

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

FAY HATLARINA YAKIN BÖLGELERDE
YAPI TASARIMI

AYHAN KOÇAK

KASIM 2006

ÖZET

FAY HATLARINA YAKIN BÖLGELERDE

YAPI TASARIMI

KOÇAK, Ayhan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Kasım 2006, 160 sayfa

Türkiye'nin büyük bir bölümü deprem tehlikesi altındadır. Geçmişte meydana gelen depremlerde çok büyük can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Gelecek depremlerde bu kayıpları yaşamamak için, deprem ve yapıya olan etkilerinin daha iyi değerlendirilmesi, projelendirilecek ve onarım-güçlendirmesi yapılacak yapıların buna göre tasarlanması gereği ortaya çıkmıştır.

Ülkemizde yaşanan büyük depremlerin bazılarında, Doğu-Batı ve Kuzey-Güney yönünde kaydedilen yatay ivmelerin, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte verilen deprem ivmesi değerini aştığı görülmüştür.

Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fayı üzerinde yönetmelikte belirtilen deprem ivmesi değerinin aşılması nedeni ile Fay Hatlarına Yakın Bölgelerde kaydedilen maksimum yatay ivme değerlerinin bina tasarımındaki önemi incelenmiştir.

Kaydedilen Doğu-Batı ve Kuzey-Güney yatay ivmelerinin bileşkesinin hesabında Mohr Yöntemi kullanılmış, hesaplanan asal deprem ivmelerinin kaydedilen deprem ivmesi değerlerinden biraz daha büyük değerler olduğu görülmüştür.

SAP2000 programı ile Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak, mevcut yönetmelikte belirtilen ivmeye, 13 Mart 1992 Erzincan depreminde kaydedilen en büyük yatay ivmeye ve hesaplanan asal ivmeye göre betonarme bir yapının analizi yapılmıştır.

Boore Yöntemi kullanılarak, yatay ivme değerlerinin fay hattına dik doğrultuda uzaklaştıkça azalımı incelenmiştir.

Ayrıca, deprem yönünde ve dik doğrultuda oluşan bina hasarlarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Fay Hatlarına Yakın Bölgeler, Mohr Yöntemi, Asal Deprem İvmeleri, Boore Yöntemi, Deprem Yönü

ABSTRACT

BUILDING DESIGN IN THE REGIONS CLOSE TO THE FAULT LINES

KOÇAK, Ayhan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Eng., M. Sc. Thesis

Supervisor : Asist. Prof. Dr. Orhan DOĞAN

November 2006, 160 Pages

Major part of Turkey is under the earthquake risk. Many people died and many buildings were damaged or collapsed due to earthquakes in the past. To avoid from these losses in the future, it is necessary that the earthquake and its impact on buildings should be evaluated in a better way and they must be designed or repaired/strengthened according to these evaluations.

During some of the severe earthquakes in our country, it was understood that the horizontal accelerations determined in the directions of East-West and North-South, have exceeded the earthquake acceleration values which were recommended in the Turkish seismic code.

In this study, since earthquake acceleration exceeds the values recommended in the Turkish seismic code around the Northern Anatolia Fault Line, the importance

of horizontal acceleration values for building design, recorded close to the fault lines was examined.

The Mohr Method was used to calculate principle accelerations. It is found that the principle accelerations are slightly greater than accelerations recorded in the directions of East-West and North-South.

SAP2000 software was used to analyze a reinforced concrete building for three different cases using, maximum horizontal accelerations recorded during the Erzincan earthquake on 13 March 1992, accelerations recommended in the Turkish seismic code and the principle accelerations calculated with the mohr method.

Using the Boore Method, reduction of horizontal accelerations in the perpendicular direction was also examined.

In addition, the building damages occurred in parallel and perpendicular to earthquake directions were compared and evaluated.

Key Words : Regions Close To The Fault Lines, Mohr Method, Principle Earthquake Accelerations, Boore Method, Earthquake Direction

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamda konu seçimi ve yönlendirmeleriyle yardımcı olan danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN'a, kaynak bulmamda yardımcı olan Dr. Murat NURLU'ya, tecrübelerinden faydalandığım İnő. Yük. Müh. Osman ÖZTEKİN ve Yasin ÇAĞLAR'a, bugünkü bilgi seviyeme ulaőmamda katkısı olan tüm Ğretim elemanlarına, yardım ve desteğini esirgemeyen eőim Hatice'ye, tüm arkadaőlarıma ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kaynak Özetleri	3
1.2. Çalışmanın Amacı	6
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
2.1. Fay Oluşumu ve Tipleri	7
2.1.1. Normal Fay.....	7
2.1.2. Ters Fay.....	8
2.1.3. Doğrultu Atımlı Fay	9
2.2. Faylanma ve Fay Zonunda Hasar	10
2.3. Fayların İnşaat İşlerinde Önemi.....	11
2.4. Türkiye Sınırları İçerisindeki Önemli Faylar	14
2.4.1. Kuzey Anadolu Fayı	14
2.4.2. Doğu Anadolu Fayı.....	16
2.4.3. Ege Graben Sistemi	17
2.4.4. Helenik-Kıbrıs Yayı	18
2.4.5. Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi	18

2.4.6. Orta Anadolu Ova Bölgesi	19
2.5. Deprem Oluşumu	19
2.6. Sismik Dalgalar	21
2.7. Deprem Parametreleri	23
2.7.1. Odak Noktası (Hiposantr)	23
2.7.2. Dış Merkez (Episantr).....	23
2.7.3. Odak Derinliği	24
2.7.4. Eşşiddet (İzoseit) Eğrileri.....	24
2.7.5. Şiddet	25
2.7.6. Magnitüd	26
2.7.6.1. M-Log E İlişkisi	30
2.7.6.2. Magnitüd Çeşitleri	32
2.7.6.2.1. Süreye Bağlı Büyüklük (M_d)	32
2.7.6.2.2. Lokal Yerel Cisim Dalgası Magnitüdü (M_L).....	32
2.7.6.2.3. Cisim Dalgası Magnitüdü (M_b)	33
2.7.6.2.4. Yüzey Dalgası Magnitüdü (M_s).....	33
2.7.6.2.5. Moment Büyüklüğü (M_w)	33
2.7.6.2.6. Sismik Moment (M_o)	34
2.8. Deprem Bölgeleri Haritası.....	35
2.9. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları	38
2.9.1. Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi	39
2.9.2. İvme-Ölçerler ve Özellikleri	41
2.9.3. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtlarının Önemi.....	41
2.10. Depremin İvmesi	42
2.10.1. Etkin Yer İvmesi Katsayısı	43

2.10.2. Pik ivme	44
2.11. Yer Hareketi Azalım İlişkileri	46
2.11.1. Pik İvme Azalım İlişkisi	47
2.12. Moment Magnitudü (M_w) Dönüşümleri	55
2.13. Kastamonu İlinin Deterministik Deprem Tehlikesi	55
2.14. Mikrobölgeleme	57
2.15. Diri Faylar Etrafında Tampon Bölge (Emniyetli Kuşak) Oluşturma	
Esasları – Fay Yasası.....	58
2.16. Yurdumuzdaki Önemli Depremler.....	70
2.16.1. 13 Mart 1992 Erzincan Depremi	72
2.16.2. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi	75
2.16.2.1. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Yer Hareketi	
Doğrultusunun Özellikleri İle Adapazarı Minarelerindeki	
Yapısal Hasar Arasındaki İlişkiler	80
2.16.2.1.1. Kuvvetli Yer Hareketinin Gözlenmesi ve	
Özelliklerinin Belirlenmesi	80
2.16.2.1.2. Minare Hasarı Araştırmasında Yer Hareketi	
Doğrultusunun Önemi	81
2.16.2.1.3. Yer Hareketi Doğrultusuyla Bina Hasarları	
İstatistiklerinin Yapılması	84
2.16.3. 12 Kasım 1999 Düzce Depremi	87
2.16.4. 03 Şubat 2002 Eber ve Çay Depremleri	90
2.16.4.1. Hasar Dağılımında Etkili Olan Etkenler.....	91
2.16.4.1.1. Hasar-Deprem Karakteristik ilişkisi	91
2.16.4.1.2. Hasar-Yapı İlişkisi	92

2.16.4.1.3. Hasar-Zemin ilişkisi	92
2.16.4.1.4. Hasar-Topoğrafya-Fay Geometrisi-Odaklanma Etkisi-Dalga Yayılma Yönü İlişkisi.....	93
2.17. Büyük Depremlerin Odak Mekanizması Çözümleri	94
2.18. Asal Deprem İvmelerinin Hesabında Mohr Yöntemi	94
2.19. Analiz Yöntemleri	95
2.19.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	95
2.19.1.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Adımları	96
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	109
3.1. Ülkemizde Meydana Gelen ve Deprem Bölgesi İvmesi Değerini Aşan Büyük Depremler	109
3.2. Depremlerin Asal İvmelerinin Mohr Yöntemiyle Hesaplanması	111
3.3. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Model Analizler.....	113
3.3.1. Yapı Modeli.....	113
3.3.2. Analiz Kriterleri.....	113
3.3.3. Yapının Yönetmelikte Verilen Birinci Derece Deprem Bölgelerinde Uygulanan Deprem İvmesine Göre Analizi	115
3.3.3.1. Fiktif Yüğülerin Hesabı.....	115
3.3.3.2. Kat Deplasmanlarının Hesabı	115
3.3.3.3. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Hesabı	115
3.3.3.4. Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabı.....	116
3.3.3.5. Eşdeğer Kat Deprem Yüğülerinin Hesabı	117
3.3.3.6. Eşdeğer Kat Deprem Yüğülerinin $\pm 5\%$ Eksantrik Olarak Yapıya Yüğülenmesi ve Kat Deplasmanları Hesabı.....	117
3.3.3.7. A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü	117

3.3.3.8. Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü	118
3.3.3.9. İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü.....	119
3.3.4. Model'in 13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Kaydedilen En Büyük Yatay İvmeye Göre Analizi	119
3.3.4.1. Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabı.....	119
3.3.4.2. Eşdeğer Kat Deprem Yüğülerinin Hesabı	120
3.3.4.3. Eşdeğer Kat Deprem Yüğülerinin \pm %5 Eksantrik Olarak Yapıya Yüğülenmesi ve Kat Deplasmanları Hesabı.....	120
3.3.4.4. A1 Burulma Düzensizliğı Kontrolü	121
3.3.4.5. Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü	121
3.3.4.6. İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü.....	121
3.3.5. Model'in 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Asal İvmesine Göre Analizi.....	122
3.3.5.1. Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabı.....	122
3.3.5.2. Eşdeğer Kat Deprem Yüğülerinin Hesabı	122
3.3.5.3. Eşdeğer Kat Deprem Yüğülerinin \pm %5 Eksantrik Olarak Yapıya Yüğülenmesi ve Kat Deplasmanları Hesabı.....	123
3.3.5.4. A1 Burulma Düzensizliğı Kontrolü	123
3.3.5.5. Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü	123
3.3.5.6. İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü.....	124
3.4. Fay Hattından Dik Doğrultuda Uzaklaştıkça Yatay Deprem İvmesinin Azalımı	127
3.4.1. Ülkemizde Meydana Gelen Büyük Depremlerde Deprem Bölgesi İvmesi Değerinin Aşıldığı Mesafeler.....	127
3.4.2. Birinci Derece Deprem Bölgesi İçin Kabul Edilen Deprem İvmesinin	

Aşıldığı Mesafeler	130
3.4.3. Birinci Derece Deprem Bölgesi İçin Kabul Edilen Deprem İvmesinin Aşılmadığı Mesafeler.....	131
3.5. Deprem Yönü Etkisi	133
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	135
KAYNAKLAR	138
EK-1. Deprem Araştırma Dairesi, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi İvme Kayıtları	143
EK-2. Deprem Araştırma Dairesi, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi İvme Kayıtları	144
EK-3. Deprem Araştırma Dairesi, 27 Ocak 2003 Pülümür Depremi İvme Kayıtları	145
EK-4. Deprem Araştırma Dairesi, 01 Mayıs 2003 Bingöl Depremi İvme Kayıtları	146
EK-5. Deprem Araştırma Dairesi, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi İvme Kayıtları	147
EK-6. Deprem Araştırma Dairesi, 30 Eylül 1983 Erzurum Depremi İvme Kayıtları	148
EK-7. Deprem Araştırma Dairesi, 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi İvme Kayıtları	149
EK-8. Deprem Araştırma Dairesi, 06 Haziran 2000 Çankırı-Çerkeş Depremi İvme Kayıtları	150
EK-9. Deprem Araştırma Dairesi, 01 Eylül 1995 Dinar Depremi İvme Kayıtları.	151
EK-10. Deprem Araştırma Dairesi, 03 Şubat 2002 Afyon-Eber Depremi İvme Kayıtları	152

EK-11. Deprem Araştırma Dairesi, 20 Eylöl 2005 İzmir Depremi İvme Kayıtları .	153
EK-12. 12 Kasım 1999 Düzce Depreminin Odak Mekanizması Çözümü	154
EK-13. 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Odak Mekanizması Çözümü	155
EK-14. 30 Ekim 1983 Erzurum Depreminin Odak Mekanizması Çözümü	156
EK-15. 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depreminin Odak Mekanizması Çözümü	157
EK-16. 06 Haziran 2000 Çankırı-Çerkeş Depreminin Odak Mekanizması Çözümü.....	158
EK-17. 01 Ekim 1995 Dinar Depreminin Odak Mekanizması Çözümü	159
EK-18. 03 Şubat 2002 Afyon-Eber Depreminin Odak Mekanizması Çözümü	160

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Şekil 2.1. Normal Fay	7
Şekil 2.2. Ters Fay	8
Şekil 2.3. a) Graben, b) Horst.....	8
Şekil 2.4. Doğrultu Atımlı Fay	9
Şekil 2.5. Birbirine Sürtünerek Hareket Eden Levhalar: A) Kuzey Anadolu Fayı ile B) San Andreas Fayının Karşılaştırması.....	9
Şekil 2.6. Türkiye Haritası Üzerinde Önemli Fayların Gösterimi.....	15
Şekil 2.7. Deprem Oluşum Mekanizması	20
Şekil 2.8. Cisim dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar: a) P dalgası; b) SV dalgası	21
Şekil 2.9. Yüzey dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar: a) Rayleigh dalgası; b) Love dalgası	22
Şekil 2.10. Odak Noktası, Dış Merkez ve Sismik Deprem Dalgalarının Yayılışı	23
Şekil 2.11. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.....	37
Şekil 2.12. Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi (İvme-Ölçer Ağı)	40
Şekil 2.13. PHA ve MMI arasında önerilen ilişki	46
Şekil 2.14. Değişik azalım ilişkilerine göre M=5.5, M=6.5 ve M=7.5 depremlerinin pik yatay ivmelerinin mesafe ile değişimi: a) Campbell ve Bozorgnia (1994), yumuşak kaya sahaları ve doğrultu atımlı faylanma; b)Boore vd. (1993), zemin sınıfı B; c) Toro vd. (1994) ve d) Youngs vd. (1988), blok içi depremleri	52

Şekil 2.15. Boore vd. (1997) azalım ilişkisine göre, $M_w = 7.4$ için $a_y = f$ (zemin türü, faya dik uzaklık) değişimleri.....	53
Şekil 2.16. Boore vd. (1997) azalım ilişkisine göre; Maksimum yatay yer ivmesinin (a_y) depremin moment büyüklüğü (M_w), a) $M_w = 7.5$, b) $M_w = 6.5$ için, kayma dalgası hızlarına (V_s) göre değişimi	54
Şekil 2.17. Kastamonu ili eş-şiddet ve eş-ivme haritası	56
Şekil 2.18. San Andreas Fayı'nın Carrizo Plain, Wallace Creek bölgesinde tampon bölge oluşturmaya bir örnek	62
Şekil 2.19. Fay Sarplığına göre en düşük (minimum) emniyetli uzaklık sınırının şematik gösterimi	69
Şekil 2.20. 10 000 yıllık depremselliği esas alan şiddet (I) eğrileri	71
Şekil 2.21. 10 000 yıllık depremselliği esas alan en büyük ivme eğrileri (%g).....	72
Şekil 2.22. 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin a) Doğu-Batı, b) Kuzey-Güney, c) Düşey Bileşenlerinin İvme Kayıtları	74
Şekil 2.23. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin İvme Kayıtlar	78
Şekil 2.24. 17 Ağustos 1999 İzmit körfezi depremi ana şokuna ait en büyük ivme değerlerinin ($PGA^* = \%g$) dağılımı	81
Şekil 2.25. Adapazarı şehir planı haritasında minarelerin dağılımı	82
Şekil 2.26. Minarelerin Hasar Fotoğrafları	83
Şekil 2.27. 17 Ağustos İzmit Körfezi depremi yüzey kırığı	84
Şekil 2.28. Sakarya ve İzmit caddelerindeki bina hasar yüzdeleri	85
Şekil 2.29. Minare, yapı ve altyapı hasarı.....	86
Şekil 2.30. 12 Kasım 1999 Düzce Depreminin İvme Kayıtları.....	89
Şekil 2.31. Asal Deprem İvmelerinin Hesabında Mohr Yöntemi	94
Şekil 2.32. Fiktif yükler ve yerdeğiştirmeleri	97

Şekil 2.33. Tasarım ivme spektrum grafiği.....	103
Şekil 2.34. Kat hizalarına etkiyen eşdeğer deprem yükleri.....	105
Şekil 2.35. Kaydırılmış kütle merkezleri	106
Şekil 3.1. Yapı Normal Kat Planı	113
Şekil 3.2. Yapının 3 Boyutlu Görünümü	114
Şekil 3.3. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine Göre, Yapının Merkezindeki Kolona Ait Kesme Kuvveti Diyagramları; a) I. Derece Deprem Bölgesi İçin, b) 13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Kaydedilen En Büyük Yatay İvme İçin, c) 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Asal Deprem İvmesi İçin	125
Şekil 3.4. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine Göre, Yapının Merkezindeki Kolona Ait Moment Diyagramları; a) I. Derece Deprem Bölgesi İçin, b) 13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Kaydedilen En Büyük Yatay İvme İçin, c) 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Asal Deprem İvmesi İçin	126
Şekil 3.5. Birinci Derece Deprem Bölgesi İçin Kabul Edilen Deprem İvmesinin Aşıldığı Mesafeler	131

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Çizelge 2.1. Magnitüd, Şiddet Karşılaştırması.....	28
Çizelge 2.2. Episantr'ı Yakın Olan, Kısa Uzaklıkta Yayılan Enerjinin Teoriksel İncelenmesi	30
Çizelge 2.3. Büyük Depremlerden Alınmış En Büyük İvme Değerleri	40
Çizelge 2.4. Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)	43
Çizelge 2.5. Boore vd.(1993) azalım denkleminin katsayıları	50
Çizelge 2.6. Boore vd. (1997) azalım denkleminin katsayıları	51
Çizelge 2.7. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabileceği Binalar	96
Çizelge 2.8. Hareketli Yüğü Katılım Katsayısı (n)	100
Çizelge 2.9. Bina Önem Katsayısı (I)	101
Çizelge 2.10. Spektrum Karakteristik Periyotları (T_a , T_b)	102
Çizelge 2.11. Yerel Zemin Sınıfları.....	102
Çizelge 2.12. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R).....	104
Çizelge 3.1. 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Kaydedilen İvme Değerleri	109
Çizelge 3.2. 12 Kasım 1999 Düzce Depreminin Kaydedilen İvme Değerleri	110
Çizelge 3.3. 01 Mayıs 2003 Bingöl Depreminin Kaydedilen İvme Değerleri	110
Çizelge 3.4. Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Doğrultusu ve D-B Yönü İle Yaptıkları Açı	111
Çizelge 3.5. Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Doğrultusu ve D-B Yönü İle Yaptıkları Açı	111
Çizelge 3.6. Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Kaydedilen En	

Büyük Yatay İvmeleri İle Hesaplanan En Büyük Asal İvmelerinin ve Deprem Bölgesi İvmelerinin Kıyaslanması	112
Çizelge 3.7. Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Kaydedilen En Büyük Yatay İvmeleri İle Hesaplanan En Büyük Asal İvmelerinin ve Deprem Bölgesi İvmelerinin Kıyaslanması	112
Çizelge 3.8. Yapıya Ait Fiktif Yüklerin Hesabı	115
Çizelge 3.9. Yapıya Ait Kat Deplasmanlarının Hesabı	115
Çizelge 3.10. Yapıya Ait Rayleigh Oranı İle T_1 'in Hesabı.....	116
Çizelge 3.11. Yapıya Ait Eşdeğer Kat Deprem Yükleri	117
Çizelge 3.12. Yapıya Ait Kat Deplasmanları.....	117
Çizelge 3.13. Yapıya Ait Burulma Düzensizliği Kontrolü	118
Çizelge 3.14. Yapıya Ait Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü.....	118
Çizelge 3.15. Yapıya Ait İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü	119
Çizelge 3.16. Yapıya Ait Eşdeğer Kat Deprem Yükleri.....	120
Çizelge 3.17. Yapıya Ait Kat Deplasmanları.....	120
Çizelge 3.18. Yapıya Ait Burulma Düzensizliği Kontrolü	121
Çizelge 3.19. Yapıya Ait Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü.....	121
Çizelge 3.20. Yapıya Ait İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü	121
Çizelge 3.21. Yapıya Ait Eşdeğer Kat Deprem Yükleri.....	122
Çizelge 3.22. Yapıya Ait Kat Deplasmanları.....	123
Çizelge 3.23. Yapıya Ait Burulma Düzensizliği Kontrolü	123
Çizelge 3.24. Yapıya Ait Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü.....	123
Çizelge 3.25. Yapıya Ait İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü	124
Çizelge 3.26. Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Magnitud Değerlerinin M_w Dönüşümleri	127

Çizelge 3.27. Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Magnitüd Değerlerinin M_w Dönüşümleri	128
Çizelge 3.28. Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerde Deprem Bölgesi İvmelerinin Aşıldığı Mesafeler	129
Çizelge 3.29. Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerde Deprem Bölgesi İvmelerinin Aşıldığı Mesafeler	129
Çizelge 3.30. Birinci Derece Deprem Bölgesi İçin Kabul Edilen Deprem İvmesinin Aşıldığı Mesafeler	130
Çizelge 3.31. Birinci Derece Deprem Bölgesi İçin Kabul Edilen Deprem İvmesinin Aşılmadığı Mesafeler.....	132
Çizelge 3.32. Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Yatay İvmeler Bakımından Kıyaslanması	133
Çizelge 3.33. Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Yatay İvmeler Bakımından Kıyaslanması	133

1. GİRİŞ

Önceden bir uyarı olmadan meydana gelmesi yönünden deprem, doğal afetler arasında kendine has bir özelliğe sahiptir. Deprem meydana gelmeden önce bazı ön işaretler görülebilse de, günümüzde depremin önceden tahmin edilmesi konusunda güvenilir sonuçlar henüz mevcut değildir. Güvenilir bir uyarı sisteminin henüz mevcut olmaması, yapıların depreme karşı dayanıklı düzenlenerek, depremin etkilerinden korunmanın sağlanması gerektiğini ortaya çıkarmıştır.

Doğal afetlerin en önemlilerinden biri olan deprem, yerkabuğunun bir titreşimi olduğu için, yapıların mesnetlerinde zamana bağlı bir yerdeğiştirme hareketi doğurarak dinamik bir etki oluşturur. Özellikle depremin sık ve şiddetli olduğu ülkeler için bu titreşim hareketinin incelenmesi Yapı Dinamiği'nin ana problemlerinden biridir. Depreme dayanıklı yapı tasarımının önemli iki adımından biri yapının iyi düzenlenmesi ve yeterli kalitede olması, diğeri ise, bu yapıda depremin oluşturması beklenen kesit zorlarının yeterli yaklaşıklıkla belirlenerek karşılanmasıdır. Deprem etkisi, yapıları alışılmış yüklerin üzerinde zorlayarak, yapının tasarımında ve uygulanmasında yapılmış hataları ortaya çıkarır⁽¹⁾.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı yapıda rijitlik, süneklik, dayanım, enerji tüketme gücü özelliklerinin en iyi karışımı ile gerçekleştirilir. Yapılarda bu karışımlarda temel prensiplerin en iyi şekilde uygulanması ile depreme dayanıklı yapı tasarımı oluşturulur.

