Çemen, İ., Gönçüoğlu, C.M., Dirik, K., 1999, Structural evolution of the Tuzgölü Basin in Central Anatolia, Turkey, The Journal of Geology, Volume 107, p. 693-706.**
- Darragh, R. B. and Bolt, B. A., 1987, A comment on the statistical regression relation between earthquake magnitude and fault rupture length, Bull. Seism. Soc. Am. 77, 1479-1484.**
- Demirtaş, R., 1997, Paleosismoloji, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 245 sf.**
- EERI Committee on Seismic Risk, 1989, The basics of seismic risk analysis: Earthquake Spectra, 5(4), 675-702.**
- Freeman, K. J., Fuller, S. and Schell, B. A., 1986, The use of surface faults for estimating design earthquakes; Implications of the 28 October 1983 Idaho Earthquake: Bulletin of Association of Engineering Geologists, v.23, 325-332.**
- Fukushima, Y., Tanaka, T., 1990, A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, Bulletin of Seismological Society of America, 80, 757-783.**
- Glover, C., Robertson, A., 1998, Neotectonic intersection of the Aegean and Cyprus tectonic arcs: extensional and strike-slip faulting in the Isparta angle, SW Turkey, Tectonophysics, 298, 103-132.**
- Gülkan, P., Koçyiğit, A., Yüçemen, M. S., Doyuran, V., Başöz, N., 1993, En Son Verilere Göre hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, ODTÜ, Deprem Mühendisliği araştırma Merkezi, Rapor No: 93-01, Ankara.**
- Idriss, M.I., 1985, Evaluating seismic risk in engineering practice, University of California, Los Angeles, USA, 78 p.**
- Iida, K., 1965, Earthquake magnitude, earthquake fault and source dimensions: Nagayo University, Journal of Earth Sciences, v.13, p.115-132.**
- İnan, E., Çolakoğlu, Z., Koç, N. ve Çoruh, E., 1996, 1976-1996 Yılları Arası İvme Kayıtları Olan Deprem Kataloğu, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 98 sf.**

- lowroozi, A. A., 1985,** Emprical relations between magnitudes and fault parameters of earthquakes in Iran, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 75, p. 1327-1338.
- olo, C.M. and Slemmons, D.B., 1990,** Estimation of earthquake size for seismic hazards, in Krinitzsky, E.L. and Slemmons, D.B., editors, Neotectonics in Earthquake Evaluation: Reviews in Engineering Geology, 8, 1-28.
- abetta, F. and Pugliese, A., 1987,** Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong-motion records, Bulletin of the Seismological Society of America, 77, 1491-1513.
- eyitoğlu, G., 1997,** The Simav Graben: An example of young E-W trending structures in the Late Cenozoic extensional system of western Turkey, Tr. J. of Earth Sciences, 6, 135-141.
- eyitoğlu, G., Tekeli, O., Şaroğlu, F., Demirtaş, R., 1999,** Sözlü görüşme, Ankara.
- ingh, S. K., Bazan E. And Esteva L., 1980,** Expected earthquake magnitude from a fault, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 70, p. 903-914.
- lemmons, D. B., 1977,** Faults and earthquake magnitude, in State of the Art for assessing earthquake hazards in the United States, Report: U.S. Army Engineers Waterways Experiment Stations Miscellaneous Paper S-73-1, 129p.
- lemmons, D. B., 1982,** A procedure for analyzing fault-controlled lineaments and the activity of faults, in Proceedings 3rd International Conference on Basement Tectonics Association, p. 33.
- lemmons, D. B., Chung, D.H., 1982,** Maximum credible earthquake magnitudes for the Calaveras and Hayward faults, California, in Hart, E.W., Hirschfield, S.E., and Schulz, S.S., eds., Proceedings of a conference on earthquake hazards in the Eastern San Francisco Bay Area; California Division of Mines and Geology Special Publication 62, p.115-124.
- aroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşcu, İ., 1992,** Türkiye Diri Fay Haritası, MTA, Ankara.
- engör, A.M.C., 1987,** Cross-faults and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey, Tectonics, Geological Society Special Publication, no: 28, pp. 575-589.