Deprem yönetmeliğinin özünde, yapıların sık olan orta büyüklükteki depremlerde önemli bir hasar görmemesi, şiddetli depremlerde ise içindeki canlılara zarar gelmeden stabilitesini koruması gerektiği bildirilmiştir.

Depreme dayanıklı yapı kavramının geliştirilmesinde, deprem sırasında yapılara etki eden kuvvetlerin belirlenmesi gerekir. Bu kuvvetler altında yapının davranışına, yapının türü göz önüne alınarak karar verilir. Ayrıca ekonomik kısıtlamalar, yapıda olması gereken dayanımın, güvenliğin ve estetiğin birlikte olması ile gerçekleştirilir. Yapıların hasar görme riski ve hasar düzeyi ne kadar küçülürse yapı maliyeti o kadar artar. Depremde yapı riskini yapının ekonomisi ile dengeleyen, bir yapı tasarımı yapılması gerekmektedir⁽²⁾.

Türkiye bir deprem ülkesidir. Türkiye dünyadaki etkin deprem kuşaklarından Alp-Himalaya Kuşağı üzerinde bulunan, Kuzey Anadolu Fay Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonu ve Batı Anadolu Fay Sistemi gibi çok sayıda diri fayın etkinliğini sürdürdüğü bir ülkedir. Türkiye'deki depremlerin çoğunluğu bu belirtilen faylar üzerinde oluşmaktadır. Ayrıca Türkiye ekonomisi ve sanayisi fay hatları üzerinde kurulmuştur⁽³⁾.

Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir.

Son 58 yıl içerisinde depremlerden, 58.202 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 122.096 kişi yaralanmış ve yaklaşık olarak 411.465 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Sonuç olarak denilebilir ki, depremlerden her yıl ortalama 1.003 vatandaşımız ölmekte ve 7.094 bina yıkılmaktadır⁽⁴⁾.

Depremlerin oluşturacağı tehlikelerden korunmak için, fay hatlarının tam üzerine bina yapılmamalıdır. Ayrıca fay hatlarına yakın bölgelere bina yapılırken gerekli önlemler alınmalıdır. Bölgede geçmişte meydana gelmiş depremler ve depremin yönü gibi konulara muhakkak dikkat edilmesi gerekir.

1.1. Kaynak Özetleri

Özmen ve diğ., “Coğrafi Bilgi Sistemi İle Deprem Bölgelerinin İncelenmesi” bu çalışmada, son yıllarda oldukça yaygınlaşan ve birçok meslek dalı tarafından kullanılmaya başlanılan Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı kullanılarak en son yayınlanan Deprem Bölgeleri Haritası ile ilgili bazı istatistiki çalışmalar yapmaktır. Bu çalışma ile, her deprem bölgesinin kaç km² alan kapladığı, her zonda ne kadar insan yaşadığı, yerleşim birimleri ve enerji santralleri gibi önemli yapıların hangi zonda olduğu belirlenmiştir. Ayrıca hasar yapan depremlerin ve bilinen diri fayların deprem bölgeleri haritası üzerinde nasıl bir dağılım gösterdiği tesbit edilmiştir. Sonuçlar şekil, tablo ve grafikler halinde gösterilerek daha açık ve çarpıcı hale getirilmeye ve deprem bölgeleri haritası ile ilgili akla gelebilecek sorulara yanıt bulunması sağlanarak bir başvuru yayını oluşturulmaya çalışılmıştır⁽¹⁵⁾.

Atımtay, E., “Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Betonarme Yapılar)”, bu kitapta, 1. derece deprem bölgelerinde, fay hattına yakın bölgelerde, etkin yer ivmesinin 0.4g’den büyük olabileceği, bu bölgelerde ve özellikle önemli yapılar için, uzmanlar tarafından “mikrozon” çalışması yapılarak oluşabilecek maksimum ivmenin özel olarak saptanması belirtilmiştir⁽¹⁹⁾.

Erdik ve diğ., “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Deprem Yer Hareketinin Belirlenmesi”, bu çalışmada ilk aşamada konut, köprü, viyadük, baraj, boru hattı gibi bir seri değişik yapı tipi için, dünyada yaygın olarak kullanılan tasarım yönetmeliklerinde, yer hareketinin ne şekilde kapsandığı özetlenmiş, ardından deprem yer hareketinin probabilistik ve deterministik olarak tanımlanması örneklerle anlatılmış ve son olarak deprem yer hareketinin zaman tanım aralığındaki benzeşimi bu konuda var olan temel yaklaşımların ele alınmasından sonra örneklerle açıklanmıştır⁽²⁰⁾.

Erdik ve diğ., “Earthquake Hazard in Marmara Region” bu çalışmada, ülkemizde kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi verilerinin California verileri kullanılarak elde edilen azalım ilişkileri ile uyum sağladığını göstermektedir⁽²¹⁾.

Arıoğlu ve diğ., “Doğu Marmara depreminin yer ivme değerleri açısından değerlendirilmesi” bu çalışmada, kullanım basitliği, kimi karmaşık ve daha güncel ivme azalım ifadelerine uyumlarından ötürü Boore, Joyner ve Fumal (1993,1997) ivme azalım bağıntıları belirli bir ayrıntı içinde sunulmuş, daha sonra 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara depreminde ölçülen 14 adet maksimum yer ivme değeri anılan bağıntılarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, düşey ivme ile yatay ivme büyüklükleri arasında ve değiştirilmiş Mercalli Şiddeti ile maksimum yatay yer ivmesi arasında çıkartılmış regregasyon bağıntıları tartışılmaya açılmıştır⁽²²⁾.

Deniz, A., “Estimation of Earthquake Insurance Premium Rates for Turkey”, bu çalışmada, ortogonal regregasyon yöntemini ve son yüzyıl içerisinde ülke çapında meydana gelmiş bütün depremlerden oluşan bir veri tabanı kullanarak bir dizi moment magnitüdü (M_w) dönüşüm ilişkileri elde edilmiştir^(23,24).

Özmen, B., “Kastamonu İlinin Depremselliği ve Deprem Tehlikesi” bu çalışmada, Kastamonu ilinin depremselliği, deprem tehlikesi incelemiş ve son yayımlanan Deprem Bölgeleri Haritasından farklı olarak deterministik yöntem kullanarak Kastamonu ilinin eş-şiddet ve eş-ivme dağılım haritaları hazırlanmıştır⁽²⁵⁾.

T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Laboratuvarlar Şube Müdürlüğü, tarafından yürütülmekte olan mikrobölgeleme çalışmaları ile ülkemizin çeşitli bölgelerinde taban kayaya kadar yer alan bütün zemin tabakalarının geometrik, fiziksel, mekanik ve dinamik özelliklerinin tayin edilmesi ayrıca, genişçe bir bölgenin faylanma durumu incelenerek aktif veya pasif fay kuşağına göre sahanın durumu tespit edilmektedir⁽²⁸⁾.

Demirtaş, R., “Diri Faylar Etrafında Tampon Bölge (Emniyetli Kuşak) Oluşturma Esasları-Fay Yasası” bu yazıda, Kaliforniya Eyaleti’nde bilinen diri faylar etrafında tampon bölgeler oluşturulmasına ilişkin ölçütleri içeren yasal düzenlemelerden bahsedilmiştir⁽²⁹⁾.

Sömer, A., “17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Yer Hareketi Doğrultusunun Özellikleri İle Adapazarı Minarelerindeki Yapısal Hasar Arasındaki İlişkiler” bu çalışmada, yer hareketinin özelliklerini ve 17 Ağustos 1999 depremi esnasında yapısal hasar ile odaktan çıkan yer hareketi doğrultusunun hesaplanması amaçlanmıştır. Burada yer hareketi doğrultusunun saptanmasında, camii minarelerinin hasarı kullanılmıştır. Şehirde hasar gören bölgeler ile 28 adet minarenin durumu irdelenmiştir. Adapazarı’nda bina hasar tespiti ise, birisi yer hareketi doğrultusuna paralel, diğeri ise dik konumda olan iki cadde boyunca yapılmıştır⁽³⁴⁾.

Demirtaş ve diğ., ‘‘03 Şubat 2002 Eber ve Çay Depremleri’’ çalışmalarında, hasar dağılımında etkili olan etkenler bölümünde, fay doğrultusuna paralel bir hat boyunca hasarların yoğunlaşmış olduğunu belirtmişlerdir⁽³⁷⁾.

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, ülkemizde meydana gelmiş büyük depremlerin odak mekanizması çözümlerini yapmıştır, bu çalışma bize fayın kırılma doğrultusundaki ivmesinin hesaplanmasında yardımcı olacaktır⁽³⁸⁾.

1.2. Çalışmanın Amacı

Ülkemizde geçmişte çok büyük ölçekli depremler olmuş ve büyük can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Gelecekte de farklı büyüklükte depremler beklenmektedir. Ancak can ve mal kaybını en aza indirmek gerekmektedir. Bunun içinde yapılarımızı tasarlarken depremin etkilerini çok iyi bilmemiz gerekir.

Bu çalışmanın amacı iki grupta toplanmıştır. Birincisi, büyük depremlerin oluşturdukları yatay ivmelerin, fay hatlarına yakın bölgelerde yapılan yapılara olan etkilerinin yönetmeliklerde belirtilen değerlerin çok üzerinde gerçekleştiğinin ve buna göre 1. bölgeden daha riskli bir bölgenin varlığının ortaya konması, ikincisi ise fay hattına paralel yönde yatay ivme değerlerinin, faya dik doğrultuda ivme değerlerinden çok daha büyük ölçekte olduğu ve yapı tasarımlarında ve proje analizlerinde dikkate alınması konusundadır.

Sonuç olarak yapılacak bir projede bu iki önemli hususun önceden bilinmesi ve taşıyıcı sistem tasarımının bu doğrultuda yapılması gerekir.

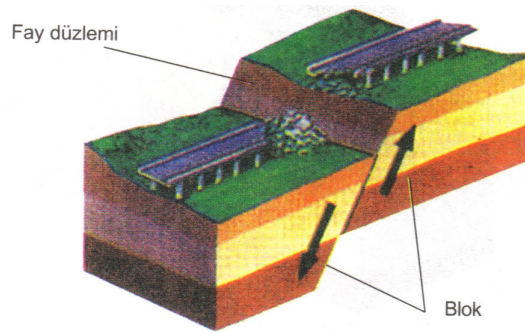
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Fay Oluşumu ve Tipleri

Kıtasal kabuk levhalarının, yan yana geldikleri orojenik kuşaklarda, birbirlerine doğru hareket etmelerinden dolayı, yer kabuğunun kendisi ile okyanuslar ve denizlerin tabanındaki sedimanter kayalar birlikte, üst üste bulunan defter sayfaları gibi kıvrılır ya da yırtılır-kırılırlar. Oluşan bu türden kırılmalara fay denilir. Faylar, yer kabuğundaki birbirine doğru hareket eden sıkışma kuvvetleriyle oluşabileceği gibi, birbirine göre ters yönde oluşan genişleme kuvvetleriyle de gelişebilirler. Üç tipte fay oluşur: Normal fay, ters fay ve doğrultu atımlı fay. Fayın her iki tarafında kalan kaya kütlelerine blok denir. Yeryüzündeki fay çizgisinin derinlere uzanan şekline de fay düzlemi denir (Şekil 2.1)⁽⁵⁾.

2.1.1. Normal Fay

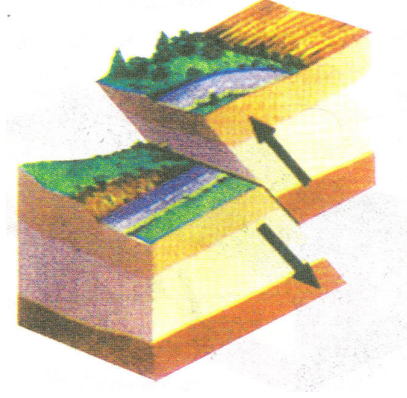
Fay düzlemi eğimli olan ve bu düzlem üzerindeki bloğu da aşağıya doğru hareket etmiş olan faylara normal fay denir⁽⁵⁾.



Şekil 2.1 Normal Fay

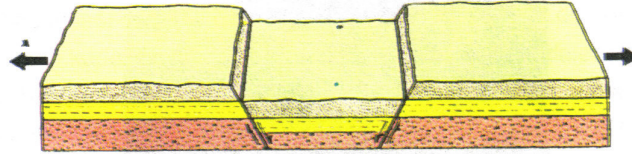
2.1.2. Ters Fay

Fay düzlemi eğimli olan ve bu düzlem üzerindeki bloğu da yukarıya doğru hareket etmiş olan faylara ters fay denir⁽⁵⁾.

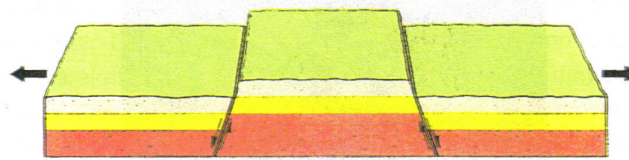


Şekil 2.2 Ters Fay

Normal ve Ters fayların hareketliliğiyle birlikte gelişen topoğrafik yükselim alanlarına horst, çöküntü alanlarına ise graben denir⁽⁵⁾.



a) Graben (Çöküntü)

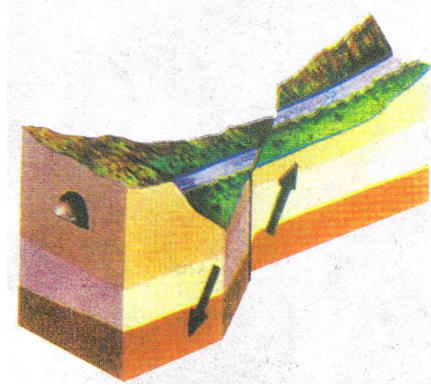


b) Horst (Yükselti)

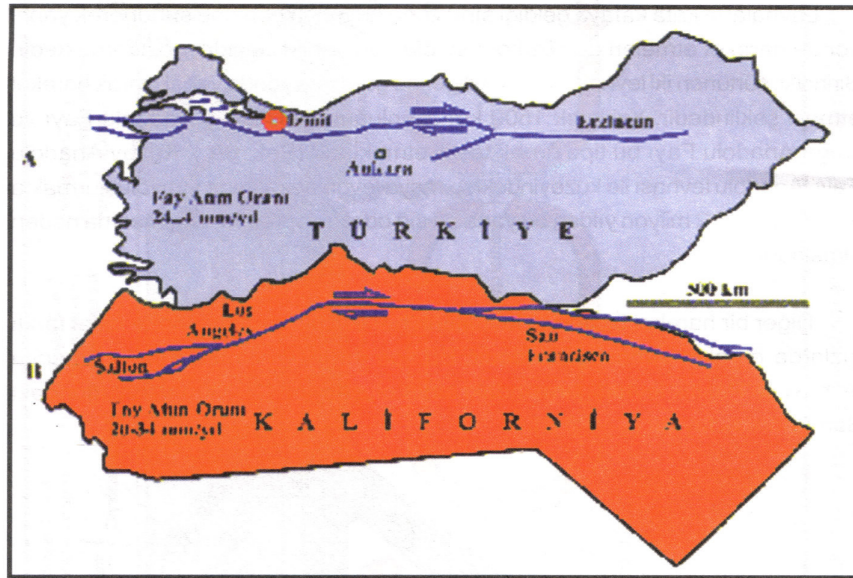
Şekil 2.3. a) Graben, b) Horst

2.1.3. Doğrultu Atımlı Fay

Fay düzlemi düşey olan ve bu düzlemin iki tarafındaki blokları, yatay olacak şekilde birbirinden ters yönde hareket etmiş olan faylara doğrultu atımlı fay denir⁽⁵⁾.



Şekil 2.4 Doğrultu Atımlı Fay



Şekil 2.5 Birbirine Sürtünerek Hareket Eden Levhalar: A) Kuzey Anadolu Fayı ile B) San Andreas Fayının Karşılaştırması (USGS Web Sitesi)

2.2. Faylanma ve Fay Zonunda Hasar

Aktif olarak bilinen faylı bölgeler, deprem sırasında daha kolay deformasyona uğramakta ve sonucunda hasarın artmasına neden olmaktadır. Birçok yerlerde fayın geçtiği yörede hasarın arttığı görülmüştür⁽⁶⁾. Önemli yapıların projelendirilmesinde aktif faya uzaklık ve diğer sismolojik parametrelerin gözönünde bulundurulması gerekir⁽¹⁾.

Fakat, zeminlerin homojen bulunmaması ve yapı tipleri ile olan ilişkileri yönünden faya olan uzaklık ile orantılı olarak hasarın azalacağı söylenemez. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminde, deprem merkezinde oluşan faydan çok uzakta bulunan Avcılarda hasarın fazla olması gibi. 28.03.1970 Gediz Depreminde, fay hattına çok yakın bulunan Aşıkpasha köyünde hasar az iken, daha uzaktaki köylerin tamamen yıkıldığı gözlenmiştir. 1976 Çaldıran Depreminde de aynı durumlar izlenmiştir. Araştırmalar, Deprem oluşumunda meydana gelen sismik dalgaların. Faylanmanın tipi ve şekliyle ilgili olduğunu ortaya koymuştur. Faylanmalarda görülen stres düşmesi oluşacak sismik dalgaların amplitüdüleri üzerinde etkili olmaktadır.

Fay düzlemine çok yakın yerlerde zemin ivmelerinin amplitüdüleri, depremin magnitüdünden daha fazla faylanma olayı yüzeye yakınlığına bağlı kalmaktadır. Depremler sırasında kayıt edilen zemin titreşimleri faydan uzaklaştıkça dispersiyon(kayaçların rijitliği-yoğunluğu) nedeniyle gittikçe sönmekte veya yerine göre artmaktadır.

Genelde fay zonlarındaki hasar, ters faylanmalarda yükselen tavan bloğu üzerine rastlayan bölgede, normal faylanmalarda düşük blok üzerinde yer hareketi daha şiddetlidir. Doğrultu atımlı faylarda fay doğrultusu boyunca hasar, uzak

mesafelere kadar giderken, faya dik, doğrultuda çok kısa mesafelerde hareketin şiddeti süratle azalmaktadır.

Kuzey Anadolu fay zonundaki 1939 Erzincan, 1944 Bolu, Gerede, 1957 Adapazarı, 1966 Varto, 1967 Adapazarı-Mudurnu, 1976 Çaldıran depremlerinde oluşan faylanmalarda bu durum görülmüştür⁽⁶⁾.

2.3. Fayların İnşaat İşlerinde Önemi

Faylar inşaat işlerinde büyük tehlike ve zarar verdiklerinden üzerinde daha fazla durulmakta ve ayrı bir önem verilmektedir. Fayların asıl tehlikesi, bilinmemesi, inşaaata başlamadan evvel görülmemiş, anlaşılmamış olmasıdır. Eğer faylar evvelden bilirse, ne kadar tehlikeli olursa olsun, önceden önlem alınır, temel sistemi ona göre seçilir, statik hesapları ona göre yapılır.

Faylar önceden bilinmeyerek, inşaaata başlandıktan sonra anlaşılacak olursa, inşaat yerlerinin, hesaplarının ve dolayısıyla projelerin değişmesine, zaman ve para kaybına ve hatta o yerin terk edilmesine sebep olur. Bundan dolayı, Türkiye gibi faylı, kırıklı arazisi geniş bir ülkede, inşaaata başlamadan önce, inşaat bölgesi ve civarının yapısal özellikleri ayrıntılı olarak saptanmalı ve jeolojik durumu inşaat mühendisliği açısından ele alınmalıdır.

Faylar çok zaman tek ve basit değildir ve dolayısıyla görülmesi ve tanınması kolay olmaz. Deneyimli kişiler uzun ve ayrıntılı çalışmalarla faylı bölgelerin özelliklerini meydana çıkarırlar, haritalara geçirirler, kesit ve çeşitli diyagramlarla bunları gösterirler.

Fayların ve fay bölgelerinin yapılara çeşitli etkileri vardır. Bunların en önemlileri:

a) Fay bölgesinin breşimsi ve iyi çimentolanmamış, yani «geçirimli» olması, ya da kille doldurulmuş «geçirimsiz» bulunması temele ters etki yapar. Geçirimli olması, yer altı sularının dolaşımını kolaylaştırır ve dolayısıyla, içsel sürtünmeyi azaltır. Kolloidal zemin parçacıklarını sürükler ve bazen de zeminde var olan tuzların yıkanmasına etki yapar. Farklı oturmalara ve boşluk suyu basıncına yol açar. Ayrıca, zeminin taşıma gücünü azaltır ve fazla yük altında erimeye ve bazen heyelana neden olur.

b) Fayların killiyle doldurulması, yeraltında geçirimsiz bir perdenin oluşumu ve farklı hidrostatik basıncın doğuşunu sağlar. Bu da yapıya direkt olarak etkir.

c) Faylar, bazen yer kabuğunun derinlerine kadar gider ve buralardan sıcak ve mineralize sular çıkar. Bu suların sıcaklık ve mineralizasyon derecesi, bize suların geldiği derinlik ve geçtiği bölgelerin litolojik karakteri hakkında fikir verir. Faylardan çıkan bu hidrotermal sular kayaçların fiziksel özelliklerinin değişmesine, yerine göre kaolenizasyonuna ve serpantinizasyonuna sebep olur. Bu iki olay da, inşaat işlerine, kazıya ve taşıma gücüne etki yapar. Sıcak suların varlığı, bir hat üzerinde dizilişi, gerilme çatlaklarının durumu, fay ve doğrultusunu gösteren en önemli belirtidir.

Fay zonlarında ya da çevrelerinde, mineralizasyon sonucu meydana gelen pirit ve markazit gibi kükürtlü mineraller, yüzey sularının etkisi ile oksidasyona uğrar; sülfirik asit oluşur. Bu asitli sular da yapıya, betona ya da harcına etkir; yapıyı zayıf duruma sokar.

d) Deprem bölgelerinde gelişebilen yatay ve düşey atımlı faylar mühendislik yapılarında daha da etkilidir ve daha hayatidir. Bundan dolayı yeryüzündeki faylar: «Aktif» ve «Pasif» olmak üzere iki kısma ayrılabilir.

Aktif Fay: Zamanımızda ve tarihi zamanlarda hareket etmiş olan ve herhangi bir gelecekte hareket etmesi olası bulunan faylardır.

Pasif Faylar: Büyük bir ihtimalle statik durumda olan ve hareketini tarihin kaydetmediği kırıklardır. Eski jeolojik devirlerde faal olan bu tip faylar, aktifliğini kaybetmiştir. Bu tip kırıkların hareket edip etmeyeceğini kestirmek ya da hareketin ne zaman olacağını söylemek bugünkü bilgilerimizle olası değildir.

Mühendislik işlerinde, baraj ve tünel yeri seçiminde planlamaya geçmeden önce, inşaat yerinin yapısal özellikleri ve faylar iyice tanınmış ve saptanmış olmalıdır. Çünkü fayın durumu seçilen yerin uygunluğuna, yapının maliyetine ve planlamaya etki eder. İlk araştırmalar arazide yüzey jeolojisi ile başlar, fay olması düşünülürse, daha ayrıntılı çalışmalar yapılır; yarma, sondaj, kuyu ve tünel açarak faylar incelenir. Hava fotoğraflarından yararlanılır. Jeofizik çalışmalar da bazı hallerde ve yerlerde yararlı olabilir.

Genellikle tabakalı kayalarda, faylar tabakaların eğimleri, dizilişleri ve birbirlerini izlemeleri ve tabaka yüzlerindeki işaretler yardımı ile kolayca tanınır. Fay breşleri, fay killeri, kırılmalar ve eğilmeler karakteristik belirtilerdir.

Topoğrafdaki dik şevler, ani değişimler, basamaklı yapı, fayların yerlerini saptamaya yardım eder. Yan vadilerin anormal kapanmaları, yan derelerin yönlerini birdenbire değiştirmeleri, bilhassa yatay faylarda çok görülür. Bundan dolayı fayların durumu hava fotoğrafları üzerinde izlenmelidir. Bugün bu yol, fotojeolojinin gelişmesini ve ayrı bir bilim dalı halini almasını sağlamıştır.