- Joyner, W.B. and Boore, D.M., 1981, Peak horizontal acceleration a velocity from strong-motion records from the 1979 Imperial Valley, California earthquake, Bulletin of Seismological Society of America, 71, 2011-2038.**
- Joyner, W.B. and Boore, D.M., 1988, Measurement, characterisation a prediction of strong ground motion: Earthquake Engineering and Soil Dynamics, 2, Recent Advances in Ground Motion Evaluation, 43-102.**
- Kanai, K., Hirano, K., Yoshizawa, S. and Asada T., 1966, Observation strong earthquake motion in Matsushiro area. Part 1, Bulletin of Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 44, 1269-1296 (Japanese).**
- Kanamori, H. and Allen C.R., 1986, Earthquake repeat time and average stress drop, in Das, S., Boatwright, J., Scholz, C.H., ed Earthquake source mechanics: American Geophysical Union Maurice Ewing Series, v.6, p.227-235.**
- Kayabali, K., 1995, Sismik Tehlike Analizi: Teori ve Uygulama, Jeolojik Mühendisliği, 46, 28-44.**
- Koçyiğit, A. and Beyhan, A., 1998, A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey Tectonophysics, vol. 284, 317-336.**
- Koçyiğit, A. and Beyhan, A., 1999, Reply to Rob Westaway's comment "A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey", Tectonophysics, vol. 314, 481-496.**
- Kramer, L. S., 1996, Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall Inc., 653 pp., USA.**
- Krinitzky, E. L., 1998, The hazard in using probabilistic seismic hazard analysis for engineering, Environmental & Engineering Geoscience, vol. IV, No. 4, 425-443.**
- Mark, R. K., 1977, Application of linear statistical model of earthquake magnitude versus fault length in estimating maximum expectable earthquakes; Geology, Vol 5, p. 464-466.**
- Mark, R.K. and Bonilla M.G., 1977, Regression analysis of earthquake magnitude and surface fault length using the 1970 data (with Bonilla and Buchanan: U.S. Geological Survey Open-File Report 77-614, 8 p.**

- Tocher, D., 1958, Earthquake energy and ground breakage; Bulletin of Seismological Society of America, v.48, p.147-153.**
- Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, 1996, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.**
- Wentworth, C.M., Bonilla M.G., and Buchanan, J.M., 1969, Seismic environment of the Burro Flats Site, Ventura County, California: U.S.Geological Survey Open-File Report 73-360, 42 p.**
- Wesnousky, S. G., 1986, Earthquakes, Quaternary faults and seismic hazards in California: Journal of Geophysical Research, v.91, p 2587.**
- Wesson, R.L., Helley, E.J., Wentworth, C.M, 1975, Faults and future earthquakes, in Borcherd R.D., eds., Studies for seismic zonation of the San Francisco Bay region: U.S.Geological Survey Professional Paper, 941-A, p.5-30.**
- Westaway,R., 1999, Comment on "A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey" by A. Koçyiğit and A. Beyhan, Tectonophysics, vol. 314, 469-479.**
- Wyss, M., 1979, Estimating maximum expectable magnitude of earthquakes from fault dimensions, Geology, V. 7, p 336-340.**
- Yaltırak, C., Alpar, B., Yüce, H., 1998, Tectonic elements controlling the evolution of the Gulf of Saros (northeastern Aegean Sea, Turkey), Tectonophysics, vol. 300, 227-248.**
- Yeats, R. S., Sieh, K., Allen, C. R., 1997, The Geology of Earthquakes, Oxford University Press, New York, 568 p.**
- Zhang, X., Slemmons, D.B., Wells, D., and Coppersmith, K., 1989, New earthquake magnitude and fault rupture parameters; Part 2, Maximum and average displacement relationship (abs) Seismological Society of America Seismological Research Letters, v.60, p.27.**

EKLER

EK. 1.TUMDES Programının Veri Girişi ve Hesaplama Kısımına Ait Kaynak Kodu

```

10 REM*****TUMDES-SISMİK TEHLİKE ANALİZ PROGRAMI*****
15 REM*****VERİ GİRİŞİ VE VERİLERİN DÜZENLEMESİ*****
20 COLOR 15, 0: CLS : COLOR 15, 1: LOCATE 4, 12: PRINT "ANA MENU"
30 LOCATE 6, 12: PRINT "1.KAYIT GİRME"
40 LOCATE 8, 12: PRINT "2.KAYIT LİSTELEME"
50 LOCATE 10, 12: PRINT "3.KAYIT SİLME"
60 LOCATE 12, 12: PRINT "4.KAYIT EKLEME"
70 LOCATE 14, 12: PRINT "5.KAYIT DEĞİŞİKLİK"
75 LOCATE 16, 12: PRINT "6.CIKIS"
80 LOCATE 20, 10: INPUT "SECİMINİZ (1,2,3,4,5,6)"; A
90 IF A < 1 OR A > 6 GOTO 20
100 ON A GOTO 110, 190, 320, 560, 700, 1005
105 GOTO 20
110 REM *****1. KAYIT GİRME PROGRAMI*****
120 OPEN "A", #1, "MMAXYENI"
125 COLOR 15, 0: CLS : COLOR 15, 1
127 LOCATE 3, 20: PRINT "MAGNİTUD DEĞERİ GİRİŞİ"
130 LOCATE 8, 10: INPUT "Fayin adini yaziniz: ", FAD$
140 LOCATE 10, 10: INPUT "Fayin numarasini yaziniz: ", NOF
155 LOCATE 12, 10
157 INPUT "1/3 u kirilmis faya ait magnitud degerini yaziniz: ", CEKM
160 WRITE #1, FAD$, NOF, CEKM
170 LOCATE 16, 10: INPUT "Veri kaydi devam ediyor mu? (E/H)", C$
180 IF C$ = "E" OR C$ = "e" THEN 125 ELSE CLOSE #1
185 GOTO 20
190 REM *****2. KAYIT LİSTELEME PROGRAMI*****
200 OPEN "I", #1, "MMAXYENI"
205 S = 0
210 CLS : I = 0: COLOR 15, 0: CLS : COLOR 15, 1
215 LOCATE 1, 10: PRINT "MAGNİTUD DEĞERLERİNİN LİSTELENMESİ"
216 LOCATE 2, 7
217 PRINT "Fayin adi          Fay_no      1/3 kirilmis magnitud"
218 LOCATE 3, 6
219 PRINT "-----"
220 IF EOF(1) THEN 310
230 INPUT #1, FAD$, NOF, CEKM: I = I + 1: S = S + 1
240 LOCATE 4 + I, 7: PRINT FAD$
250 LOCATE 4 + I, 36: PRINT NOF
270 LOCATE 4 + I, 50: PRINT CEKM
280 IF I = 17 THEN LOCATE 6 + I, 22: COLOR 15, 1: INPUT "Devami icin Enter'a"
290 IF EOF(1) THEN GOTO 310
300 GOTO 220
310 LOCATE 7 + I, 32: PRINT S: "TANE KAYIT VAR": INPUT " ", C: CLOSE #1
315 GOTO 20
320 REM *****3. KAYIT SİLME PROGRAMI*****
330 COLOR 15, 0: CLS : COLOR 15, 1
340 OPEN "O", #3, "YEDEK3"
350 OPEN "I", #1, "MMAXYENI"
360 LOCATE 4, 25: PRINT "MAGNİTUD DEĞERLERİNİ SİLME"
370 LOCATE 6, 10: INPUT "ARANAN FAYIN NUMARASI...: ", ARANO
380 F = 0
390 IF EOF(1) THEN 510
400 INPUT #1, FAD$, NOF, CEKM
410 IF NOT (ARANO = NOF) THEN GOTO 490
420 F = 1
430 LOCATE 8, 10: PRINT "Fayin adi", FAD$
440 LOCATE 10, 10: PRINT "Fayin numarası:", NOF