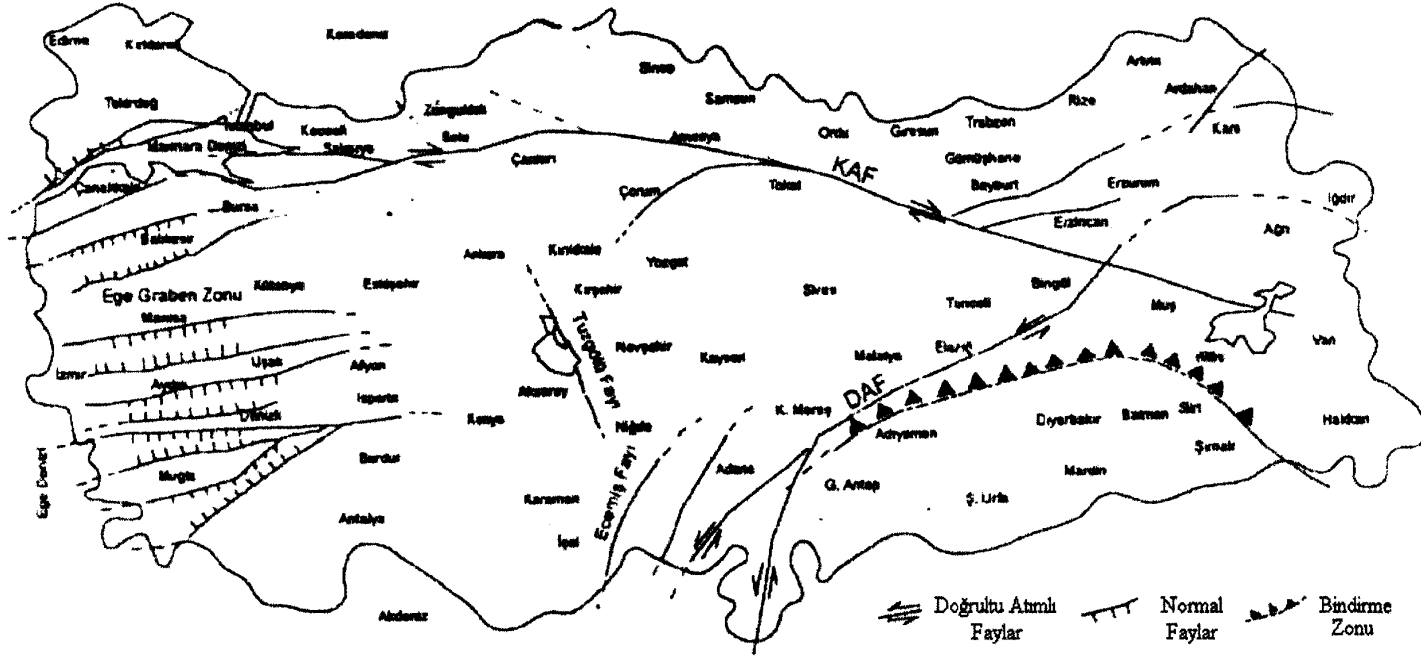
Fayların çeşitli mühendislik işlerine direkt olarak etki yaptığını yukarıda söylemiştik. Bunlardan bilhassa baraj yerleri, temel, tünel, yol ve aküdükler için ayrı ve ayrıntılı çalışmalar yapılmalıdır⁽⁷⁾.

2.4. Türkiye Sınırları İçerisindeki Önemli Faylar

2.4.1. Kuzey Anadolu Fayı

Kuzey Anadolu fayı, sismik olarak dünyanın en diri faylarından birisini oluşturur. Kuzey Anadolu fayının toplam uzunluğu yaklaşık 1000 km civarında olup, toplam atım miktarı 25 km'den daha fazladır.

1900-2000 yılları arasında Kuzey Anadolu fayı boyunca hasar yapıcı ve yüzey faylanması meydana getirmiş $M_s \geq 5.5$ olan orta ve büyük magnitudlü 36 deprem meydana gelmiştir. Son yüzyılda, özellikle 1939-1967 döneminde olmuş deprem serisi birçok araştırmacının dikkatlerini Kuzey Anadolu fayının üzerinde yoğunlaştırmıştır. Bu aralık içerisinde magnitudü 7.0 dan büyük yüzeyde faylanma oluşturmuş 6 deprem meydana gelmiştir. Bu depremler, fayın 800 km'den daha fazla bir bölümünü kırmıştır. 1939 Erzincan depremi, Türkiye'de oluşmuş en büyük deprem ($M_s=7.9$) olup, 32962 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu depremde Erzincan'dan Erbaa'ya oradan da Amasya'ya kadar uzanan 360 km uzunlukta yüzey faylanması meydana gelmiştir. Deprem 7.5 metreden daha büyük sağ yönlü yatay bir atım meydana getirmiştir (Ketin 1976). 1939 depremi, bu fay üzerinde 1939-1967 arasında olmuş diğer depremlerin oluşmasında tetikleyici rol oynamış ve depremler batıya doğru bir kayma eğilimi göstermiş ve daha sonra depremler fayın doğu ve batı ucunda yoğunlaşmıştır. En son 17 Ağustos 1999 ve 12 Kasım 1999 da İzmit Körfezi ve Düzce-Kaynaşlı depremleri fayın yaklaşık 160 km'lik bölümünü kırmıştır⁽⁸⁾.



Şekil 2.6 Türkiye Haritası Üzerinde Önemli Fayların Gösterimi⁽⁹⁾

2.4.2. Doğu Anadolu Fayı

Doğu Anadolu fayında, 1900-1995 arasında oluşmuş 10 depremin ($M_s \geq 5.5$) yer-zaman diyagramı ayrıntılı olarak incelenmiştir. DAF, sol yönlü doğrultu atımlı fay olması nedeniyle paleosismolojik olarak Kuzey Anadolu fayına büyük bir benzerlik göstermektedir.

Tarihsel kayıtlar, Doğu Anadolu fayının 1900-1995 yılları arasındaki dönemde olduğu gibi 1900'den önceki yüzyıl içerisinde de oldukça sakin bir sismik etkinlik göstermiştir. Dolayısıyla, bu fayda, önümüzdeki yüzyıl içerisinde Kuzey Anadolu Fayına benzer bir deprem serisine yol açması oldukça muhtemeldir. Bu fayda en azından 200 yıldır bir enerji birikimi olmaktadır. Bu açıdan sismik olarak oldukça yüksek bir potansiyel tehlike taşımaktadır.

Yukarıda da belirtildiği gibi, Doğu Anadolu fayı, yüzyılımızda ve önceki yüzyıl içerisinde olduğu gibi sismik olarak oldukça suskun bir dönem geçirmektedir. Bu faydaki sismik boşlukların dağılımları, muhtemelen Kuzey Anadolu Fayındaki 1939-1967 deprem serisine benzer bir deprem serisinin önümüzdeki yüzyıl içerisinde oluşabileceğini göstermektedir. Bu fayın kısa bir süre içerisinde tamamen kırılmasına neden olabilecek 1939 Erzincan depremine benzer bir büyük deprem tetikleme rolü üstlenebilir. Bu yüzden Doğu Anadolu Fayının bu işaret edilen sismik boşlukları civarında çalışmaların yoğunlaştırılması, deprem tehlikesinin belirlenmesi ve zararlarının en aza indirgenmesi açısından oldukça büyük önem taşımaktadır⁽¹⁰⁾.

2.4.3. Ege Graben Sistemi

Ege Graben sistemi, genel olarak D-B doğrultulu normal faylar ile sınırlandırılmış birçok bloklardan meydana gelmektedir. Bu bloklar arasında, D-B uzanımlı grabenler yer almaktadır. Bölge, genel olarak KKD-GGB yönlü bir çekme rejiminin etkisi altında bulunmaktadır.

Ege Graben sistemi içerisinde 1900-2000 yılları arasında hasar yapıcı ve yüzey kırığı meydana getirmiş $M_s \geq 5.5$ olan 33 deprem meydana gelmiştir⁽⁸⁾.

Ege Graben sistemi içerisinde 1900-1995 yılları arasında yıkıcı ve yüzey kırığı oluşturmuş depremlerin yer-zaman diyagramı incelendiğinde paleosismolojik olarak fayların davranışlarını etkileyen faktörlerden en önemlisinin, fay tipleri olduğu açıkça görülür. Fay tiplerine bağlı olarak fayların farklı davranışlar göstermesi doğrultu atımlı faylar olan KAF ve DAF ile Helenik yayı ve Bitlis Bindirme Kuşağını oluşturan ters faylar üzerinde oluşmuş depremlerin yer-zaman dağılımlarının karşılaştırılması ile daha kolay bir şekilde anlaşılabilir. Dünyanın değişik kesimlerinde yer alan faylar üzerinde yapılan paleosismolojik çalışmalar, doğrultu atımlı faylar ile normal atımlı faylar ve ters fayların birbirlerinden oldukça farklı davranışlar gösterdikleri sonucunu ortaya koymuştur. Normal atımlı faylarda depremlerin aynı fay segmenti üzerindeki tekrarlanma aralıkları doğrultu atımlı faylara nazaran oldukça uzun olurken aynı fayın komşu segmentleri arasındaki depremlerin oluşum zaman aralıklarının birbirlerine oldukça yakın oldukları görülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde Basin ve Range bölgesindeki normal atımlı fayların segmentlerinde bu karakteristik davranışlar oldukça açık bir şekilde gözlenmektedir.

Ege Graben sistemi içerisinde 1900-1995 yılları arasında oluşmuş yıkıcı ve yüzey kırığı meydana getirmiş depremlerin yer-zaman diyagramı incelendiğinde, depremlerin birbirine yakın segmentlerde oluştuğu görünmektedir. Bu yakın segmentlerde oluşan depremler zaman olarak birbirlerine oldukça yakındır. Bu bölgedeki depremler, genellikle birer çiftler şeklinde oluşmaktadır. Bölgenin birbirlerine bağlantılı birçok graben ve horstlardan meydana gelmesi nedeniyle, bir segmentde oluşan deprem diğer yakın segmentde tetikleme rolü oynamaktadır⁽¹⁰⁾.

2.4.4. Helenik-Kıbrıs Yayı

Helenik-Kıbrıs yayı, Türkiye'nin güney kıyısı yakınlarında, Girit adasının güneyinden geçerek kuzeydoğu yönünde Rodos adasının güneyinden Fethiye Körfezi'ne doğru uzanır.

Helenik-Kıbrıs yayının Türkiye'nin güneyinde uzanan bölümü boyunca, 1900-2000 yılları arasında toplam 13 hasar yapıcı deprem ($M_s \geq 5.5$) meydana gelmiştir. Bu hasar yapıcı depremlerden 11'i oldukça yoğun sismik etkinlik görünen Plini ve Strabo sol yönlü doğrultu atımlı faylarında meydana gelmiştir⁽⁸⁾.

2.4.5. Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi

Doğu Anadolu sıkışma bölgesi, kuzeyden güneye doğru, Kuzeydoğu Anadolu fayı, Kuzey Anadolu fayının Karlıova'nın doğusunda yer alan sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı fayları, Bitlis bindirme Kuşağı ile Doğu Anadolu sıkışma bölgesinde Van'ın hemen güneydoğusundan Yüksekova'ya (Hakkari) ve İran içlerine doğru uzanan Ana Güncel Fayı olmak üzere 4 kısımdan oluşmaktadır⁽⁸⁾.

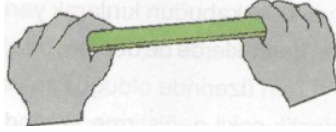
2.4.6. Orta Anadolu Ova Bölgesi

Orta Anadolu bölgesi, kuzeyde Kuzey Anadolu fayı, doğuda Doğu Anadolu fayı, güneyde Helenik-Kıbrıs yayı ve batıda Ege graben sistemi arasında kalmış geniş bir bölgeyi kapsar. Bu bölge içerisinde KD-GB ve KB-GD doğrultulu bağımsız doğrultu atımlı faylar ile Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu faylarından ayrılan faylar bulunur⁽⁸⁾.

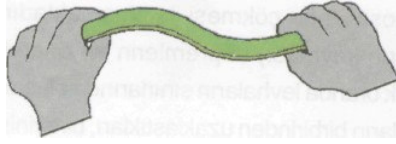
2.5. Deprem Oluşumu

Fayların oluşmasında yer kabuğundaki sıkışma ve genişleme kuvvetleri en önemli rolü oynamaktadır. Bu tür kuvvetler kırıklar boyunca kaya kütlelerini hareket ettirmektedir. Ancak kırıklar boyunca kaya kütleleri hareket ettiremediği bazı bölümlerde ise yoğun bir enerji birikmesine neden olmaktadır. Yerin derinliklerinde biriken enerjinin, sonuçta bir şekilde boşalması gerekmekte olup, bu enerjinin boşalması sırasında da yer sarsıntıları (depremler) olmaktadır. Kısaca deprem yer içerisinde fay düzlemi olarak tanımlanan kırıklar üzerinde biriken enerjinin aniden boşalması sonucunda gelişen bir olgudur. Şekil 2.7 de görüldüğü üzere kırılma anına kadar bir çubukta olan değişiklikler, kaya kütlelerin kırılma anına kadar da benzer şekilde gelişmektedir. Kayaların kırılma anında enerji boşalımı ya da deprem olmaktadır. Depremlerin çoğu yer kabuğunun 20-35 km derinlikteki elastik kısmı içerisinde oluşmaktadır. Ancak okyanusal kabuğun kırılarak yerin içerisine daldığı yerlerde 350-400 km ye kadar olan derinliklerde de deprem odağı oluşabilmektedir⁽⁵⁾.

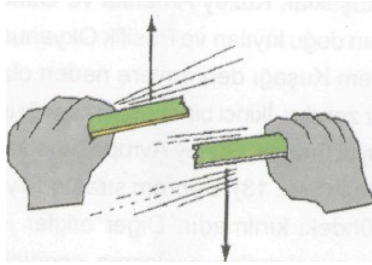
ÇUBUK DEĞİŞİMLERİ



Kayalardaki ve çubuklardaki gerilmemiş ilksel konum

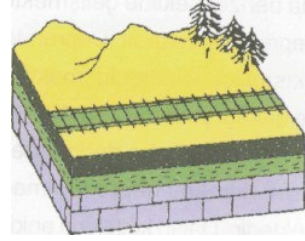


Deforme olmuş kayalar ve eğilmiş çubuklardaki potansiyel enerji birikimi

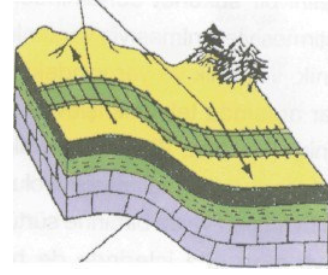


Kırılan çubuk kayalar, kırık (fay) ve enerji boşalımı ya da deprem oluşturur

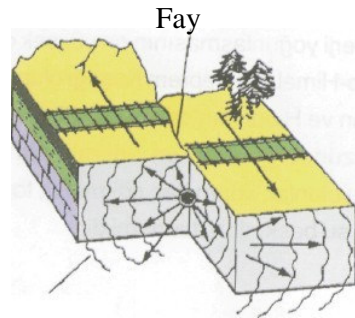
KAYA DEĞİŞİMLERİ



Sıkışma yönü



Deforme olmuş kayalar

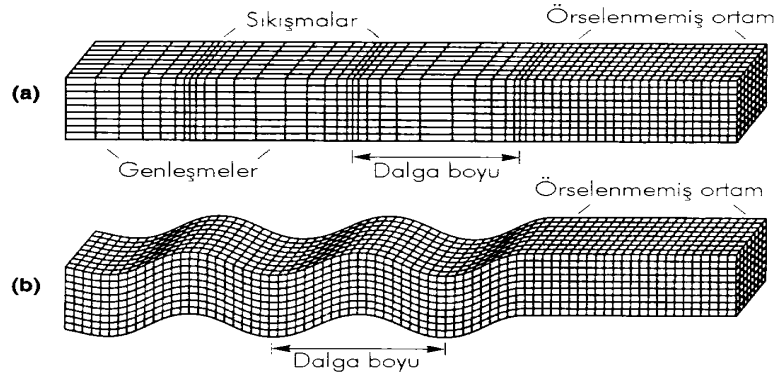


Deprem dalgaları

Şekil 2.7 Deprem Oluşum Mekanizması (FEMA.1999)

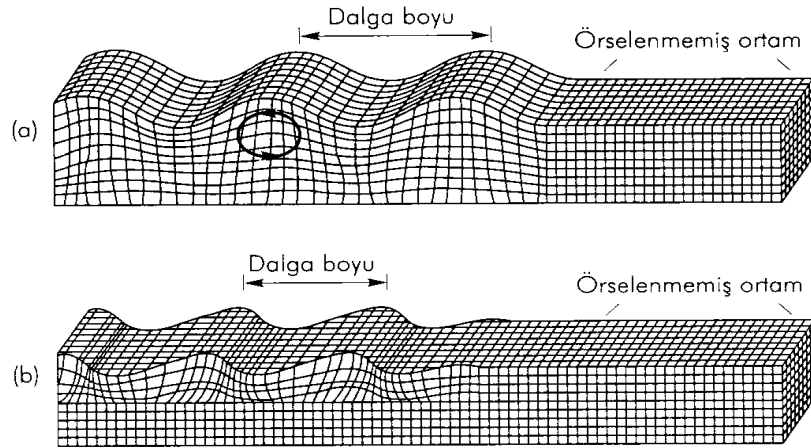
2.6. Sismik Dalgalar

Bir deprem meydana geldiği zaman cisim dalgaları ve yüzey dalgaları denen farklı türde sismik dalgalar ortaya çıkar. Yerin iç kısmında hareket eden cisim dalgalarının P ve S olmak üzere iki çeşidi vardır (Şekil 2.8). Birincil boyuna ve veya basınç dalgası olarak da bilinen P dalgaları geçtikleri ortamda önce sıkışma sonra genişleme meydana getirir. Ses dalgalarına benzeyen bu dalgalardan etkilenen bir partikülün titreşimi dalga ilerleme yönüne paraleldir. Bu dalgalar, tıpkı ses dalgalarında olduğu gibi, katı ve sıvı ortamlardan geçebilir. İkincil, enine veya kesme dalgası olarak bilinen S dalgaları, içinden geçtikleri ortamda Kayma deformasyonlarına yol açarlar. S dalgasından etkilenen bir partikülün hareketi dalga ilerleme yönüne diktir. Kesme dalgaları partikül hareketinin yönüne göre SV (düşey düzlemsel hareket) ve SH (yatay düzlemsel hareket) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Cisim dalgalarının ilerleme hızı, içinden geçtikleri ortamın rijitliğine (stiffness) bağlıdır. Jeolojik birimler basınçta daha rijit olduklarından, P dalgaları diğer dalgalardan daha hızlıdır ve dolayısıyla da kayıt istasyonuna ilk olarak bu dalgalar gelir.



Şekil 2.8 Cisim dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar: **a)** P dalgası; **b)** SV dalgası [Bolt (1993)'un Depremler adlı eserinden. Freeman and Company'den izinle kullanılmıştır]

Yüzey dalgaları, yer yüzeyi ve yüzeydeki katmanlar ile cisim dalgaları arasındaki etkileşim sonucunda ortaya çıkar. Bu dalgalar, genlikleri kabaca derinliğe göre üssel olarak azalan şekilde yer yüzeyinde ilerler (Şekil 2.9). Bunları üretmek için gerekli etkileşimin karakterinden dolayı, bir deprem kaynağından çok uzak mesafelerde yüzey dalgaları daha baskın olmaktadır. Yer kabuğunun kalınlığının yaklaşık iki katından daha uzak mesafelerde maksimum yer hareketinin oluşmasında cisim dalgalarından çok yüzey dalgaları rol oynamaktadır. Mühendislik açısından en önemli olan yüzey dalgaları Rayleigh dalgaları ve Love dalgalarıdır. P dalgaları ile SV dalgalarının yer yüzeyi ile etkileşiminden oluşan Rayleigh dalgalarında partikülün yatay ve düşey yönlerin ikisinde de hareket etmesi söz konusudur. Bir bakımdan, bir su birikintisi içine atılan taşın oluşturduğu dalgalara benzerler. Love dalgaları, SH dalgaların yumuşak çökellerle etkileşimi sonucunda oluşur ve bunlarda partikül titreşiminin düşey bileşeni yoktur⁽¹¹⁾.



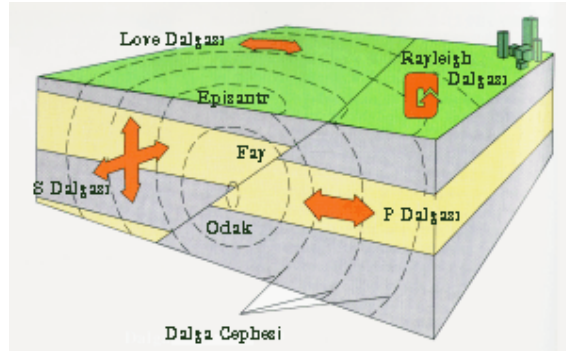
Şekil 2.9 Yüzey dalgalarının oluşturduğu deformasyonlar: **a)** Rayleigh dalgası; **b)** Love dalgası [Bolt (1993)'un Depremler adlı eserinden. Freeman and Company'den izinle kullanılmıştır]

2.7. Deprem Parametreleri

Herhangibir deprem oluştuğunda, bu depremin tariflenmesi ve anlaşılabilmesi için "Deprem Parametreleri" olarak tanımlanan bazı kavramlardan söz edilmektedir⁽⁴⁾.

2.7.1. Odak Noktası (Hipsantr)

Odak noktası yerin içinde depremin enerjisinin ortaya çıktığı noktadır. Bu noktaya odak noktası veya iç merkez de denir. Gerçekte, enerjinin ortaya çıktığı bir nokta olmayıp bir alandır, fakat pratik uygulamalarda nokta olarak kabul edilmektedir⁽⁴⁾.



Şekil 2.10 Odak Noktası, Dış Merkez ve Sismik Deprem Dalgalarının Yayılışı

2.7.2. Dış Merkez (Episantr)

Odak noktasına en yakın olan yer üzerindeki noktadır. Burası aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli olarak hissedildiği noktadır. Aslında bu, bir noktadan çok bir alandır. Depremin dış merkez alanı depremin şiddetine bağlı

olarak çeşitli büyüklüklerde olabilir. Bazen büyük bir depremin odak noktasının boyutları yüzlerce kilometreyle de belirlenebilir. Bu nedenle "Episantr Bölgesi" ya da "Episantr Alanı" olarak tanımlama yapılması gerçeğe daha yakın bir tanımlama olacaktır⁽⁴⁾.

2.7.3. Odak Derinliği

Depremde enerjinin açığa çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Depremler odak derinliklerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma tektonik depremler için geçerlidir. Yerin 0-60 km derinliğinde olan depremler sığ deprem olarak nitelenir. Yerin 70-300 km derinliklerinde olan depremler orta derinlikte olan depremlerdir. Derin depremler ise yerin 300 km den fazla derinliğinde olan depremlerdir. Türkiye'de olan depremler genellikle sığ depremlerdir ve derinlikleri 0-60 km arasındadır. Orta ve derin depremler daha çok bir levhanın bir diğer levhanın altına girdiği bölgelerde olur. Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir, buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Sığ depremler ise dar bir alanda hissedilirken bu alan içinde çok büyük hasar yapabilirler⁽⁴⁾.

2.7.4. Eşşiddet (İzoseit) Eğrileri

Aynı şiddetle sarsılan noktaları birbirine bağlayan noktalara denir. Bunun tamamlanmasıyla eşşiddet haritası ortaya çıkar. Genelde kabul edilmiş duruma göre, eğrilerin oluşturduğu yani iki eğri arasında kalan alan, depremlerden etkilenme

yönüyle, şiddet bakımından sınırlandırılmış olur. Bu nedenle depremin şiddeti eşşiddet eğrileri üzerine değil, alan içerisine yazılır⁽⁴⁾.

2.7.5. Şiddet

Herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür. Bu etki, depremin büyüklüğü, odak derinliği, uzaklığı, yapıların depreme karşı gösterdiği dayanıklılık dahi değişik olabilmektedir. Şiddet depremin kaynağındaki büyüklüğü hakkında doğru bilgi vermemekle beraber, deprem dolayısıyla oluşan hasarı yukarıda belirtilen etkenlere bağlı olarak yansıtır.

Depremin şiddeti, depremlerin gözlenen etkileri sonucunda ve uzun yılların vermiş olduğu deneyimlere dayanılarak hazırlanmış olan "Şiddet Cetvelleri"ne göre değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle "Deprem Şiddet Cetvelleri" depremin etkisinde kalan canlı ve cansız herşeyin depreme gösterdiği tepkiyi değerlendirmektedir. Önceden hazırlanmış olan bu cetveller, her şiddet derecesindeki depremlerin insanlar, yapılar ve arazi üzerinde meydana getireceği etkileri belirlemektedir.

Bir deprem oluştuğunda, bu depremin herhangi bir noktadaki şiddetini belirlemek için, o bölgede meydana gelen etkiler gözlenir. Bu izlenimler Şiddet Cetveli'nde hangi şiddet derecesi tanımına uygunsa, depremin şiddeti, o şiddet derecesi olarak değerlendirilir. Örneğin; depremin neden olduğu etkiler, şiddet cetvelinde VIII şiddet olarak tanımlanan bulguları içeriyorsa, o deprem VIII şiddetinde bir deprem olarak tariflenir. Deprem Şiddet Cetvellerinde, şiddetler romen

rakamıyla gösterilmektedir. Bugün kullanılan başlıca şiddet cetvelleri değiştirilmiş "Mercalli Cetveli (MM)" ve "Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK)" şiddet cetvelidir. Her iki cetvelde de XII şiddet derecesini kapsamaktadır. Bu cetvellere göre, şiddeti V ve daha küçük olan depremler genellikle yapılarda hasar meydana getirmezler ve insanların depremi hissetme şekillerine göre değerlendirilirler.

VI-XII arasındaki şiddetler ise, depremlerin yapılarda meydana getirdiği hasar ve arazide oluşturduğu kırılma, yarıлма, heyelan gibi bulgulara dayanılarak değerlendirilmektedir⁽⁴⁾.

2.7.6. Magnitüd

En şiddetli depremin büyüklüğü açığa çıkacak enerji, episantır uzaklığı, odak derinliği, fay düzleminin yönü ve uzaklığı, yapının zeminde hasıl edeceği titreşimlerin ivme, frekans özellikleri yeterli hassasiyetle bilinemez. Bu parametreler yapıya gelecek deprem kuvvetlerinin mertebesini tayin eder. Parametreler için deneysel istatistik metotlara dayanarak bazı tahminler yapılır. Yüzeyde oluşan kırılmalarla depremin büyüklüğü arasında bir bağıntı mevcuttur. Depremin etkime alanlarında, depremin büyüklüğünün ölçülmesi, depremden ortaya çıkan enerjinin büyüklüğünün ölçülmesidir. Sismograflardaki deprem kayıtlarının genliklerinden hesaplanan büyüklük denilen logaritmik bir ölçek geliştirilmiştir. Ölçeğin logaritmik olmasından $M_L=6$ Richter büyüklüğü, $M_L=7$ Richter büyüklüğüne geçişte genlikte on kat artma görülür. Düşey deprem ivmesi, yatay deprem ivmesinin, 1/2 veya 1/3 katıdır. Depremin aletsel büyüklüğü (magnitüd) yerin değişik noktalarındaki, titreşimlerin hissedilme şiddetleri farklıdır. Büyük magnitüdü depremlerden büyük kırılma alanlarının doğmasına neden olur. Magnitüdü aynı olan iki depremden sığ

odaklı deprem daha büyük hasar meydana getirir. Deprem titreşimleri, yer kabuğundaki çeşitli tabakalardan geçerken kırılma ve yansımalara uğrarlar. Sismograf kaydı üzerinde olan ibrenin sarsıntıdan kaydettiği en büyük sapma miktarından gidilerek depremin magnitudü hesaplanır. Depremin büyüklüğü hakkında en iyi ölçü, depremde çıkan enerji miktarıdır ve hesaplanmasında çeşitli tarifler yapılmıştır. Prof. Richter tarafından geliştirilen bu yöntemle hesaplanan magnitud en yaygın kullanılan magnitud ölçüsüdür. $M_L = \log (A/A_0)$. Burada A, büyüklüğü bulunacak depremin 2800 kat büyütmeli, 0.8 s periyotlu ve %80 sönüm oranlı bir standart Wood Anderson sismografındaki en büyük genliği, A_0 ise büyüklüğü sıfır kabul edilen referans depreminin aynı şekilde ölçülen genliğini göstermektedir, genlik $A_0=0.001$ mm olarak kabul edilmiştir. Deprem hareketinin ölçülen en büyük genliği, kayma ve yırtılmanın meydana geldiği bölgeye olan uzaklıkla değişir. Genliğin değişimi, episantrda bir tepe oluşturur. Depremlerin genliği uzaklığa bağlı olarak, uzaklığın karesi ile orantılı olarak azalmaktadır. Magnitud depremde açığa çıkan sarsıntı enerjisinin bir ölçüsü olmaktadır. Deprem şiddeti üst merkezdeki şiddettir. VI-VII derece şiddetindeki bir depremin enerjisi orta büyüklükteki bir atom bombasının enerjisine eşittir. Depremin Richter ölçeğine göre büyüklüğü ile üst merkez bölgesindeki en büyük şiddeti arasında bir ilişki vardır.

Magnitud depremin hasar yapma ve hissedilme enerjisi hakkında fikir vermez. Faydaki kayma yırtılma boyu magnitud (büyüklüğe) bağlıdır. Deprem sığ veya derin odaklı olabilir. Aynı magnitudü olan iki depremden sığ odaklı olanı çok hasar yapar. Magnitud deprem büyüklüğünün bir ölçüsüdür. Uzaklığa bağlı olarak genlik azalımı düzeltilmesi yapılmış, mikron (μ) cinsinden verilen maksimum yer ötelemesinin tabii logaritması olarak tanımlanmıştır. Deprem merkez üssünden uzaklaştıkça, sönümlerden maksimum ivme hızla düşer. Aynı büyüklükte ve

uzaklıktaki bir depremde değişik zeminlerde, değişik etkiler meydana getirebilir.

Deprem ivmesi yanında, deprem süresi de hasarlara etki eder.

Göz önüne alınan yer ötelemesi periyoduna göre magnitüd çeşitleri:

- a) Süreye bağlı (M_d),
- b) Yerel ve Richter (M_L),
- c) Cisim dalgası (M_b),
- d) Yüzey dalgası (M_s),
- e) Moment büyüklüğü (M_w),
- f) Sismik moment (M_o), olarak ana sınıfa ayrılır.

Magnitüdeki bir birim artış, yer hareketi genliğinde 10 katı artışa tekabül eder. Şimdiye kadar kaydedilmiş en büyük magnitüd (M_s) 8.9 dur. Magnitüdü 2, -3 olan depremler (mikro deprem) ölçülmüştür. (Richter). Enerji ile magnitüd arasında şu ampirik ilişki kurulabilir. Magnitüd Wood-Anderson burulma sismografinin 100km den ölçtüğü maksimum genliğin (mikrometre) 10 tabanlı logaritmasıdır⁽³⁾.

Çizelge 2.1 Magnitüd, Şiddet Karşılaştırması⁽¹²⁾

Magnitüd	Şiddet	Açıklama
1.0 - 3.0	I	Hemen hemen hiç hissedilmez .
3.0 - 3.9	II	Özellikle üst katlardaki bazı insanlar tarafından hissedilebilir.
	III	Binalarda bulunanlar, özellikle üst katlarda yaşayanlar açıkça hissederler. Birçok insan sarsıntının deprem olduğunu farkedemez. Duran araçlar hafifçe sallanır. Sarsıntı, büyükçe bir kamyonun geçişi sırasındaki sarsıntıyı andırır. Başlama ve bitişi insanlar tarafından hissedilebilir.

Çizelge 2.1 (devam)

4.0 - 4.9	IV	Gündüz vakti binalarda bulunan hemen herkes tarafından hissedilir, dışarda bulunanların çok azı sarsıntıyı hisseder. Gece vakti bazılarını uykudan uyandırır. Tabaklar, pencereler ve kapılar sarsıntının etkisi ile titreşime geçer; duvarlardan çatlıyormuşçasına sesler gelir. Büyük bir tırın binaya çarpmasına benzer bir etki uyandırır. Duran araçlar görünür bir şekilde sallanır.
	V	Hemen hemen herkes tarafından hissedilir ve gece vakti çoğu insanı uykusundan uyandırır. Bazı pencereler ve tabaklar kırılır. Dengesiz nesnelere devrilir. Sarkaçlı saatler durabilir
5.0 - 5.9	VI	Herkes tarafından hissedilir ve korku verir. Bazı ağır mobilyalar hareket eder; sıvalarda dökülmeler gözlenir. Genel olarak hafif hasarla sonuçlanır.
	VII	Dizaynı ve inşaatı çok iyi olan yapılarda gözardı edilebilecek bir hasarara yol açarken; iyi inşa edilmiş sıradan binalarda hafif ya da orta ölçüde hasar gözlenir; kötü malzeme kullanılmış ya da kötü dizayn edilmiş binalarda önemli ölçüde hasara neden olur. Bazı bacalar yıkılır.
6.0 - 6.9	VIII	Özel olarak dizayn edilmiş binalarda hafif hasar; normal yapılarda orta hasar zayıf binalarda ise oldukça büyük hasara yol açar. Bacalar devrilir, üst üste yerleştirilmiş malzemeler devrilir, duvar ve kolonlar yıkılır. Ağır mobilyalar devrilir.
	IX	Özel olarak dizayn edilmiş binalarda orta ölçekte hasar oluşurken; iyi dizayn edilmiş kafes yapılar ekseninden kayar. Normal binalarda büyük hasar oluşur ve yer yer yıkılmalar gözlenir. Binalar temellerinden kayarlar.
7.0 veya daha büyük	X	İyi inşa edilmiş ahşap yapılardan bazıları yıkılırken; taş ve kafes yapıların büyük bir çoğunluğu temelleriyle birlikte yıkılır. Demiryolları eğilir.
	XI	Birkaç yapı (özellikle taş) dışında tüm binalar ve köprüler yıkılır. Demiryolları büyük oranda eğilir ve bükülür.
	XII	Bütün binalar yerle bir olur. Ufuk çizgisi oynak bir yüzeye dönüşür. Nesnelere havada uçar.

2.7.6.1. M-Log E İlişkisi

Magnitüd-enerji arasındaki ilişkiyi gösteren genel formül Richter (1958) tarafından $\text{Log } E = a + b M$ olarak verilmiştir. Burada E enerjiiyi, a ve b sabit katsayıları, M ise magnitüdü göstermektedir. Değişik veri gurupları için a ve b katsayıları farklılık göstermektedir. Aşağıda Çizelge 2.2' de verilen ifadeler, episantr'ı yakın olan, kısa uzaklıkta yayılan enerjinin teoriksel incelenmesine bağlıdır. Telesismik uzaklıklarda kayıt edilen cisim dalgalarından elde edilen magnitüd (M), enerji arasında $\text{Log } E = 5.8 + 2.4 M$ ilişkisi vardır. Burada $M = 2.5 + 0.63 M_s$ alınır (1) denklemini elde edilir. Yine, Bath (1966) tarafından verilen (2) ifadesinin $6.5 + 2.3 M_s$ 'e eşit olduğu görülür. İlk sekiz formül tüm magnitüd değerleri için, (10) formülü çok büyük depremler için, (11) formülü küçük depremler için önerilmiştir. (9) formülü ise çoğu depremler için geçerli olmasına (Kanamori ve Anderson, 1975) rağmen diğer ilişkilere nispeten düşük enerji değerleri vermektedir.

Çizelge 2.2 Episantr'ı Yakın Olan, Kısa Uzaklıkta Yayılan Enerjinin Teoriksel İncelenmesi

1) Gutenberg (1956)	$\text{Log } E_s = 1.50 M_s + 11.80$
2) Bath (1966)	$\text{Log } E_s = 1.44 M_s + 12.24$
3) Gutenberg ve Richter (1956)	$\text{Log } E_s = 1.80 M_s + 12.00$
4) di Filippo-Marcelli (1949)	$\text{Log } E_s = 2.15 M_s + 09.15$
5) Richter (1958)	$\text{Log } E_s = 1.50 M_s + 11.40$
6) lida (1971)	$\text{Log } E_s = 1.40 M_s + 12.66$
7) Ohnanka	$\text{Log } E_s = 1.89 M_s + 08.82$
8) Choy ve Boatwright (1995)	$\text{Log } E_s = 1.50 M_s + 04.40$
9) Kanomari ve Anderson (1975) (büyük depremler için)	$\text{Log } E_s = 1.50 M_s$
10) Liebermann ve Pomeroy (1970)	$\text{Log } E_s = 3.00 M_s$
11) Kanomari ve Anderson (1975) (küçük depremler için)	$\text{Log } E_s = M_s$

Magnitüdeki her bir artış enerjide 32 katlık artışa tekabül eder. Yapıya zarar veren depremlerin magnitudü 5'den büyüktür. Büyüklüğü 6 olan deprem enerjisi, büyüklüğü 5 olan depremin enerjisinin 32 katıdır. Büyüklüğü 7 olan depremin enerjisi, büyüklüğü 5 olan depremin enerjisinin 1024 katıdır. Yerel magnitud ile merkez üssünde Mercalli cetveline göre ölçülmüş deprem şiddeti olan I_0 , arasında yurdumuz için $M_L=1.63+0.593I_0$ bağıntısı vardır. Her bölgedeki yatay ivme hesapları için N.N.Ambrasey aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$\text{Log}(ah)= 1.5+0.245 M_s-0.001 r-0.786 \log(r)-0.15 \log(v) \quad (2.1)$$

ah=yatay ivme, M_s =depremin yüzey dalgası büyüklüğü, r=bölgenin deprem hiposantırdan uzaklığı, v=dalga hızını (shear-wave velocity) gösterir. v için zeminde ölçülen değerler kullanılır. Veri yoksa zemin sınıfına gelen dalga hızı kullanılır. Türkiye'de Richter ölçeği ile magnitud, merkez üssünden 100km uzaklıkta ve kayaç türü zemine yerleştirilmiş standart sismografin kaydettiği zemin hareketinin mikron cinsinden ölçülen maksimum genliklerinin 10 tabanına göre logaritmasına denir. Bu bir lokal magnitudde karşılıktır. Merkez üssünden 100km uzakta daima bir istasyon bulunmadığı zaman, farklı uzaklıklar için, aşağıdaki 2 bağıntı kullanılarak depremin büyüklüğünün ölçüsü 10km uzaklığa dönüştürülebilmektedir. 5 magnitudten itibaren deprem hasarları artar⁽³⁾.

Sismik enerji : Depremin merkez üssünden uzaklaştıkça, deprem enerjisi, sönümler ve yer kabuğundaki hacimlerin artmasından maksimum ivme değeri düşer. Deprem enerjisi E_s ile depremin büyüklüğü arasında şu bağıntı vardır.

$$\text{Log}E_s=1.5M_s+4.8, \quad (2.2)$$

$$\text{Log}E_s=2.4M_b-1.2, \quad (2.3)$$

Enerji magnitudün, logaritmik bir fonksiyondur⁽³⁾.

2.7.6.2. Magnitüd Çeşitleri

2.7.6.2.1. Süreye Bağlı Büyüklük (M_d)

Daha büyük bir depremin, sismometre üzerinde daha uzun bir süre için salınımlara yolaçacağı ilkesinden hareket edilir. Depremin, sismometre üzerinde ne kadar uzun süreli bir titreşim oluşturduğu ölçülür ve deprem merkezinin uzaklığı ile ölçeklenir. Bu yöntem küçük ($M < 5.0$) ve yakın (Uzaklık < 300 km) depremeler için kullanılır⁽¹³⁾.

2.7.6.2.2. Lokal Yerel Cisim Dalgası Magnitüdü (M_L)

M_L 'nin mutlak değerini belirlemek için Richter 100km uzakta maksimum genliği 10^{-6} m yi bulan magnitüdü sıfır magnitüd olarak tanımlanmış ve Δ (km) uzaklıktaki istasyonda sıfır magnitüdü depremin gözlemsel genliği $A_0(\Delta)$ olarak belirlenmiştir. Δ (km) uzaklıktaki istasyonda standart sismografla kaydedilen maksimum genlik $A(\Delta)$ olan depremin lokal magnitüdü:

$$M_L = \log A(\Delta) / \log A_0(\Delta), \quad (2.4)$$

A, A_0 (mm) boyutundadır.

$$M_L = \log A - 2.48 + 2.76 \log \Delta \quad (2.5)$$

Yerel genlikte bulunan M_L , düzeltme katsayılarının değişmesi, deprem dalgasının yayılışının değişmesinden değişik istasyonlarda farklı değerler bulunur ve artık kullanılmamaktadır⁽³⁾.

2.7.6.2.3. Cisim Dalgası Magnitudü (M_b)

Üç boyutlu cisim içinde yayılan dalgalar, basınç, çekme, kayma gerilmeleri doğurur.

$$M_b = \log(A/T) + S(\Delta, h) \quad (2.6)$$

ile tarif edilir. $S(\Delta, h)$, depremin merkez derinliği h , ve merkez üssü uzaklığı Δ bağlı, düzeltme fonksiyonudur. T sn cinsinden periyot, A mikron (10^{-6} m) cinsinden yer hareketi genliğidir⁽³⁾.

2.7.6.2.4. Yüzey Dalgası Magnitudü (M_s)

Yüzey dalgalarının genlikleri, cisim dalgalarının genliklerinden değişik olarak, uzaklıktan ve odak derinliğinden etkilenirler. Derin depremlerden yüzey dalgaları oluşmadığı için derinlik düzeltmesi yapılmaz. 20sn'lik periyotla olanları etkindir. 20sn periyotlu Rayleigh yüzey dalgasının genliğini A_{20} ile göstererek Δ (km) uzaklıktaki depremin yüzey dalgası magnetütü:

$$M_s = \log A_{20} + 1.66 \log \Delta + 2.0 \quad (2.7)$$

şeklinde verilmiştir⁽³⁾. Genlikler mikron (10^{-6} m)

2.7.6.2.5. Moment Büyüklüğü (M_w)

Bu büyüklük türü, diğerlerine göre en güvenilir olanıdır. Bilim dünyasında, eğer bir deprem için moment büyüklüğü hesaplanabilmişse, diğer büyüklük türlerine gerek kalmadığı düşünülür. Belirleme açısından hepsinden çok daha karmaşıktır. Esas olarak depremin oluşumunun matematiksel bir modelinin yapılmasına karşılık gelir. Bir araştırmacının gerçekleştirebileceği bilimsel bir çalışma süreci ile

hesaplanabilir ve bu yüzden hesaplamaların belirli bir zaman alması kaçınılmazdır. Otomatik olarak uygulamaya konulabilmesi ise zordur, dünyada sayılı birkaç gözleminde, sadece belirli bir büyüklüğün üzerindeki depremler için rutin olarak hesaplanmaktadır. Uygulamada, sadece belli bir büyüklüğün üzerindeki depremler için ($M > 4.0$) Moment Büyüklüğü hesaplanabilir⁽¹³⁾.

$$M_w = (\log M_0) / 1.5 - 6.0 \quad (2.8)$$

sismik momente bağlı olarak tanımlanır.

$$\log M_0 = 1.11 M_s + 10.92, \quad (2.9)$$

$$M_w = 0.74 M_s + 1.28, \quad (2.10)$$

$$M_s = 1.6 M_b - 4.0 \quad (2.11)$$

bağıntıları bulunur⁽³⁾.

2.7.6.2.6. Sismik Moment (M_0)

Yüzey dalga büyüklüğü aynı olan, farklı fay yırtılma boyuna sahip iki depremin, 20s periyotlu depremi esas alan büyük depremlerde ayırt edilememektedir. Belirlenmesi zor olan depremlerde kayma bölgesini belirlemek için jeolojik etüt ve sismograf kayıtları kullanılır.

Sismik moment fay kayma bölgesinde μ =kayma rijitliği, A =yırtılma alanı ve d = faydaki ortalama yer değiştirme olarak

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot d \quad (2.12)$$

sismik moment, tanımlanır ve sismograf kayıtları ile hesaplanabilir⁽³⁾.

2.8. Deprem Bölgeleri Haritası

Günümüze kadar, Bakanlar Kurulu Kararları ile yürürlüğe konulmuş, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritaları 1945, 1947, 1963 ve 1972 yıllarında yayımlanmıştır. Son olarak Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 1996 yılında, ilk dört haritadan farklı olarak olasılık yöntemleri esas alınarak yeni bir harita yayınladı. Deprem Bölgeleri Haritasının basım aşamasına gelinceye kadar geçirdiği safhalar aşağıda özetlenmiştir. Son harita ve daha önce yayımlanmış deprem haritaları ile ilgili detaylı bilgiler TÜBİTAK tarafından düzenlenen Erzincan ve Dinar Deneyimleri ışığında Türkiye'nin Deprem Sorunlarına Çözüm arayışları, TÜBİTAK Deprem sempozyumunda ayrıntılı olarak açıklanmıştır⁽¹⁴⁾.

Birleşmiş Milletler Genel Kurulu'nun 42. genel oturumunda 1990-2000 yılları arasını kapsayan süre "Doğal Afet Zararlarının Azaltılması Uluslararası On Yılı" olarak ilan edilmiştir. Ayrıca bu toplantıda doğal afetlere maruz ülkelerde birer milli komite kurulması kararlaştırılmış ve burada yer alacak çalışma gruplarının neler yapması gerektiği belirlenmiştir.

7269 sayılı yasa ile Bayındırlık ve İskan Bakanlığı kamununun, bütün doğal afetlerin sonuçlarından korunması için hizmet vermek ve bu amaçla her türlü önleyici ve koruyucu tedbirleri almakla görevlendirilmiştir. Bu nedenle Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın koordinatörlüğünde ilgili kurum, kuruluş ve Üniversite temsilcilerinden oluşan Doğal Afet Zararlarını Azaltma On Yılı Türkiye Milli Komitesi kurulmuştur.

Milli Komite bünyesinde depremler, heyelanlar ve kaya düşmeleri, su baskınları, yangınlar ve diğer afetler (Çığ, Fırtına, Tsunami vb.) başlıkları altında

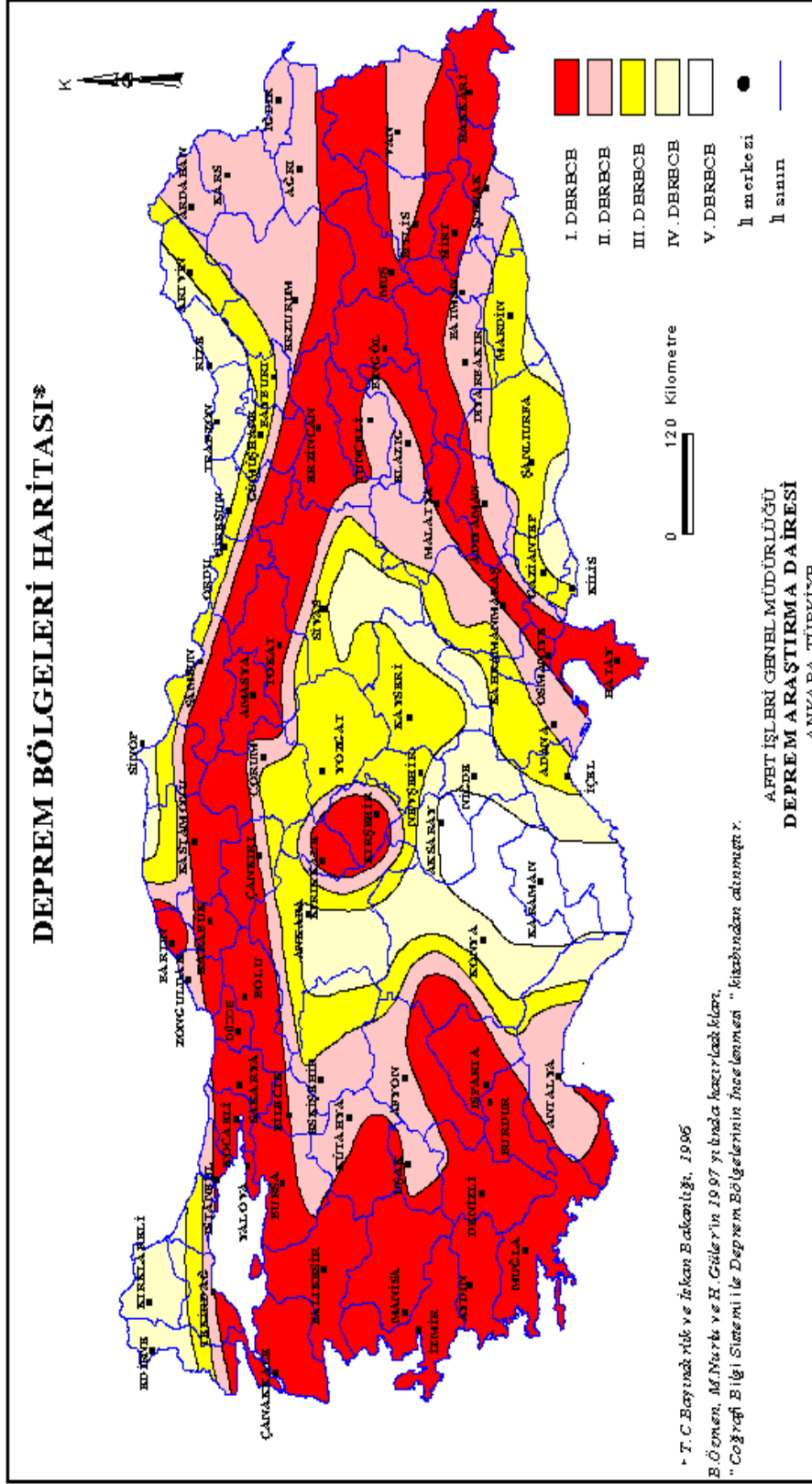
ilgili Kurum, Üniversite ve Meslek Odalarının temsilcilerinden çalışma grupları oluşturulmuştur.