```

```

) LOCATE 12, 10: PRINT "1/3 u kirilmis faya ait magnitud degeri:", CEKM
) LOCATE 16, 10: INPUT "Silinecek kayıt bu mu? (E/H)"; C$
) IF C$ = "E" OR C$ = "e" THEN 390
) WRITE #3, FAD$, NOF, CEKM
) GOTO 390
) CLOSE #1: CLOSE #3
) KILL "MMAXYENI"
) NAME "YEDEK3" AS "MMAXYENI"
) IF F = 0 THEN LOCATE 8, 10: COLOR 20, 15: INPUT "ARANAN KAYIT BULUNAMADI...E
) GOTO 20
) REM *****4. KAYIT EKLEME PROGRAMI*****
) OPEN "MMAXYENI" FOR APPEND AS #1
) COLOR 15, 0: CLS : COLOR 15, 1
) LOCATE 6, 25: PRINT "MAGNITUD DEGERLERINI EKLEME"
) LOCATE 8, 10: INPUT "Fayin adini yaziniz:", FAD$
) LOCATE 10, 10: INPUT "Fayin numarasini yaziniz:", NOF
) LOCATE 12, 10
) INPUT "1/3 u kirilmis faya ait magnitud degerini yaziniz:", CEKM
) WRITE #1, FAD$, NOF, CEKM
) LOCATE 16, 10: INPUT "Baska kayıt yapılacak mi? (E/H)"; C$
) IF C$ = "E" OR C$ = "e" THEN 580 ELSE CLOSE
) CLS : GOTO 20
) REM *****5. DUZELTME PROGRAMI*****
) COLOR 15, 0: CLS : COLOR 15, 1: K = 0
) LOCATE 6, 20: INPUT "DEGISIKLIK YAPILACAK FAYIN NUMARASI...". ARANO
) OPEN "I", #1, "MMAXYENI"
) OPEN "O", #2, "YEDEK"
) IF ROF(1) THEN GOTO 950
) INPUT #1, FAD$, NOF, CEKM
) IF NOT (NOF = ARANO) THEN GOTO 930
) K = 1
) LOCATE 8, 20: PRINT "Fayin Numarasi....": NOF
) LOCATE 10, 20: PRINT "Fayin adi...": FAD$
) LOCATE 12, 20: PRINT "1/3'ü kirilmis .....": CEKM
) LOCATE 16, 20: INPUT "Degisiklik yapılacak kayıt bu mu? (E/H)"; C$
) IF C$ = "H" OR C$ = "h" THEN GOTO 930
) LOCATE 8, 16: PRINT "(1)"
) LOCATE 10, 16: PRINT "(2)"
) LOCATE 12, 16: PRINT "(3)"
) LOCATE 18, 20: INPUT "Lütfen satir no giriniz...": Y
) IF Y < 1 AND Y > 3 THEN COLOR 20, 1: LOCATE 18, 20: INPUT "YANLIS GIRIS...<E
) IF Y = 1 THEN LOCATE 8, 41: INPUT YENI: NOF = YENI
) IF Y = 2 THEN LOCATE 10, 33: INPUT YENI$: FAD$ = YENI$
) IF Y = 3 THEN LOCATE 12, 45: INPUT YENI: CEKM = YENI
) WRITE #2, FAD$, NOF, CEKM
) GOTO 750
) CLOSE
) KILL "MMAXYENI"
) NAME "YEDEK" AS "MMAXYENI"
) IF K = 0 THEN LOCATE 8, 15: COLOR 20, 15: INPUT "ARANAN KAYIT BULUNAMADI...E
) GOTO 20
) REM *****6. PROGRAMDAN CIKIS*****
) COLOR 15, 0: CLS : COLOR 15, 1: LOCATE 12, 25: PRINT "PROGRAMIN SONU"
) END

) REM*****TÜMDES-SYSMYK TEHLÝKE ANALÝZ PROGRAMI*****
) REM*****HESAPLAMA KISMI*****
) CLS : LOCATE 15, 25: PRINT "HESAPLANIYOR...LUTFEN BEKLEYINIZ..."
) OPEN "I", #2, "NOKYENI"
) IF EOF(2) THEN GOTO 1290