Bu çalışma gruplarından biri olan ve yürütücülüğü Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığınca (DAD) yapılan Deprem Çalışma Grubu'nun ana hedefleri arasında yürürlükteki Deprem Bölgeleri Haritası'nın da çağdaş bir anlayışla yeniden düzenlenmesi yer almaktadır⁽¹⁵⁾.

Konuya ilişkin çalışmalarına 1989'da başlayan Deprem Çalışma Grubu mevcut bilgiler çerçevesinde Deprem Kaynak Zonları'nı belirleyen bir taslak harita hazırlamış ilgili Kurum ve Üniversitelerin görüşüne açmıştır. Bu taslak harita son şeklini aldıktan sonra Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne "En Son Verilere göre Türkiye'nin Deprem Tehlikesi Haritası"nın olasılık yöntemi esas alınarak hazırlanması bir proje olarak verilmiştir. Projenin amacı; "En son verilere göre hazırlanmış bulunan Türkiye sismotektonik kaynak zonları haritasına dayalı olarak Türkiye deprem tehlikesi haritasının istatistiksel yöntemlere ve ihtimal hesapları prensiblerine göre hazırlanması ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik hükümlerinin yerine getirilmesine imkan tanıyacak bir formatta sunulması" şeklinde özetlenmektedir⁽¹⁶⁾.

Haritanın hazırlanması sırasında:

- Deprem kaynak zonu sınırlarının belirlenmesi,
- Tanımlanan herbir kaynak zonu için geçmişteki deprem verilerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi ve kaynak zonların doğurabilecekleri en büyük deprem magnitüdlerinin belirlenmesi,
- Her bir kaynak zonu için azalım ilişkilerinin belirlenmesi,



Şekil 2.11 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası

-Yer hareketi parametresi olarak seçilen ivmeye ait, belirlenen bir zaman için geçerli maksimum birikimli ihtimal dağılım fonksiyonunun hesaplanması, aşamaları izlenmiştir. Bu aşamalarda, gerek deprem kataloglarıyla, azalım ilişkilerindeki eksiklikler ve gerekse bazı deprem kaynak zonlarındaki belirsizlik gözönünde tutularak Deprem Çalışma Grubu tarafından gerekli düzeltmelere gidilerek haritaya son şekli verilmiştir. Son şekliyle harita ülkemizde gelecekteki 50 yıl içerisinde % 90 ihtimalle aşılmayacak yer ivmelerini göstermektedir.

Kullanım kolaylığı açısından yer ivmesinin 0.40 gal ve daha büyük olacağı bölgeler I, 0.30-0.40 gal arasında olması beklenen bölgeler II, 0.20-0.30 gal arasındaki bölgeler III, 0.10-0.20 gal arasındaki bölgeler IV ve 0.10'dan küçük olması beklenen bölgeler V'inci bölge olarak temsil edilmiştir.

Haritanın gerek sayısal ortamda hazırlanması ve gerekse renkli olarak basılması Harita Genel Komutanlığı tarafından gerçekleştirilmiştir. Deprem Bölgeleri haritası 1 / 1.800.000 ölçeklidir ve bu harita üzerinde il, ilçe sınırları, il, ilçe, bucak merkezleri ve demiryolu ağı bulunmaktadır. Kullanımda kolaylık sağlaması amacıyla yerleşim birimlerinin hangi deprem bölgesinde bulunduğu alfabetik olarak da bir kitapçık halinde haritayla beraber verilmiştir⁽¹⁵⁾.

2.9. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları

Deprem tehlikesinin belirlenmesinde en önemli dinamik parametreyi depremin ivmesi oluşturur. Bir gözlem istasyonunda alınan deprem kaydı, kaynaktan istasyona gelinceye kadar bir çok faktörden etkilenir. Genel olarak bu faktörler, deprem kaynağının özellikleri, deprem dalgalarının gözlem istasyonuna gelinceye kadar geçtiği ortamın fiziksel parametreleri ve dalgaların soğurulması, gözlem

noktasındaki sıg yer yapısının fiziksel ve jeolojik özellikleri olarak sayılabilir. Yakın alanda sismik dalgaların üretimi, yayılımı, zemin büyütmesi ve mesafe ile deprem dalgasının sönümlenmesi gibi sismolojik ve mühendislik bilgilerin yanı sıra, risk analizleri ve deprem mühendisliği hesaplamalarında kullanılan ivme-hız ve yer değiştirme gibi zemin hareketi ile ilgili parametreler, depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan temel veriler, kuvvetli yer hareketi gözlem istasyonlarından elde edilen ivme kayıtlarından sağlanır. Deprem, yapılara olan etkilerini değerlendirmek üzere birçok ülkede çok sayıda ivme-ölçer ağı kurularak ivme ölçümleri yapılmaktadır. Türkiye'nin ivme-ölçer ağı, sismik olarak aktif bölgeler öncelikli olmak üzere uygun yerlere konuşlandırılmıştır⁽¹⁷⁾.

2.9.1. Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi

Deprem Araştırma Dairesi bünyesinde işletilmekte olan Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi, 1973 yılında kurulmuştur. Şebekedeki yetersiz sayıda ivme-ölçer, ülkemizde şiddetli depremlerin olduğu ve/veya beklendiği Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı ve Ege Grabenleri üzerine yaklaşık 50-80 kilometre gibi aralıklarla çoğunlukla meteoroloji istasyonları olmak üzere kamu binalarına yerleştirilmiştir. İlk yıllarda analog ivme kaydedicileri ile şebeke yürütülmeye çalışılmış, gelişen teknoloji ile 1993 yılında sayısal ivme-ölçerler şebekeye alınmıştır. Geçmişten-günümüze ülkemizin muayyen yerlerinde meydana gelmiş depremlerden alınan ivme kayıtları derlenerek ivme kayıt arşivi oluşturulmakta ve bu arşiv sürekli güncellenmektedir. Ancak kayıtlar, tüm araştırmacılara ve bilim dünyasına internet (<http://angora.deprem.gov.tr>) aracılığıyla sunulmaktadır.

Türkiye’de 1976 yılından sonra kaydedilmiş en büyük ivme değerleri Çizelge 2.3’ de gösterilmiştir⁽¹⁷⁾.

Çizelge 2.3 Büyük Depremlerden Alınmış En Büyük İvme Değerleri

Tarih	Saat (GMT)	Yer	Max.İvme
19.08.1976	01:12:40	DENİZLİ	348.5 gal*
18.09.1979	13:12:23	Dursunbey(BALIKESİR)	288.2 gal*
30.06.1981	07:59:09	HATAY	154.0 gal*
30.10.1983	04:12:28	Horasan(ERZURUM)	173.3 gal*
05.05.1986	03:35:38	Gölbaşı(MALATYA)	114.7 gal*
13.03.1992	17:18:39	ERZİNCAN	470.9 gal*
26.09.1995	14:58:09	Dinar(AFYON)	182.7 gal*
27.06.1998	13:55:53	Ceyhan(ADANA)	273.5 gal*
17.08.1999	00:01:51	SAKARYA	407.0 gal*
12.11.1999	16:57:20	BOLU	805.8 gal*
06.06.2000	10:41:40	Çerkeş(ÇANKIRI)	63.2 gal*

* gal=cm/sn² ivme birimi olup, yer ivmesinin % 0.1’i dir.(Yer ivmesi g=981 gal)



Şekil 2.12 Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi (İvme-Ölçer Ağı)

2.9.2. İvme-Ölçerler ve Özellikleri

İvme-ölçerler, akselerometre veya kuvvetli yer hareketi sismografi adları verilen ve yer hareketinin ivmesini ölçmeye yarayan cihazlardır. Bu aletler, sadece yer ivmesinin belirli bir tetik değerini geçtiği anda kayıt almaya başlar. Aletin ölçtüğü değer birimi cm/sn^2 (gal) dir ve yerçekimi ivmesi ($g=981 \text{ cm/sn}^2$)'nin kesri olarak kayıt alır.

Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi bünyesinde yer alan SMA-1 tipi cihazlar, 70mm'lik fotoğraf filmi üzerine kayıt alabilen üç bileşenli analog kayıtçılardır. SM-2 tipi ivme-ölçerler, 72 dB duyarlıklı, 3 eksenli jeofon tipi algılayıcıları (sensör) olan 12 bit dijital çeviricisi ile sayısal kaydı ve o andaki kayıtçının genel durum bilgilerini, saat senkronizasyon bilgilerini bir başlıkla birlikte 1 Mb'lık hafıza kartına (SRAM) saklarlar ve belirlenen tetik seviyesini aşınca kayıt almaya başlar ve bu kayıtlar uzaktan kontrol dial-up yoluyla bağlantı sağlanarak çekilir. GSR-16 ve GSR-18, 16 ve 18 bitlik dijital çeviricisi olan, aldığı kaydı hafızasına kaydettikten sonra, otomatik olarak belirtilen telefon numarasını modemi vasıtasıyla arayabilen, 3 eksenli güç dengeli (force-balance) algılayıcısı (sensör) olan, 120 dB duyarlıklı ve GPS ile uyumlu ivme-ölçerlerdir⁽¹⁷⁾.

2.9.3. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtlarının Önemi

Kuvvetli yer hareketi ölçümlerindeki amaç, deprem sırasında oluşan yer ivmesini ölçmektir. İvme kayıtları mühendislik uygulamaların ve bilimsel çalışmalar için önemli veri tabanı oluşturmaktadır. Önemli mühendislik bilgileri içeren bu ivme değerleri, depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda, depremin uzaklıkla olan azalım ilişkileri geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Herhangi bir istasyonda

kaydedilmiş bir depremin, istasyondan değişik uzaklıklardaki yerleşim birimlerinde beklenen hasar tahmini ve şiddet dağılımı belirlenebilmektedir. Bir deprem anında ivme kayıtlarına erişim hızlı olduğu için, deprem bölgesindeki hasar durumu hızlı bir şekilde tahmin edilebilir. Deprem tehlikesi belirlemede, en önemli dinamik parametreyi depremin ivmesi teşkil etmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan taban kesme kuvvetinin iki önemli öğesinden biri, zemin yüzeyindeki yatay yer ivmesidir. Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınan parametrelerden, “Etkin Yer İvmesi Katsayısı”nın sağlıklı olarak belirlenmesi, inşaat yerinde temel kayada beklenen maksimum yatay yer ivmesinin doğru bir şekilde tahmin edilmesine bağlıdır. Yakın aralıklarla konumlandırılmış ivme-ölçer dizilerinden sağlanan kayıtlarla, deprem dalgasının yayılımı, fayın karakteristiği, depremin odak mekanizması ve zemin büyütmesi belirlenebilir. Ayrıca ivme-ölçerler, depremin P ve S dalgalarının faz farkı sürelerinden yararlanarak yangınlar, nükleer sızıntılar ve gaz emüsyonu gibi ikincil hasar yapıcı, insan sağlığına ve büyük ekonomik kayıplara neden olan etkenlere karşı erken uyarı amaçlı kullanılabilir. İvme-ölçerlerin duyarlıklarının artması sonucu mikro-tremorlar, ivme olarak kaydedilebilir⁽¹⁸⁾.

2.10. Depremin İvmesi

Depremin ivmesi deprem anında zeminin ne kadar miktarda ve ne hızla sarsıldığının bir ölçüsüdür. Binaların üzerinde sabit durduğu zemin, deprem dalgaları tarafından harekete geçirilmektedir. Binalar, zeminden ayrı bir kütleyle sahip olduğu için zeminin hareketine direnmekte ve sonuçta bina içinde yer hareketine ters yönde atalet (cisimlerin harekete karşı direnci) kuvvetleri oluşmaktadır. Bu durum sabit

hızla giden bir aracın ani fren yapmasına benzer. Araç içindeki yolcular nasıl ani fren sonucu yıkılabiliyorlarsa, deprem sonucu ortaya çıkan atalet kuvvetleri tarafından da binalar yıkılabilir. İvme, saniyedeki hız değişimi olarak tarif edilir ve ivme ile kütle çarpımını kuvveti verir⁽¹⁷⁾.

2.10.1. Etkin Yer İvmesi Katsayısı

Çizelge 2.4 Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_o)

Deprem Bölgesi	1	2	3	4
A_o	0.4	0.3	0.2	0.1

Dikkat edilirse, en büyük etkin yer ivmesi katsayısı A_o 'ın 0.4 değerini alacağı kabul edilmiştir. Bunu ivmeye çevirmek için yerçekimi ivmesi (g) ile çarpmak gerekir.

$$a (\text{max}) = 0.4g \quad (2.13)$$

Deprem odağında 0.4g'den daha büyük ivmeler oluşabilir. Ancak, yeryüzüne doğru hareketler esnasında, zemin içinde büyük elastik ötesi (inelastik) şekil değiştirmeler olur ve enerji tüketilir. Bunun sonucu olarak ivme küçülür. Yeryüzüne ulaşarak taban kayayı etkileyecek ivmenin maksimum 0.4g değerini alabileceği kabul edilir. Bu taban kayası ivmeleri, taban kayası ile yapı arasındaki yerel zemin içinden geçerken, zeminin yapısına ve yapının doğal titreşim periyoduna bağlı olarak büyürler (Tepki Spekturumu).

Etkin yer ivmesinin en büyük 0.4g değerini alması, deprem yönetmeliğinin kabul ettiği "hasar felsefesi" ile ilgilidir. Anımsanacağı gibi, hafif, orta ve yıkıcı

deprem gibi sınıflandırmaya tekabül ettiği kabul edilen hasar seviyeleri vardır. İşte, 1. derece deprem bölgesinde 0.4g gibi bir ivmeye göre tasarlanan yapının taşıyıcı sisteminde hasar olabilir, ancak bu hasar çökmeye yol açmamalıdır.

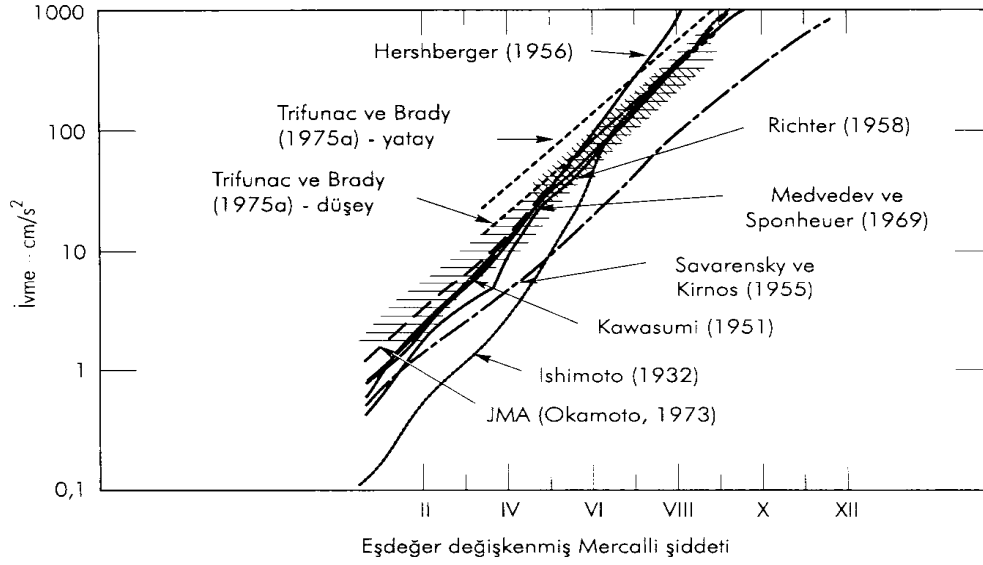
1. derece deprem bölgesinde, fay hattına yakın bölgelerde, etkin yer ivmesi 0.4g'den büyük olabilir. Bu bölgelerde ve özellikle önemli yapılar için, uzmanlar tarafından “mikrozon” çalışması yapılarak oluşabilecek maksimum ivme özel olarak saptanmalıdır⁽¹⁹⁾.

2.10.2. Pik İvme

Belirli bir yer hareketinin genliğini belirlemede en yaygın ölçü olarak pik yatay ivme (PHA) alınmaktadır. Bir hareket bileşeni için PHA, çok basit olarak o bileşenin akselerogramından elde edilen yatay ivme (mutlak) değerinin en büyüğüdür. İki ortogonal bileşenin vektör toplamını alarak maksimum PHA bileşkesi (bunun yönü genellikle ölçülmüş bileşenlerden herhangi biri ile çakışmamaktadır) elde edilebilir.

Yatay ivmeler atalet kuvvetleri ile olan doğal ilişkilerinden dolayı yer hareketini tanımlamada sıkça kullanılmaktadır. Gerçekte, bazı yapılarda (sözelimi çok rijit yapılarda) oluşan en büyük dinamik kuvvetler PHA ile yakından ilişkilidir. PHA deprem şiddeti ile de deneştirilebilir (örnek; Trifunac ve Brady, 1975a; Murphy ve O'Brien, 1977; Krinitzsky ve Chang, 1987). Bu deneştirme her ne kadar sağlıklı olmaktan uzak ise de, kuvvetli yer hareketi aletlerinin kullanılmaya başlandığı dönemden önce oluşan (tarihsel) depremlerin durumunda olduğu gibi, sadece şiddet verileri mevcut olduğu zaman PHA'yı tahmin etmede çok faydalı olabilir. Şiddet-ivme ilişkisi üzerinde çok sayıda ampirik yöntem öne sürülmüş olup, bunlardan

birkaçı Şekil 2.13’de grafik olarak verilmiştir. Şiddet-ivme ilişkileriyle ayrıca tarihsel depremlerin eşşiddet haritalarından pik ivmenin alansal dağılımını belirlemede mümkün olabilmektedir. Düşey ivmeler deprem mühendisliğinde yatay ivmelerden daha az ilgi çekmiştir. Bunun nedeni, yapılarda yerçekiminin neden olduğu statik düşey kuvvetlerin, depremler sırasındaki düşey ivmelerin neden olduğu dinamik kuvvetlere karşı emniyet payının yüksek olmasıdır. Mühendislik tasarımlarında pik düşey ivme (PVA) genellikle PHA ’nın üçte ikisi kadar kabul edilmektedir (Newmark ve Hall, 1982). Ancak, son zamanlarda yapılan gözlemler PVA’ nın PHA’ ya oranının oldukça değişken olduğunu fakat, orta ve büyük ölçekteki deprem kaynaklarının yakınında bu oranın üçte ikiden büyük ve daha uzak mesafelerde ise üçte ikiden küçük olduğunu göstermiştir (Campbell, 1985; Abrahamson ve Litehiser, 1989). Pik düşey ivmeler oldukça yüksek olabilir. 1979 Imperial Valley depreminde Imperial ve Brawley fayları arasında 1,74g düzeyinde PVA ölçülmüştür. Yüksek pik ivmeler içeren yer hareketleri her zaman olmamakla beraber genellikle düşük pik ivmeli hareketlerden daha yıkıcı olmaktadır. Çok kısa süren yüksek pik ivmeler çok değişik yapı türlerinde az hasara neden olabilir. Pik ivmeler çok yüksek frekanslarda olduğundan ve deprem süresi de uzun olmadığından, çok sayıda deprem 0.5g’den daha büyük pik ivmeler ürettiği halde yapılarda önemli bir hasara yol açmamıştır. Pik ivme çok yararlı bir parametre olsa da, hareketin frekans içeriği ve süresi hakkında herhangi bir bilgi içermez; bir yer hareketini doğru şekilde karakterize edebilmesi için ilave bilgi ile birlikte kullanılmalıdır⁽¹¹⁾.



Şekil 2.13 PHA ve MMI arasında önerilen ilişki [Trifunac ve Brady (1975a)'den Seismological Society of Amerca'nın izni ile kullanılmıştır]

2.11. Yer Hareketi Azalım İlişkileri

Yer hareketi azalım modelleri probabilistik deprem tehlike hesaplamalarının en önemli unsurlarından biridir. Verilen bir deterministik deprem senaryosundan kaynaklanacak deprem yer hareketine ait davranış spektrumunun ampirik olarak belirlenmesinde de genel olarak azalım ilişkileri kullanılmaktadır. Azalım ilişkileri kuvvetli yer hareketi parametresinin büyüklük, faylanma mekanizması, yayılma hattı ve yerel zemin koşulları gibi parametrelere bağlı olarak tahminini sağlar.

Geliştirilmiş azalım ilişkilerinde spektral ivmeler depremin moment büyüklüğü, uzaklık (R), deprem mekanizması ve lokal zemin koşullarına bağlı ifadelerle verilmektedir. Azalım ilişkisinde, frekans-manyitüd verilerinin toparlanmasında ve maksimum manyitüdün belirlenmesinde aynı deprem büyüklüğü ölçeğinin kullanılmasına dikkat edilmelidir. Azalım ilişkilerinde kullanılan uzaklık

parametresi, (1) odak noktasına, (2) merkez üstüne, (3) enerji boşalma merkezine, (4) fay yüzeyine, ve (5) fay uzantısına olan mesafe olarak tanımlanabilir. Tanımlardaki bu farklılıklar özellikle faya yakın bölgelerde çok önemli rol oynar⁽²⁰⁾.

Ülkemizde kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi ivmelerinin kısıtlı sayıda olması, dünyanın başka bölgelerinde alınmış kayıtlardan elde edilmiş azalım ilişkilerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Erdik ve diğ. (2003) ülkemizde kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi verilerinin California verileri kullanılarak elde edilen azalım ilişkileri ile uyum sağladığını göstermektedir⁽²¹⁾. Bu kapsamda Boore ve diğ. (1997) ve Sadigh ve diğ.(1997) tarafından geliştirilmiş spektral ivme azalım ilişkilerinin kullanılması tavsiye edilebilir.

Azalım ilişkileri özellikle faya yakın bölgelerde dikkatli kullanılmalıdır. Bu bölgelerde azalım ilişkilerinin fay uzaklığına ve deprem büyüklüğüne bağımlılıkları azalır ve standart sapmaları artar. Bu durum azalım ilişkilerinde kullanılan fiziksel modellerin yetersizliğinden, dalga yayılım özelliklerinden, yırtılma boyutları ve direktivite etkisinden ve olası doğrusal olmayan zemin davranışlarından kaynaklanmaktadır.

En büyük yer ötelemesi için geliştirilmiş azalım ilişkilerinde yer ötelemesinin sadece dinamik bileşenleri göz önüne alınmaktadır. Toplam ötelemenin hesabında kullanılması gerekli olan statik öteleme bileşeninin ayrıca tahmini gereklidir⁽²⁰⁾.

2.11.1. Pik İvme Azalım İlişkisi

Pik ivme en sık kullanılan yer hareketi parametresi olduğundan, çok sayıda pik ivme azalım ilişkisi geliştirilmiştir. Bunların hepside hangi veri gruplarına dayalı

olarak elde edilmişse, en iyi o bölgenin şartlarına uymaktadır. Giderek daha fazla miktarda yer hareketleri kayıtları elde edilirken, azalım ilişkileri de güncelleştirilmektedir. Sözgelimi, aralarında 13 yıl bulunan iki azalım denklemini göz önüne alınız.

1981’de Campbell büyüklüğü 5.5 ile 7.0 arasında olan depremler için fay yırtılmasından 50km mesafe içinde bulunan alanlarda PHA’yı hesaplamak için tüm dünyanın değişik yerlerine ait verileri bir arada kullanmıştır:

$$\ln\text{PHA}(g) = -4.141 + 0.868M - 1.09 \ln [R + 0.060\exp(0.7M)] \quad \sigma_{\ln\text{PHA}} = 0.37 \quad (2.14)$$

Burada, M: 6’dan küçük veya büyük oluşuna göre yerel magnitüd veya yüzey dalgası magnitüdü ve R: fay yırtılmasına olan en kısa uzaklıktır (km). 1981 yılı için gelinen noktayı en iyi temsil eden (state of the art) ve nispeten basit olan bu ilişkide pik ivme sadece M ve R’nin fonksiyonu olarak alınmış ve $\sigma_{\ln\text{PHA}}$ sabit tutulmuştur. 1994’de Campbell ve Bozorgnia tüm dünyadan moment magnitüdü 4.7 ile 8.1 arasında olan depremlere ait akselerogramları kullanarak aşağıdaki bağıntıyı elde etmişlerdir:

$$\ln\text{PHA}(\text{gal}) = -3.512 + 0.904M_w - 1.328 \ln \{R^2 + [0.149 \exp(0.647M_w)]^2\}^{0.5} \quad (2.15)$$

$$+ (1.125 - 0.112 \ln R - 0.0957M_w)F + (0.440 - 0.171 \ln R)S_{\text{SR}}$$

$$+ (0.405 - 0.222 \ln R)S_{\text{HR}}$$

$$\sigma_{\ln\text{PHA}} = \begin{cases} 0.889 - 0.691M & M \leq 7.4 \\ 0.38 & M > 7.4 \end{cases}$$

Burada, R: sismik yırtılmaya en kısa mesafe (≤ 60 km ve birimi km; 5.0, 5.5, 6.0, ve 6.5 büyüklükleri için R’nin minimum değerleri 7.3, 5.8, 3.5 ve 3.0 km’dir); kaynak terimi F’nin değeri doğrultu atımlı ve normal faylanmalar için 0 ve ters, ters-rev ve bindirme türü faylanma için 1; yumuşak kaya sahaları için (Tersiyer yaşlı)

$S_{SR}=1$, sert kaya sahaları (başlıca yaşlı sedimenter kayalar, metamorfik kayalar ve kristalen kayalar) için $S_{HR}=1$ ve alüvyon sahaları için $S_{SR}=S_{HR}=0$ 'dır. Daha çok verilere dayalı olan 1994 bağıntısı açıkça da görüldüğü gibi 1981 ilişkisinden daha spesifiktir (ve daha karmaşıktır). Deprem kaynağı ve proje alanı özelliklerini yansıtan daha çok sayıdaki ek terimlerin bu tür ilişkiler içine dahil edilmesi, yakın geçmişte geliştirilmiş olan azalım ilişkilerinin güncelleştirilmesinde yapılan tipik işlemlerdendir.

Kuzey Amerika'nın doğusundaki kıtasal kabuk batısındakine göre daha sağlam ve daha elastik olduğundan pik ivmeler de daha büyük olma eğilimindedir. Kuzey Amerika'nın orta kısmına yakın doğu bölümünde Toro vd. (1994) kayada pik yatay ivme için aşağıdaki azalım denklemini geliştirmişlerdir:

$$\ln PHA(g) = 2.20 + 0.81(M_w - 6) - 1.27 \ln R_m + 0.11 \max[\ln(R_m/100), 0] - 0.0021 R_m \quad (2.16)$$

$$\sigma_{\ln PHA} = \sqrt{\sigma_M^2 + \sigma_R^2}$$

Burada, $R_m = (R^2 + 9.3^2)^{0.5}$, R: deprem yırılmasına en yakın yatay mesafe (km),

$$\sigma_M = 0.36 + 0.07(M_w - 6) \text{ ve}$$

$$\sigma_R = \begin{cases} 0.54 & R < 5 \text{ km için} \\ 0.54 - 0.0227(R - 5) & 5 \text{ km} \leq R \leq 20 \text{ km için} \\ 0.20 & R > 20 \text{ km için} \end{cases}$$

Dalma-batma zonu depremlerinin iç merkez derinlikleri genellikle transform faylarda oluşan depremlerinkinden daha büyüktür. Bunun sonucunda da, dalma-batma zonunda oluşan depremlerden türeyen sismik dalgalar transform faylar üzerinde oluşanlardan farklı yollar izlemektedir. Youngs vd. (1998) dalma-batma zonu depremlerine ait bir azalım denklemini geliştirmek için kayada kaydedilmiş 60 depreme ait kuvvetli hareket ölçümlerini ve sayısal benzetişim tekniklerini kullanmışlardır:

$$\ln\text{PHA}(g) = 19.16 + 1.045M_w - 4.738\ln[R + 205.5\exp(0.0968M_w)] + 0.54Z_t \quad (2.17)$$

$$\sigma_{\ln\text{PHA}} = 1.55 - 0.125M_w$$

Burada, R: yırtılma zonuna en kısa mesafe (km), Z_t : ara yüzey olayları için 0 ve blok-arası olaylar için 1'dir.

Boore vd. (1993) aşağıdaki bağıntıyı geliştirmede büyüklüğü 5.0 ile 7.7 arasında değişen ve fayın yüzeydeki izinden itibaren 100 km mesafe içindeki Kuzey Amerika depremlerine ait verileri kullanmışlardır.

Boore vd.(1993) azalım denkleminin doğal logaritma yerine 10 tabanlı logaritma cinsinden ifade edildiğine dikkat ediniz. Arazi sınıflamaları zeminin en üst 30 m'si için ortalama kesme dalgasına göre yapılmıştır⁽¹¹⁾.

Boore, Joyner ve Fumal (1993) bağıntısı :

$$\log_{10}a_y = b_1 + b_2(M_w - 6) + b_3(M_w - 6)^2 + b_4(D^2 + h^2)^{1/2} + b_5\log_{10}(D^2 + h^2)^{1/2} + b_6G_B + b_7G_C + \epsilon_1$$

$5 < M_w < 7.7$ ve $D \leq 100$ km için geçerlidir. (2.18)

Burada,

- Doğrultu atımlı faylanma için $b_1 = -0.136$
- Ters faylanma için $b_1 = -0.051$
- Tüm faylanma türleri için $b_1 = -0.105$

Zemin tanımları :

- $180 \text{ m/sn} < V_s < 360 \text{ m/sn}$ ise yumuşak, gevşek zemin, $G_B = 0, G_C = 1$
- $360 \text{ m/sn} < V_s < 750 \text{ m/sn}$ ise katı, sıkı zemin, $G_B = 1, G_C = 0$
- $V_s > 750 \text{ m/sn}$ ise kaya, $G_B = 0, G_C = 0$

Çizelge 2.5 Boore vd. (1993) azalım denkleminin katsayıları

b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	h	ϵ_1
0.229	0	0	-0.778	0.162	0.251	5.57	0.226

Boore, Joyner ve Fumal (1997) bağıntısı :

$$\ln a_y = b_1 + b_2(M_w - 6) + b_3(M_w - 6)^2 + b_5 \ln(D^2 + h^2)^{1/2} + b_v \ln(V_s/V_a) + \epsilon_2 \quad (2.19)$$

$5.5 < M_w < 7.5$ ve $R \leq 80$ km için geçerlidir.

- Doğrultu atımlı faylanma için $b_1 = -0.313$
- Ters faylanma için $b_1 = -0.117$
- Tüm faylanma türleri için $b_1 = -0.242$

Çizelge 2.6 Boore vd. (1997) azalım denkleminin katsayıları

b_2	b_3	b_5	b_v	h	V_a	ϵ_2
0.527	0	-0.778	-0.371	5.57	1396	0.52

Burada,

a_y = Maksimum yatay yer ivmesi büyüklüğü (.g)

M_w = Depremin moment büyüklüğü

b_i = Regresyon analizinin katsayıları (Bkz. Yukarıdaki çizelgelere)

R = Odak (hiposantır) uzaklığı (km), $R = (h^2 + D^2)^{0.5}$

h = Fiktif odak (hiposantır) derinliği - regresyon analizinden elde edilen büyüklük - ,
(km) (Bkz. Çizelgelere, $h=5.57$ km)

D = Faya dik uzaklık (km)

V_s = yüzeyden itibaren 30m derinlikli zemin katmanının ortalama kayma dalgası hızı, (m/sn)

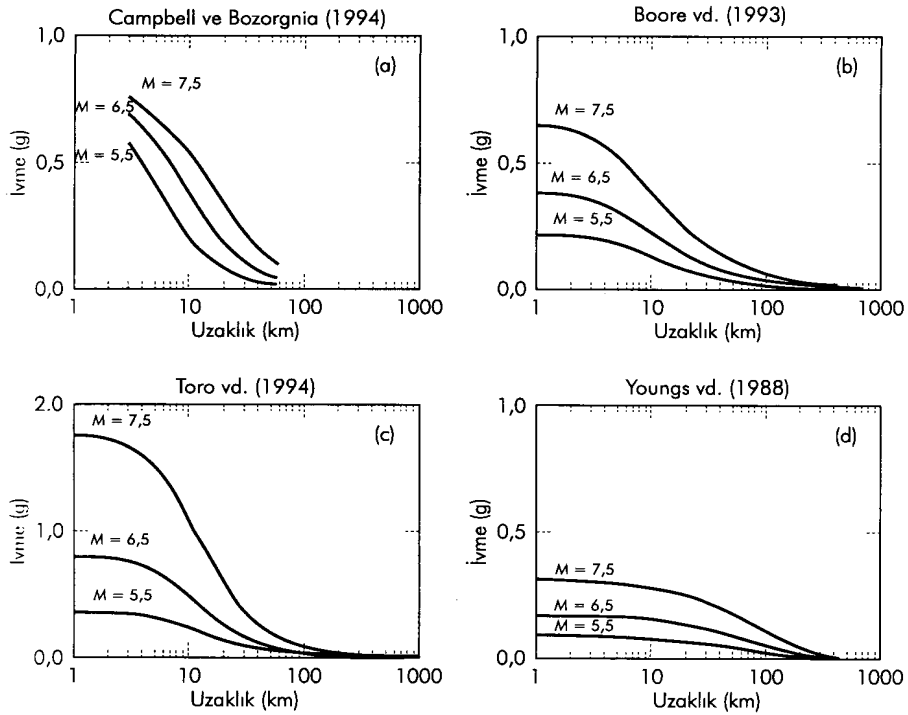
V_a = Efektif kayma dalga hızı değeri

$V_s = 1396$ m/sn'dir (Pratik olarak $V_s \approx 1400$ m/sn alınabilir), (m/sn) (bkz. Yukarıdaki çizelge)

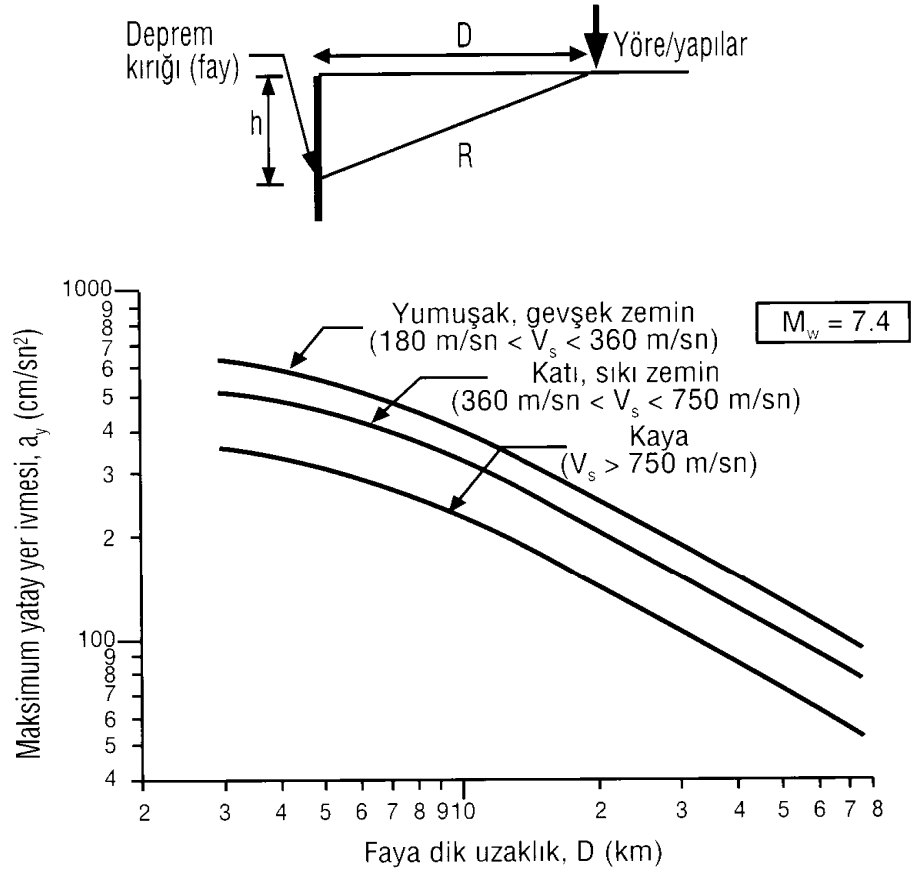
G_B, G_C = Zemin sınıfı faktörleri

ε = belirsizliği açıklayan istatistiksel bir faktör. Orta değer için $\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$ 'dır ve birinci ve ikinci bağıntılara ait standart sapma “ σ ” aralıkları sırası ile $\varepsilon_1 = \pm \sigma_{\log_{10}}(a_y)$ ve $\varepsilon_2 = \pm \sigma_{\ln}(a_y)$ olmaktadır. Alındığı değerler katsayı çizelgelerinde belirtilmiştir⁽²²⁾.

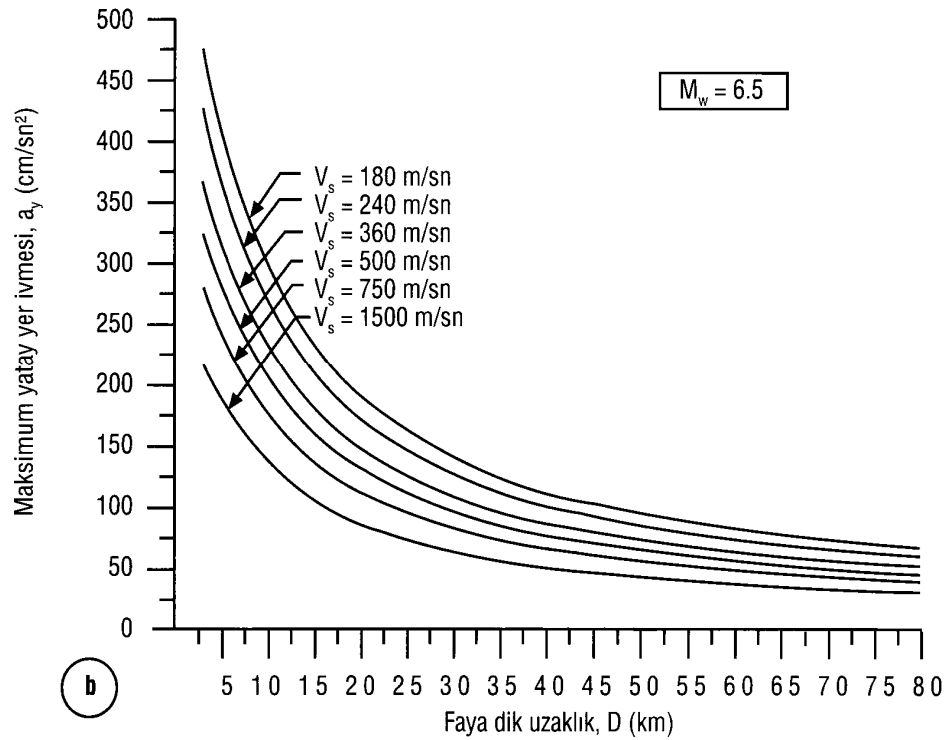
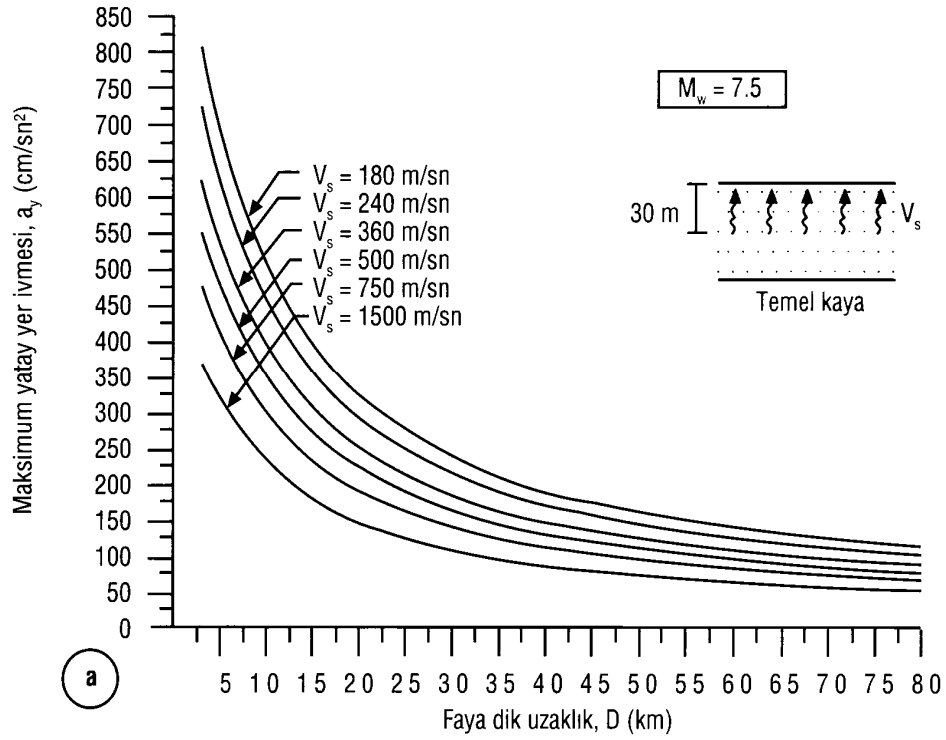
Yukarıda verilen dört azalım denkleminin 5.5, 6.5 ve 7.5 deprem büyüklükleri için grafikleri Şekil 2.14’de sunulmuştur. Farklı coğrafi bölgeleri ve farklı kaynak mekanizmalarını temsil etmelerine ve mesafede değişik ölçütler kullanmalarına rağmen azalım ilişkilerinin şekilleri arasında benzerlik vardır⁽¹¹⁾.



Şekil 2.14 Değişik azalım ilişkilerine göre M=5.5, M=6.5 ve M=7.5 depremlerinin pik yatay ivmelerinin mesafe ile değişimi: **a)** Campbell ve Bozorgnia (1994), yumuşak kaya sahaları ve doğrultu atımlı faylanma; **b)**Boore vd. (1993), zemin sınıfı B; **c)** Toro vd. (1994) ve **d)** Youngs vd. (1988), blok içi depremleri



Şekil 2.15 Boore vd. (1997) azalım ilişkisine göre, $M_w = 7.4$ için $a_y = f$ (zemin türü, faya dik uzaklık) değişimleri⁽²²⁾



Şekil 2.16 Boore vd. (1997) azalım ilişkisine göre; Maksimum yatay yer ivmesinin (a_y) depremin moment büyüklüğü (M_w), **a)** $M_w = 7.5$, **b)** $M_w = 6.5$ için, kayma dalgası hızlarına (V_s) göre değişimi ($V_s =$ Yüzeyden itibaren 30 m kalınlıktaki katman içinde ortalama kayma hızı, m/sn) ($V_a = 1396$ m/sn alınmıştır)⁽²²⁾

2.12. Moment Magnitüdü (M_w) Dönüşümleri

Depremlerin incelenmesi ve karşılaştırılmalarında magnitüd değerleri önem arz etmektedir. Bu değerler aynı ya da farklı merkezlerce genellikle değişik ölçekte verilmektedir. Bu çalışmada, magnitüd değerlerinin tek bir ölçeğe çevrilmesinde moment mağnitüdü esas alınacaktır.

Ortogonal regregasyon yöntemini ve son yüzyıl içerisinde ülke çapında meydana gelmiş bütün depremlerden oluşan bir veri tabanını kullanarak bir dizi dönüşüm ilişkileri elde edilmiştir^(23,24).

$$M_w = 2.25 * M_b - 6.14 \quad (2.20.a)$$

$$M_w = 1.27 * M_d - 1.12 \quad (2.20.b)$$

$$M_w = 1.57 * M_L - 2.66 \quad (2.20.c)$$

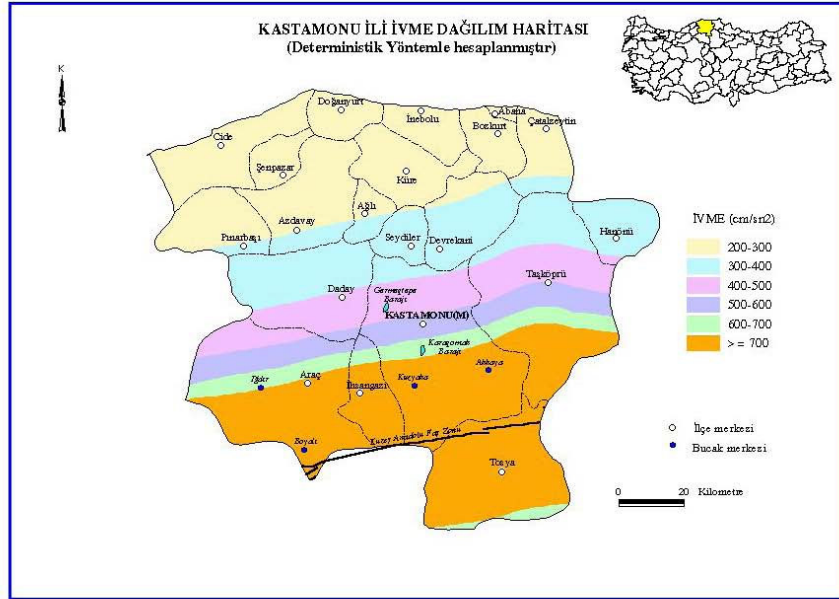
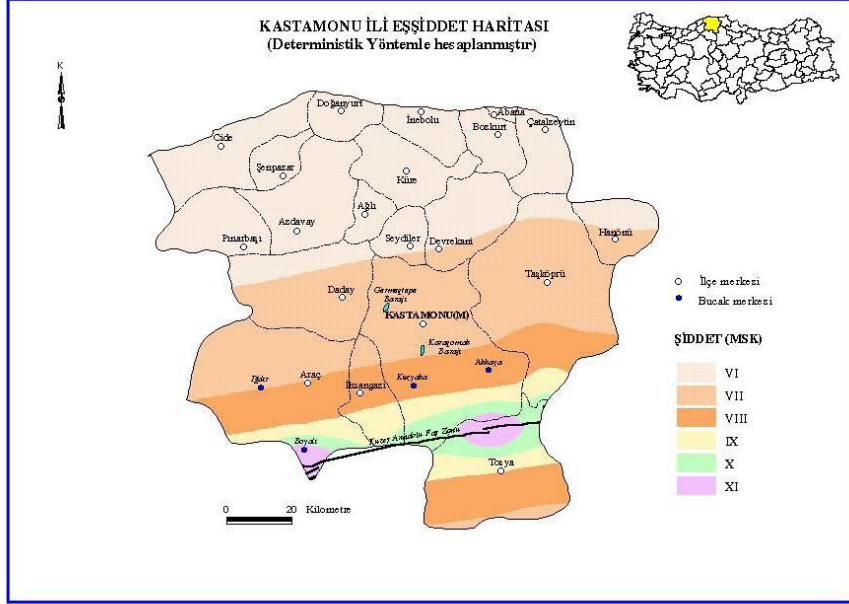
$$M_w = 0.54 * M_s + 2.81 \quad (2.20.d)$$

2.13. Kastamonu İlinin Deterministik Deprem Tehlikesi

Deterministik olarak belirlenen deprem tehlikesi, zaman boyutundan bağımsız olarak, bölgede meydana gelebilecek en büyük depremin yaratacağı yer hareketinin düzeyidir.