```

```

1065 INPUT #2, GNO, GNOX, GNOY
1066 OPEN "O", #4, "DIKCA22"
1068 LOCATE 17, 25: PRINT GNO; " ICIN HESAPLANIYOR..."
1070 OPEN "I", #3, "FAYELLI"
1072 IF EOF(3) THEN GOTO 1220
1090 INPUT #3, FAD$, NOF, FSN, FBX, FBY
1200 KFAD$ = FAD$: DNOF = NOF: SNN = FSN: DBX = FBX: DBY = FBY:
1220 GRN = GNO: GRX = GNOX: GRY = GNOY
1250 WRITE #4, KFAD$, DNOF, SNN, DBX, DBY, GRN, GRX, GRY
1300 IF NOT (EOF(3)) THEN GOTO 1090
1900 CLOSE #4: CLOSE #3
4800 CLOSE #4
4900 OPEN "I", #4, "DIKCA22"
4910 OPEN "O", #5, "DIKNOKCA22"
5000 IF EOF(4) THEN GOTO 6400
5100 INPUT #4, KFAD$, DNOF, SNN, DBX, DBY, GRN, GRX, GRY
5500 AX = DBX: AY = GRY
5600 XFARK = ABS(AX - GRX): YFARK = ABS(DBY - AY)
5700 A = (YFARK / 360) * 40009
5800 YARICAP = 6370 * COS(GRY * (3.14 / 180))
5900 CEVRE = 2 * 3.14 * YARICAP
6000 B = (XFARK / 360) * CEVRE
6100 YAKUZKM = (A ^ 2 + B ^ 2) ^ (1 / 2)
6130 IF YAKUZKM > 10 AND YAKUZKM < 250 THEN GOTO 6200
6150 IF YAKUZKM < 10 THEN YAKUZKM = 10: GOTO 6200
6170 IF YAKUZKM > 250 THEN GOTO 500 ELSE GOTO 6200
6200 WRITE #5, KFAD$, DNOF, DBX, DBY, GRN, AX, AY, A, B, YAKUZKM, GRX, GRY
6300 IF NOT (EOF(4)) THEN GOTO 5100
6400 CLOSE #4: CLOSE #5
8100 OPEN "I", #5, "DIKNOKCA22"
8300 OPEN "O", #6, "DENKCA22.DAT"
8320 IF EOF(5) THEN GOTO 10100
8400 INPUT #5, KFAD$, DNOF, DBX, DBY, GRN, AX, AY, A, B, YAKUZKM, GRX, GRY
8450 CLOSE #7: OPEN "I", #7, "MMAXYENI"
8500 INPUT #7, FAD$, NOF, CEKM
8550 IF DNOF = NOF THEN CEM = CEKM ELSE 8500
9750 H = LOG(YAKUZKM + (.0872 * (2.718281828# ^ (.678 * CEM))))
9800 Y = (-3.303) + (.85 * CEM) - (1.25 * H) + (.0059 * YAKUZKM)
9900 Y = 2.718281828# ^ Y
10000 C2 = Y
10010 UZKM = YAKUZKM: CEYKM = CEM: FAYAD$ = FAD$
10020 WRITE #6, UZKM, CEYKM, FAYAD$, GRN, C2
10090 IF NOT EOF(5) THEN GOTO 8400
10100 CLOSE #5: CLOSE #6: CLOSE #7
10124 OPEN "A", #9, "BUYCA322.DAT"
10126 R = .00000000004#
10130 OPEN "I", #6, "DENKCA22.DAT"
10140 INPUT #6, UZKM, CEYKM, FAYAD$, GRN, C2
10180 IF C2 > R THEN R = C2
10190 IF NOT (EOF(6)) THEN GOTO 10140
10200 WRITE #9, GRX, GRY, R
10210 CLOSE #9: CLOSE #6
10280 IF NOT (EOF(2)) THEN GOTO 1065
10290 CLOSE #2