Bu çalışmada Kastamonu ili için deterministik deprem tehlike haritaları Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde oluşabilecek $M_s=7.5$ magnitüdü depremin Kastamonu il sınırları içinde oluşturabileceği şiddet ve ivme değerleri kullanılarak hazırlanmıştır⁽²⁵⁾.

Bu deprem neticesinde oluşacak zemin-bağımsız deprem şiddetleri Erdik ve diğ. (1983) tarafından Kuzey Anadolu Fay hattı boyunca oluşan depremlerle ilişkili olarak var olan eşşiddet haritalarından yararlanarak fay izine dik olacak şekilde geliştirilen azalım ilişkisi kullanılarak hesaplanmıştır⁽²⁶⁾.



Şekil 2.17 Kastamonu ili eş-şiddet ve eş-ivme haritası

$$I = 0.34 + 1.54M - 1.24\ln R \quad (2.21)$$

Burada;

I : MSK ölçeğinde ortalama yapı yerindeki şiddet

M : Yüzey dalgası magnitüdü

R : Faya en yakın uzaklık (km. cinsinden)

Kastamonu ilinin ivme dağılım haritası İnan ve diğ. (1998) tarafından 1976 yılından beri Türkiye’de kaydedilen 418 ivme kaydının maksimum yatay bileşenini kullanarak elde ettikleri azalım ilişkisi kullanılarak hesaplanmıştır⁽²⁷⁾.

$$\text{LogPA} = 0.56M - 0.827\text{LogR} - 0.236 \quad (2.22)$$

Burada;

PA : Maksimum yatay ivme (gal cinsinden)

M : Magnitüd

R : Faya olan en kısa uzaklık (km. cinsinden)

2.14. Mikrobölgeleme

Mühendislik yapılarının inşa edileceği sahalarda, imara açılacak konut alanları, projelendirme aşamasına geçmeden önce, deprem mühendisliği açısından iyice etüd edilmelidir. Bu nedenle, taban kayaya kadar yer alan bütün zemin tabakalarının geometrik, fiziksel, mekanik ve dinamik özellikleri tayin edilmesi ayrıca, genişçe bir bölgenin faylanma durumu incelenerek aktif veya pasif fay kuşağına göre sahanın durumu tespit edilmelidir. Bu amaçla mikrotremor, rezistivite, jeoradar, sismik ve manyetik ölçüm cihazlarına sahip olan araştırma grubu şu ana kadar Adana, Kastamonu, Karabük, İstanbul, Adapazarı, Bursa ve Ankara’nın çeşitli bölgelerinde

başarılı bir şekilde çok sayıda jeofizik-jeolojik etüdler yapmış olup mikrobölgeleme çalışmalarını yürütmektedir⁽²⁸⁾.

2.15. Diri Faylar Etrafında Tampon Bölge (Emniyetli Kuşak) Oluşturma Esasları-Fay Yasası

Bu yazıda, Kaliforniya Eyaleti'nde bilinen diri faylar etrafında tampon bölgeler oluşturulmasına ilişkin ölçütleri içeren yasal düzenlemelerden bahsedilecektir. Yapıların yer sarsıntısına karşı dayanıklı olmasını sağlayacak tasarım ölçütleri geliştirilmiştir. Benzer şekilde faylanma ve deprem etkilerini en aza indirgeyecek ölçütlere ilişkin güvenlik amaçlı bazı yasal düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Ancak diri ya da potansiyel diri faylar yakınında yapılacak yapılarla ilgili sadece birkaç yasal düzenleme bulunmaktadır. Örneğin, dünyanın 28 ülkesinde Depreme Dayanıklı Yapı Yönetmelikleri bulunmaktadır. Ancak bunların hiç biri diri faylar yakınında yer alan yapılarla ilgili ölçütler içermemektedir. Bazı yapı yönetmelikleri ve düzenlemeler, diri ve potansiyel faylar civarında "tampon bölgeler" oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde diri ya da potansiyel diri faylar yakınında yer alan yapılar için tampon bölgelerinin oluşturulmasında bazı ölçütler geliştirilmiştir. Ancak bu tampon bölgeler, alüvyonlar içerisindeki yırtılma şekilleri ve uygun ölçütler dikkate alınmayarak oluşturulmaktadır. Örneğin:

(1) Sıvılaşmış Doğal Gaz tankı, diri bir faydan en az 35 metre uzaklıkta yer alması gerekmektedir;

(2) Sıvalaşmış Doğal Gaz depolama tankı (temel 1.5 m'den daha derin olduğu zaman), Kuvaterner'den beri yüzey faylanması oluşturmuş bir faydan en az 1.6 km uzaklıkta bulunması gerekmektedir;

(3) Nükleer Santrallerin yeri için ayrıntılı jeolojik-jeoteknik araştırmaların yapılması gerekmektedir. Faylanma sırasındaki yerdeğiştirmelere karşı santralin içerisindeki bazı yapıların, sistemlerin ve elemanların işlevini engellemeyecek şekilde güvenliğini sağlayacak, yüzey faylanmasına ilişkin esaslar gerekmektedir. Tasarım hazırlıkları, nükleer santralin herhangi bir bölümünde herhangi bir yönde yüzey faylanmasına maruz kalacağı varsayımına dayanılarak yapılmalıdır;

(4) Alquist-Priola Özel Çalışma Zonları Yasası (Deprem Fay Zonları Yasası), diri fay üzerinde yerleşim amaçlı hiç bir yapıya kesinlikle izin verilmeyeceğine dair esaslar getirmektedir.

Alquist-Priola Özel Çalışma Zonları Yasası, 22 Aralık 1972 günü yasallaşmış ve 7 Mart 1973 günü yürürlüğe girmiştir. Kamu Kaynakları Yasası Taksim 2, Bölüm 7.5'de toplanılan yasada yedi kere değişiklik yapılmıştır. Yasanın amacı, Kaliforniya Eyaleti'ndeki deprem üreten diri fayları tanımlamak, özel jeolojik araştırmaların yapılması gereken alanları belirlemektir. Yasa gereği, Kaliforniya Eyaleti'nde bilinen diri faylar boyunca Özel Çalışma Zonlarını (Tampon Bölgeleri) belirlemek, tehlike zonları ile ilgili haritaları derlemek, yayınlamak, şehir – ilçe- (yerel yönetimler) ilgili devlet kurumlarının hizmetine sunmak, yeni verileri gözden geçirmek ve yerel yönetimlerce bildirilen feragat talebini onaylamak amacıyla **Devlet (Eyalet) Jeologuna** (Maden ve Jeoloji Dairesi Başkanı) gereksinme duyulur. **Eyalet Madencilik ve Jeoloji Kurulu**, şehir ve ilçe yönetimlerinin yasayı uygulayabilmesi için gerekli politika ve ölçütleri belirler ve Danışma Kurulu olarak hizmet verir. Dokuz üyeden oluşan Kurul, Eyalet Başkanı tarafından atanır. **Şehir ve İlçe**

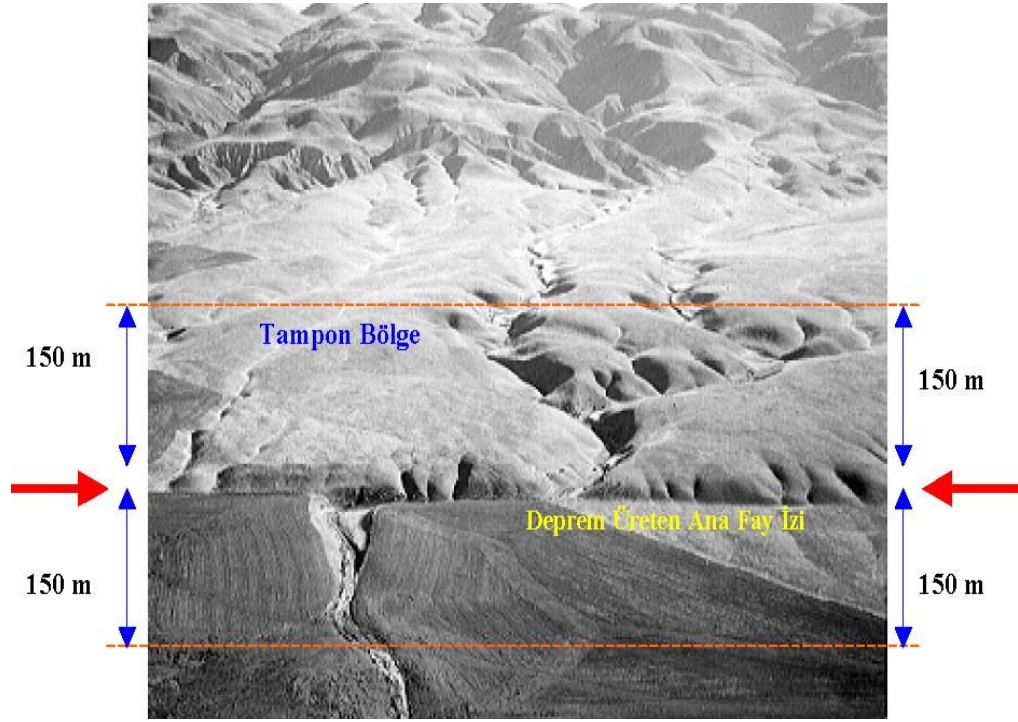
Yönetimleri, yasa gereği, yasa, yönetmelik ve tüzükleri yürürlüğe koyar, Özel Çalışma Zonları Haritaları'nı ilan eder, Proje ruhsatı vermeden önce gerekli jeolojik raporları ister ve onaylar.

Yasada Devlet Madencilik ve Jeoloji Kurulu tarafından **son 11 yıl (Holosen)** içerisinde hareket etmiş ya da yüzey faylanması meydana getirmiş bir fay **diri fay** olarak tanımlanmıştır. 1977 yılından önce Kuvaterner'de (son 1.6 milyon yıl) yüzey faylanması oluşturmuş faylar " **Potansiyel diri faylar** " olarak tanımlanmış ve kuşaklama yapılmıştır. Ancak program geliştirildikçe, eyalet içerisinde çok sayıda potansiyel diri fayın (Kuvaterner fayları) olduğu gözlenmiş ve bu fayların tümünü kuşaklamanın anlamsız olduğu sonucuna varılmıştır. 1975 yılı sonlarına doğru Eyalet jeologu, yüzey faylanma oluşturma potansiyeli yüksek olan bu tür potansiyel diri fayların kuşaklanması için bazı politika ve ölçütler geliştirmiştir. 1977 yılından itibaren Kuvaterner'de yüzey faylanması meydana getirmiş faylarla ilgili deliller kuşaklama kriteri olarak kullanılmamaya başlanmıştır. Yasada ismi geçen dört ana fay (San Andreas Fayı, Calaveras Fayı, Hayward Fayı ve San Jacinto Fayı) dışında diğer fayları kuşaklamada kolaylık sağlamak için " **yeterince diri ve kesin diri fay** " terimleri tanımlanmıştır. Bir fayın bir ya da birkaç parçası ya da kolu, Holosen içerisinde yüzey faylanması meydana getirmişse, o fay yeterince diri fay; herhangi bir jeoloji eğitimi almış jeolog tarafından zemin yüzeyinde ya da hemen altında yer alan herhangi bir fiziksel özelliğe bağlı olarak kolayca tanımlanan herhangi bir fay kesin diri fay olarak tanımlanmaktadır.

1 Ocak 1992 tarihi itibariyle toplam 534 adet Resmi Özel Çalışma Zonları (deprem fay zonları) Haritaları (tampon bölge oluşturulmuş diri faylar) yayımlanmıştır. Bu haritalardan 124 adeti revize edilmiş ve 2 adeti iptal edilmiştir.

Kaliforniya Eyaleti'nde 36 ilçe ve 92 şehir, Özel Çalışma Zonları kapasamına girmiştir. Özel Çalışma Zonları, 1:24.000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerine çizilir. Kuşak (koruma bölgeleri) sınırları, dönüş noktaları arasında düz çizgilerle gösterilir. Dönüş noktaları, yollar, dereler gibi belirgin yapılarla uyumlu olarak seçilir. 1974 ve 1976 yıllarında yayımlanmış Özel Çalışma Zonları haritalarında gösterilen faylar, arazide denetlenmemiştir. Ancak 1 Ocak 1977 tarihinden itibaren kuşaklanmış fayların hemen hemen tamamının yeterince diri ve kesin diri fay kriterlerine uygun olup olmadığı konusunda arazide denetlenme yoluna gidilmiştir.

Yasa gereği, diri faylar üzerinde “**proje (yerleşim amaçlı yapı)**” olarak tanımlanan insan barınması için gerekli hiç bir yapıya izin verilemez. Ayrıntılı jeolojik çalışmalar yapılmadıkça ve yapıncaya kadar, **bir diri fay izinin her iki tarafından 15'şer metrelik uzaklık** içerisinde yer alan kuşakda fayın diri kollarının uzanabileceği varsayılır. Elbette bu 15 metre ölçütü, faydan en düşük uzaklığı ifade etmektedir. Buna karşılık yasa, gökdelenler, hastaneler ya da okullar gibi kritik yapılar için çok daha sıkı ölçütler içermektedir. Önceki haritalarda kuşak sınırları, **kesin olarak belirlenmemiş fay izleri ve diri kollarından itibaren 200'er metre uzaklıklardan** geçirilmiştir. 1977 yılından itibaren Kuşaklama **Sınırları ana faylardan itibaren 150'şer metre; kesin olarak belirlenmiş küçük faylardan itibaren 60 ile 90'ar metre uzaklıklardan** geçirilmiştir. Ancak yerel olarak karmaşık olan faylar ve düşey olmayan faylar (ters ve normal faylar) da bu kriterler geçerli kılınmamıştır. Sismik sarsıntı sonucu ikincil etkilerden (heyelan, farklı zemin oturmaları, sıvılaşma) ileri gelen yüzey kırıkları haritalarda ihmal edilmekte ve kuşaklamada bir ölçüt olarak kullanılmamaktadır.



Şekil 2.18 San Andreas Fayı'nın Carrizo Plain, Wallace Creek bölgesinde tampon bölge oluşturmaya bir örnek

Yasada gevşek çökellerin olduğu bölgelerde kırık ilerleme şekilleri esasına dayanan tampon bölgeler ile ilgili hiç bir ölçüt yer almamaktadır. Bu amaçla bu yazıda, ayrıca bu tür gevşek zeminlerin bulunduğu bölgelerde, yüzey kırıklarının olası yerleri, etkilenme zonlarının genişlikleri ve olası fay sarplık yükseklikleri esas alınarak tampon bölgelerinin nasıl oluşturulacağı konusunda kısa bilgiler sunulmaktadır.

Bu yazıda, önce alüvyal çökellerde kırık ilerlemesiyle ilgili yapılan önceki çalışmalardan bahsedilecektir. Alüvyal çökellerdeki kırık ilerlemesini anlayabilmek amacıyla, teorik çalışmalar, laboratuvar deneyleri (kum-kutusu modelleri, santrifüj modelleri, çapa çekip-çıkarma modelleri), yüzey kırıkları ve hendek-kazı çalışmaları ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Toprak zeminlerde ya da alüvyal çökellerde deprem

kırık ilerlemesi, çok karışık ve şimdiye kadar tam olarak anlaşılammıştır. Anakayadaki faylanma, farklı yırtılma (yenilme) düzlemleri biçiminde alüvyonlar içerisinde yayılarak zemin yüzeyine doğru ilerler. Diri ve potansiyel diri fayları örten pekişmemiş gevşek alüvyal çökellerdeki yırtılma şekilleri, bu tür faylar yakınında ya da üzerinde kritik yapıların planlaması ve tasarımı açısından çok büyük önem taşır.

Yüzey faylanma izinin her iki tarafından birkaç on metre ile birkaç yüz metre uzaklık içerisinde yer alan bölgede zeminde yamulmalar (deformasyonlar) olmakta ve yapılar çarpılmaktadır. Diri fayları dikine geçen özellikle galeri, otoyol, metro, tünel, baraj, sulama kanalları, doğal gaz boru hatları, petro-kimya rafineleri, hidrolik santraller ve nükleer reaktörler gibi büyük mühendislik yapıları çok yüksek risk taşırlar. Bu tür büyük mühendislik projelerinin olası bir fayın üzerinde ya da paralel olup olmadığı veya fay hattından ne kadar uzaklıkta bulunması gerektiği çok ayrıntılı olarak araştırılması gerekmektedir. Buna karşılık, örneğin düz bir arazide fayı enine geçmesi zorunlu olan otoyol ya da tren yolu gibi çizgisel mühendislik yapılarının kısa bir bölümü faylanmadan etkilenecektir. Fakat dağlık bir bölgede bu yapılar sadece faylanmadan değil aynı zamanda heyelan gibi yer-kaymalarından da ağır derecede hasar görecektir. Sulama tüneline faylanmadan dolayı, hasar çok ciddi olabilir. Çünkü tektonik hareketlerden bir başka deyişle yerdeğiştirmelerden dolayı fay bloğunun bir tarafı diğerine göre yükselecektir. Bu durum suyun tamamen boşalması anlamına gelir. Tünellerde ise faylanmadan dolayı hasar az ya da sınırlı olabilir. Fakat tektonik yükselimle doğal akıntıların engellenmesi nedeniyle tünelin büyük bir bölümü kullanılmaz hale gelebilir.

Yüzeç faylanması ve yerdeğiştirme, geniş bir yamulma zonu içerisinde ana fay izi olarak tanımlanan dar bir hat boyunca gelişir. Yamulma zonu, ana fay izi ve ona verev olarak ya da yarı-koşut olarak gelişen ikincil kırıklardan oluşur. Yamulma zonu, birkaç on cm ile 15 m ve yaygın olarak birkaç metre ile yüzlerce metre genişlikte olabilir.

Örneğin 1906 San Fransisko depreminde ($M_w=7.9$), bir bahçe çiti, yaklaşık 127 metre genişliğinde bir yamulma zonunda toplam 3.7 m; sadece 4.6 m genişlikte bir alan içerisinde 2.3 m sağ yönlü olarak ötelenmiştir.

1940 Imperial Valley depremi ($M_w=6.9$) 30 ile 90 metre arasında değişen bir zon içerisinde 1 m – 5.9 m arasında değişen yatay atımlar meydana getirmiştir.

1930 İdu (Japonya) depremi, 40 m kalınlıkta kumlu kil birimlerince örtülen volkanik kayalar içerisinde 150 m derinlikte açılmış bir tünelde 2.4 m; yüzeyde ise 0.9 m yatay atımlara neden olmuştur. 1.5 m'lik atım, tünelin üzerindeki 150 m kalınlıktaki malzeme içerisinde soğurulmuştur.

1972 Managua (Nikaragua) depremi ($M_w=6.3$) ortalama 17 cm yatay atım oluşturmuştur. Deprem kırığı, gömüldüğü kum ve çakıl malzemesinden daha dirençli masif katı bir beton yeraltı yapısına rastladığı yerde normal gidişinden saparak devam etmiştir.

1964 Alaska depremi ($M_w=9.2$), Patton Bay fayı boyunca 300 m genişliğinde bir zonda 6.0 m yerdeğiştirmeye neden olmuştur. Bu miktarın sadece 2 – 2.5 metresi, yalnızca 1 m genişliğinde bir zon içerisinde; geri kalan 3-3.5 metrelik miktar ise tavan bloğunun fleksürlenmesi şeklinde gelişmiştir. Deprem, Jeanie Point yakınında kıyı boyunca uzanan Patton Bay fayında 2.3 m'lik bir düşey atım oluşturmuştur. Fakat aynı yerde 150 m yükseklikte çok kırıklı bir yapıya sahip kayalığın yüzeyinde

hiç bir atım meydana getirmemiştir. Bu atım, kayalığın tabanı ile tavan yüzeyi arasında soğurulmuştur.

1971 San Fernando depreminde ($M=6.6$), 2.4 metrelik sol yanal atım bileşenli ters atım, 107 m genişliğinde bir yamulma zonu içerisinde; sol yanal atımın hemen hemen tamamı ve düşey atımın yarısı (50 cm) ise 30 metrelik bir zon içerisinde gelişmiştir. Sismolojik çalışmalar, fayın eğiminin odakta 45° ; çok sayıda arazi çalışması ise, Tersiyer yaşlı sedimanter tabakalar ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlar içerisinde 30° ve zemin yüzeyine doğru daha düşük değerlerde olduğunu ortaya koymuştur.

1954 Dixie Valley ve Fairview Peak depremleri ($M_w=6.9$ ve 7.2), yaygın olarak alüvyal çökeller ile anakaya dokunağı boyunca gelişmiştir. Anakayadaki fayın eğimi $55^\circ - 65^\circ$; alüvyonlar içerisinde ise artarak $70^\circ - 90^\circ$ 'ye ulaşmıştır. Fay sarplıklarının yükseklikleri, Fairview Peak yakınında alüvyonlarda 0.9 – 1.5 m; anakayada ise 2.0 olarak gözlenmiştir.

1959 Hebgen Mont. depremi ($M_w=7.3$), 25 km genişlikte 50 km uzunlukta bir çökme zonu oluşturmuştur. Tavan bloğu (125 km karelik bir alan) 3 metreden daha fazla çökmüştür. 1983 Borah Peak depremi ($M_w=6.3$), 135 m genişlikte bir zon içerisinde kompleks grabenler ve kademeli kırıklar oluşturmuştur. 5 m yükseklikte fay sarplıkları gözlenmiştir.

Yamulma zonunun genişliği, (1) faylanma tipi, (2) faylanma miktarı, (3) fay düzlemi eğimi, (4) üstteki malzemenin kalınlığı ve geometrisine ve (5) yüzey jeolojisine bağlı olarak değişir. Yamulma zonunun genişliği, diri fayları dikine geçen hayati yapıların (ana mühendislik yapıları, çizgisel yapılar, hayati sistemler, insanların barınması için gerekli yapılar) yer seçimi ve tasarım için gerekli koruma

bölgelerinin oluşturulmasında büyük önem taşır. Tampon bölgelerinin oluşturabilmesi için ilk önce gelecekte olabilecek olası yüzey faylanmasının izlerini tespit etmek gerekmektedir. Yakın gelecekte olabilecek olası bir depremin yüzey faylanması, o diri fayın yakın jeolojik zaman ve tarihsel dönem içerisinde kullandığı iz boyunca ya da çok yakınında gelişir.