```

EK-2. TUMDES Programına Ait Input Dosyası

MS-DOS Komut İstemi - C:\Program Files\TUMDES\TUMDES.exe

1. ANA MENÜ

2. KAVİT GİRME

3. KAVİT LİSTELEME

4. KAVİT SİLME

5. KAVİT EKLEME

6. KAVİT DEĞİŞİKLİK

7. ÇIKIŞ

SEÇTİĞİNİZİÇİ BAŞKİTİ ÖZEL

MS-DOS Komut İstemi - C:\Program Files\TUMDES\TUMDES.exe

MAGNİTUD DEĞERLERİNİN LİSTELENMESİ

Fayın adı: A Fay no: 1/3 Kirilmiş magnitud

KAF-ÜST	1	7.6
KAF-ORTA	2	7.9
KAF-ALT	3	7.4
DAF-ÜST	4	7.2
DAF-ORTA	5	7.3
DAF-ALT	6	7.2
ESKİŞEHİR	7	7.3
KUTAHYA	8	7.2
ZEY-BER	9	7.2
SİMAV	10	7.1
SULTAN	11	7.3
GEDİZ-ÜST	12	7.2
GEDİZ-ORTA	13	7.5
BMENDERES	14	7.3
KAR-MİL	15	7.1
ÜDS	16	7.5
TATARLI	17	7.1

Devamı için Enter'a basınız

MS-DOS Komut İstemi - C:\Program Files\TUMDES\TUMDES.exe

HESAPLANIYOR... LÜTFEN BEKLEYİNİZ

15 İÇİN HESAPLANIYOR

EK-3. TUMDES Programına Ait Output Dosyası

GRID

<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>IVME</u>
26,	36,	8.857013E-02
26,	36.2,	8.855604E-02
26,	36.4,	8.883615E-02
26,	36.6,	9.028657E-02
26,	36.8,	9.142242E-02
26,	37,	9.190485E-02
26,	37.2,	9.157523E-02
26,	37.4,	9.054285E-02
26,	37.6,	.1218911
26,	37.8,	.1218311
26,	38,	.1216723
26,	38.2,	.1215743
26,	38.4,	.1230347
26,	38.6,	.130197
26,	38.8,	.1423643
26,	39,	.1630333
26,	39.2,	.2001053
26,	39.4,	.2740992
26,	39.6,	.418342
26,	39.8,	.3546058
26,	40,	.2591795
26,	40.2,	.4441923
26,	40.4,	.3430238
26,	40.6,	.2064368
26,	40.8,	.1538527
26,	41,	.1273731
26,	41.2,	.1217621
26,	41.4,	.1217807
26,	41.6,	.1218131
26,	41.8,	.1219529
26,	42,	.1218886
26.2,	36,	8.860666E-02
26.2,	36.2,	8.935884E-02
26.2,	36.4,	9.174846E-02
26.2,	36.6,	9.421863E-02
26.2,	36.8,	9.616997E-02
26.2,	37,	9.698691E-02
26.2,	37.2,	9.637228E-02
26.2,	37.4,	9.795618E-02

26.2, 37.6, .1219458
26, 36, 8.857013E-02
26, 36.2, 8.855604E-02
26, 36.4, 8.883615E-02
26, 36.6, 9.028657E-02
26, 36.8, 9.142242E-02
26, 37, 9.190485E-02
26, 37.2, 9.157523E-02
26, 37.4, 9.054285E-02
26, 37.6, .1218911
26, 37.8, .1218311
26, 38., .1216723
26, 36, 8.857013E-02
26, 36.2, 8.855604E-02
26, 36.4, 8.883615E-02
26, 36.6, 9.028657E-02
26, 36.8, 9.142242E-02
26, 37, 9.190485E-02

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini yine Ankara'da tamamladı. 1993 yılında girdiği Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 1997 yılında mezun oldu.

1997-1998 yılları arasında jeoteknik hizmet veren özel bir firmada Jeoloji Mühendisi, 1998-2000 yılları arasında ise GIS üzerine çalışan özel bir firmada veri üretim uzmanı olarak görev yaptı.