Çok sayıda değişken yırtılma davranışını etkileyebilmektedir. Arazi gözlemleri ve deney sonuçları, tabanda, anakayada ki faylanmaların, üstte yer alan toprak zeminlerde çok farklı şekilde geliştiklerini ortaya koymuştur. Bulgular, deprem kırıklarının alüvyonlar içerisinde geçerek zemin yüzeyine doğru yayılırken geniş bir zonda dağıldıklarını ve toprak zeminin karakteristik özelliklerinden (kalınlık, genişleme açısı, yenilme özellikleri) etkilendiklerini göstermiştir. Zeminin özellikleri ile birlikte, fay tipi, yönelimi ve hareket miktarı da toprak zeminlerdeki yırtılma şekillerini önemli derecede etkilemektedir. Ters faylarda, zemin yüzeyi yakınında eğimler dereceli olarak azalmaktadır. Buna karşılık normal faylarda, fay düzlemleri anakaya-toprak zemin dokunağında kırılmakta ve zemin yüzeyine yaklaşırken eğimleri artmaktadır. Normal faylarda bu tür kırılma ve eğim artması çekim fayları (grabenler) oluşturmaktadır. Doğrultu atımlı faylarda kırık zonu çiçek yapısı oluşturmakla beraber, yüzey yakınında, deprem kırığı, hemen alttaki anakayada ki düşey fay düzleminin yönelimiyle hemen hemen aynı yönde gelişmektedir. Bu tür faylarda göreceli hareket, anakayada ki fay üzerinde yer alan toprak zeminde, nispeten dar bir zon içerisinde gerçekleşmektedir. Bir başka deyişle yırtılmanın başlamasıyla birlikte, hareket ince, belirgin bir fay düzlemi boyunca oluşmaktadır. Buna karşılık sünümlü malzemelerde ise faydaki hareket, belirgin bir kesme kırıkları gelişmeksizin yüzeyde bükülmeler şeklinde gelişmektedir. Bir yandan fay zonu boyunca hareketler, tek bir kırık boyunca yoğunlaşmakta ve böylece

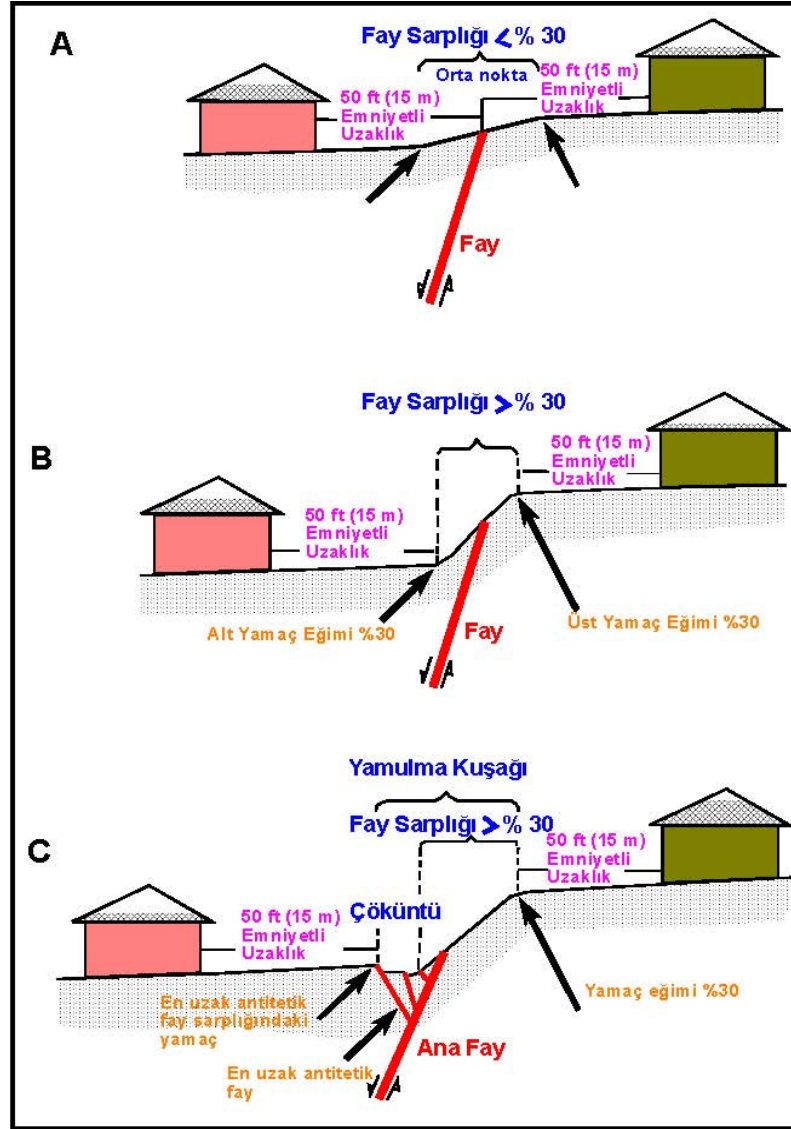
bu tür fay zonları ile ilgili sorunlar, yerel ölçekte dar zonlar içerisinde sınırlı kalmaktadır. Diğer yandan bazı faylarda ise hareketler, ana faydan belirli uzaklarda ikincil faylar ya da kırıklar şeklinde geniş bir deformasyon zonu içerisinde gerçekleşmekte ve mühendisler sadece ana fay izine yoğunlaşmakta güçlüklerle karşılaşmaktadır.

Ters faylanma sırasında, taban bloğu üzerinde bir zorlanma olurken tavan bloğunun aşağıya doğru bükümlenmesi, önemli ikincil deformasyonlara neden olmaktadır. İkincil faylardaki hareket ve tansiyon kırıkları, oldukça yamulmuş tavan bloğunda oluşurken, halbuki taban bloğunda herhangi bir deformasyon gerçekleşmemektedir. Buna karşılık, normal faylarda taban bloğunda herhangi bir hareket gözlenmezken, tavan bloğunda ikincil deformasyonlar gerçekleşmektedir. Normal faylanma sırasında tavan blokta gerçekleşen kırılma, ters faylanma sırasında tavan blokta gerçekleşen kırılmadan daha az olmaktadır. Genellikle eğim atımlı faylara göre doğrultu atımlı faylarda ikincil fay hareketleri ve deformasyon zonu, çok dar bir zon içerisinde gerçekleşmektedir. Bir başka deyişle kırık zonu oldukça dar olmakta ve fay bitişiğindeki ana kaya oldukça az deformasyona uğramaktadır.

Arazi gözlemleri, yüzey kırıkları boyunca herhangi bir noktadaki ortalama yerdeğiştirme miktarının, en büyük yerdeğiştirme miktarının hemen hemen yarısına (0.2 – 0.8) eşit olduğunu göstermiştir. Ana fay izinden 12 km uzaklığa kadar yer alan ikincil kırıklardaki yerdeğiştirme miktarı, ana fay izindeki yerdeğiştirme miktarının % 20'si kadar olabilmektedir. Gravite etkileri dikkate alınmadığında, normal faylarda, alüvyal çökellerde yerdeğiştirme miktarı, anakayadaki yerdeğiştirme miktarından daha küçük olmaktadır. Benzer şekilde ters faylarda, sarplık yüksekliği anakayadaki düşey ötelenmeden daha küçük olmaktadır. Kum kutusu deney

sonuçları, ters faylarda yüzeydeki sarplıkların yüksekliklerinin, tabandaki ötelenme miktarının %20 - %40'ı arasında; normal faylarda ise %70 - %100'ü arasında değiştiğini göstermiştir. Kum-kutusu deney sonuçları, kuru kumlarda bir kırığın tabandan yüzeye kadar ilerleyebilmesi için, üstteki zemin kalınlığının % 1 – 15'i kadar bir taban ötelenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Sıkışabilir gevşek kumlarda bir kırığın yüzeye çıkabilmesi için, daha sıkı kumlardakine göre daha büyük bir taban ötelenmesi gerekmektedir. Kırık zemin yüzeyine doğru yayılırken, faydaki hareket miktarı, toprak zeminlerde olduğu gibi, oldukça kırıklı kayalar içerisinde de azalma eğilimi göstermektedir. Gerek arazi gözlemleri gerekse laboratuvar deney sonuçları, hem gerilme hem de kinematik özelliklerin anakayada ki faylanma üzerinde yer alan zeminin davranışlarını denetlediklerini göstermiştir.

Bir fay üzerinde ya da civarında bir mühendislik projesi ya da yapısı tasarımında, o fayın diri olup olmadığını tanımlamak her zaman yeterli değildir. Tasarımda temel yaklaşım, o proje ya da yapının ömrü içerisinde olabilecek olası bir depremle ilgili olarak, yüzey faylanmasının tipi, yeri, yerdeğiştirme miktarı ve deprem yinelenme olasılığını kestirebilmeye dayanır. Bir başka deyişle yapı "tasarım olayı'na" göre tasarlanır. Tasarım olayı (deprem büyüklüğü ve yerdeğiştirme miktarı), zamana bağlı olmaksızın "olabilecek en büyük deprem" ya da belli bir zaman periyodu içerisinde "beklenen en büyük deprem" olarak tanımlanabilir. Hayati sistemlerde faylanma sonucu oluşabilecek ötelenme miktarı, gerilme ve daralma, fay tipine, yapının fay düzlemine göre yönelimine, yerdeğiştirme miktarına ve fay düzleminin eğim açısına bağlıdır. Çarpılma miktarı ve deformasyon, ayrıca fay tipi ve yerel zemin koşullarına bağlıdır. Önemli yüzey faylanmaları ile karşı karşıya kalacak diri faylar üzerinde yer alan ya da tasarlanacak hayati sistemler için alınabilecek hafifletme önlemleri;



Şekil 2.19 Fay Sarplığına göre en düşük (minimum) emniyetli uzaklık sınırının şematik gösterimi. Tavsiye edilen uzaklık A: sarplık eğimi %30 dan düşük olan kesimde sarplık orta noktasından 50 ft (15m), B:sarplık eğimi %30 dan yüksek olan kesimde sarplık yamaç eğiminin alt ve üst kesiminden 50 ft (15m), C: sarplık yamaç eğimi %30 dan büyük ve çöküntü olması durumunda, sarplık üst kesiminden ve en uzak antitetik faydan 50 ft (15 m) uzaklık (McCalpin 1987).

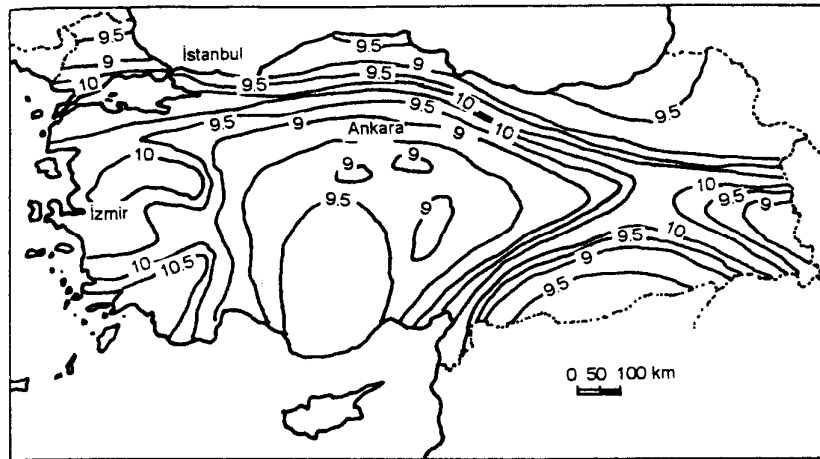
- 1- faydan uzaklaşmak,
- 2- beklenen yerdeğiştirme miktarına göre tasarım yapmak,
- 3- hızlı bir onarıma olanak verecek ihtimal planları hazırlamak olarak sıralanabilir.

Kamuoyuna hizmet amacıyla Özel Çalışma Zonları haritaları satışa sunulmuştur. Ayrıca Maden ve Jeoloji Dairesi'nin herhangi bir bürosuna ya da Özel Çalışma zonları kapsamında yer alan tüm şehir ve ilçelerdeki planlama Müdürlükleri'ne başvurulabilir. Özel Çalışma Zonları Haritalarının kopyalarının yapılabileceği çoğaltılabilir kalıpları(1/24.000), kuşaklanma yapılmış her bir şehir ve ilçeden temin edilebilir. Şehir ve ilçe yönetimlerinden haritaları elde edemeyenler için "Blue Print Service Company" şirketi ile bir antlaşma yapılmıştır. Bu şirket sipariş verilerek istenilen haritaların mavi baskı kopyaları temin edilebilir. Bu haritaların fiyatları önemsiz miktarlarda olup sadece yapılmış masrafları kapsamaktadır. Bu haritalar Maden ve Jeoloji Dairesi'nde satılmamaktadır⁽²⁹⁾.

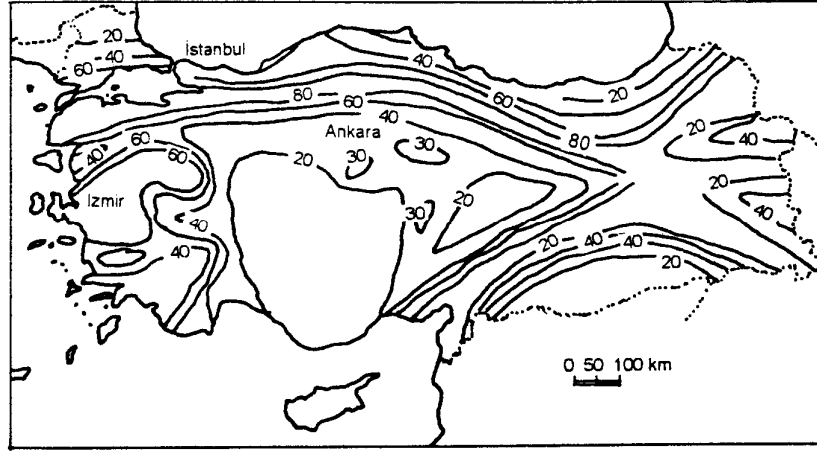
2.16. Yurdumuzdaki Önemli Depremler

Dünyadaki deprem kuşaklarından birinde bulunan yurdumuzda, en önemli deprem etkinliği Kuzey Anadolu fayındaki hareketten ortaya çıkmaktadır. Türkiye'nin kuzeyinde bulunan ve uzunluğu 1500km ye varan bu fay çizgisi boy, depremsellik ve fay türü olarak ABD de bulunan San Andreas (California) fayına benzemektedir. 1939'daki Erzincan depreminden (M=8.0) sonra fay boyunca deprem olayları yoğunlaşmıştır. Bu çerçeve içinde Niksar-Erbaa (1942, M=7.0), Tosya-Ladik (1943, M=7.2), Bolu-Gerede (1944, M=7.4), Bolu-Abant (1957, M=7.1), Varto (1966, M=6.9) ve Adapazarı (1967, M=7.2) depremleri sayılabilir. Bunun yanında, küçük ve orta büyüklükteki depremler Ege Denizi kıyıları boyunca ve yurdumuzun

güney-batısında meydana gelmiştir. Kuzey Anadolu Fayı yanında, Doğu Anadolu Fayı olarak bilinen bir fay çizgisi, Kuzey Anadolu Fayı'nın doğu ucunda başlar ve Akdeniz'e uzanır. Bu fay boyunca hareket, diğer bölgelere göre daha azdır. Tarihsel kayıtlarda bu bölgede orta ve büyük depremlerin meydana geldiğine dair bir işaret yoktur. Merkez üsleri Akdeniz'de olanların dışındaki depremler odak derinlikleri yönünden sığ deprem olarak kabul edilebilir. Depremlerin oluşumu tarihsel olarak incelendiğinde, hemen hemen her 3 veya 4 yılda bir büyüklüğü 7 olan bir depremin önemli hasar oluşturarak meydana geldiği görülür. 1900'den zamanımıza kadar meydana gelen depremlerde 100.000 e ulaşan can kaybı olmuş ve 1.000.000 a ulaşan bina ağır hasar görmüştür. Şekil 2.20 ve Şekil 2.21'de 10.000 yıllık deprem etkinliğine karşı gelen eşşiddet ve ivme eğrileri verilmiştir. Gerçekte bu eğriler geçen 70 yıldaki depremselliğin benzer şekilde tekrarlanacağı kabulünden hareketle elde edilmiştir. Her iki şeklin incelenmesinden, eğrilerin Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fayları üzerinde büyük değerler aldığı ve Ege Bölgesinin depremsellik durumunun açık bir şekilde belirdiği anlaşılır⁽¹⁾.



Şekil 2.20 10 000 yıllık depremselliği esas alan şiddet (I) eğrileri



Şekil 2.21 10 000 yıllık deprenselliği esas alan en büyük ivme eğrileri (%g)

2.16.1. 13 Mart 1992 Erzincan Depremi

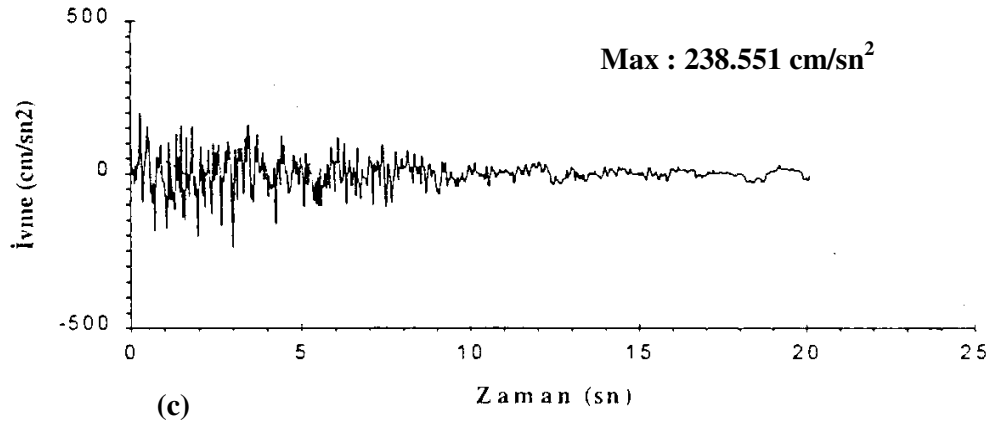
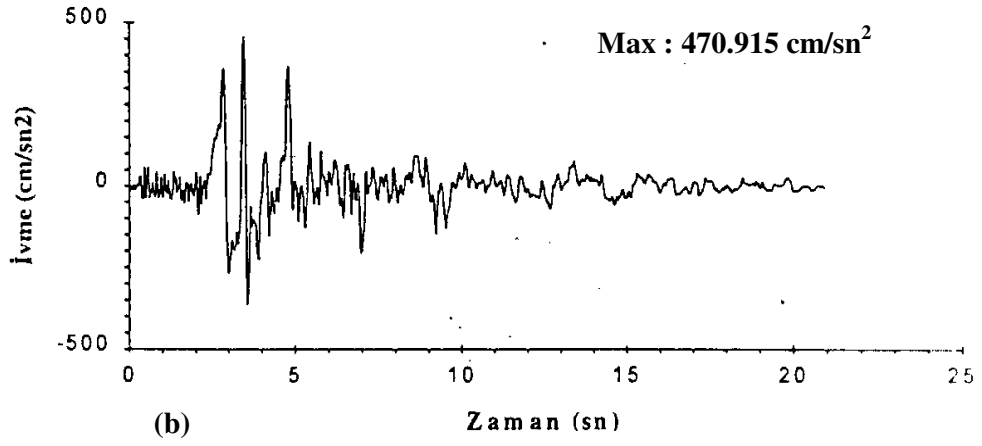
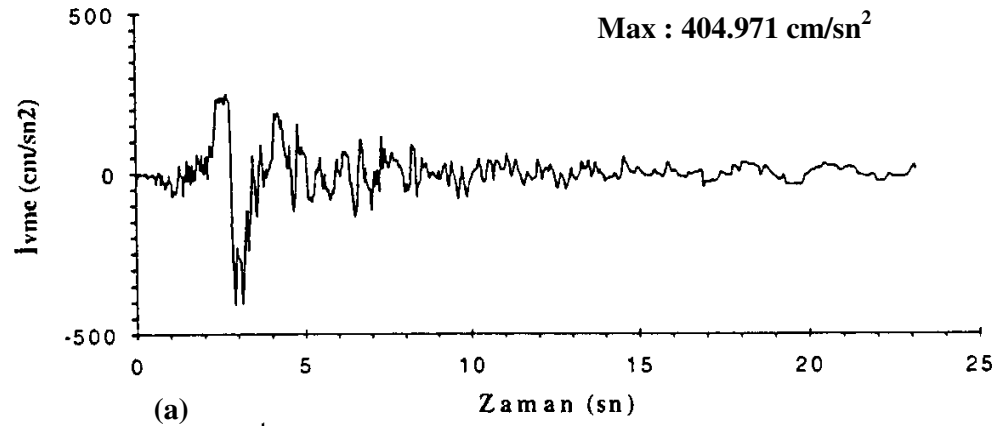
13 Mart 1992 Erzincan depremi Türkiye’de bu yüzyılda olmuş en önemli depremler arasında yer alacaktır. Erzincan, 1939’daki M=8.0 magnitüdüde depremden 53 yıl sonra can kaybı bakımından 1939 depremi kadar olmasa bile mal kaybı ve diğer sonuçları bakımından çok önemli bir depremle zorlanmıştır. Depremde 653 can kaybı olmuştur.

Richter ölçeğine göre 6.8 magnitüdüde olan depremde beklenilen tersine yüzeyde kilometrelerce uzanan kırıklar olmamıştır. Oysa 6.9 magnitüdüde olan 1976 Çaldıran Depreminde 52km sürekli izlenebilen bir yüzey kırığı olmuştur (Deprem Araştırma Enstitüsü-1977). Erzincan Depremi doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayının üzerinde olmasına karşın faydaki hareketin belirgin bir biçimde yeryüzüne kadar ulaşmamış olması depremin bir başka özelliğidir⁽³⁰⁾. Erzincan depreminden sonra Kuzey Anadolu Fayı boyunca çeşitli yerlerde yer çatlamlarına rastlanmıştır. Genellikle bu çatlaklar geniş bir alana yayılı ve dağınık olarak bulunmaktadır.

Büyüklüğü 6.8 olan böyle bir depremde 50km civarında bir kayma boyu beklenir. Ancak, burada yüzeyde olan mesafe 26km'dir. Tahmin edilen deprem odağı üzerinde kalın bir alüvyon tabakası bulunması kayma boyunun sürekli bir şekilde yeryüzünde görülmesini, çoğu zaman olduğu gibi önlemiştir. Erzincan ovasında yer yer zemin sıvılaşmasına rastlanıldığı bildirilmişse de, bunun geniş boyutlarda ve yaygın olmadığı belirlenmiştir. Ancak, bazı karayolu ve demiryolunun zeminlerinde meydana gelen plastikleşmeler yollarda tamir gerektiren bozulmalara neden olmuştur⁽¹⁾.

Depremın ana sarsıntısı Deprem Araştırma Dairesince işletilen kuvvetli yer hareketi ivmeölçer cihazı tarafından Erzincan, Tercan ve Refahiye'de kaydedilmiştir. En büyük yer ivmesi Doğu-Batı yönünde 0.5g (yer çekimi ivmesinin %50'si), Kuzey-Güney yönünde 0.4g ve düşey yönde ise 0.25g kadar olmuştur. Kuvvetli yer hareketi 15 saniye kadar sürmüştür⁽³⁰⁾.

Bu depremle Erzincan'daki yapılar deprem sınavından geçmiştir. Genel olarak 1960'lı yıllara kadar yapılmış yapılar depremi başarıyla atlattırken, 1960-75 yılları arasında yapılmış resmi ve özel yapılarla, 1975'den sonra yapılmış özel yapılarda hasar daha çok olmuştur. Deprem bir anlamda 1975 deprem yönetmeliğini de (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik) bir sınavdan geçirmiştir. 1975 tarihli Deprem Yönetmeliğine göre hesaplanmış ve yapılmış yapılar depremden hasarsız ya da az hasarlı olarak çıkmışlardır. Bu depremde her zaman olanın aksine Erzincan içindeki bir ve iki katlı tuğla yığma yapılarda hemen hiç hasar olmamıştır. Birinci derece deprem bölgesinde olduğu için Erzincan'da en çok iki katlı yığma yapılabiliyordu⁽³⁰⁾.



Şekil 2.22 13 Mart 1992 Erzincan Depremine a) Kuzey-Güney, b) Doğu-Batı, c) Düşey Bileşenlerinin İvme Kayıtları⁽³¹⁾

Havzadaki tabakalaşmanın bir etkisi olarak, depremin yatay bileşeninin hakim periyodunun 0.4~0.5s civarında bulunduğu görülmektedir. Bu durum 4~5 katlı yapıların depremden daha çok zarar görmesine neden olmuştur⁽¹⁾.

Bu depremde Erzincan'da ki özel binaların %8'i ağır, %12'si orta ve %15'i hafif hasar görmüştür. Kamuya ait binalarda ise bu oranlar sıra ile %32, %8 ve %60 dır. Sık görülen hatalardan biri olan kiriş-kolon birleşim bölgesinin etriye ve donatı bakımından yetersizliği, zemin katların bölme duvarsız olmasından ve bu katta kolon kesitlerinin zayıf olmasından doğan yumuşak kat etkisi burada yaygındır. Sakınılması önerilen kuvvetli kiriş-zayıf kolon düzeninin de hasara neden olduğu belirlenmiştir. Bunlar yanında itinalı yapılan binaların depremi hasarsız veya az hasarla atlattığı bu depremde görülmüştür⁽¹⁾.

2.16.2. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi

17 Ağustos 1999 tarihinde İzmit Körfezi ve civarını yıkan $M_w=7.4$ büyüklüğünde yıkıcı bir deprem olmuştur. Deprem, 16 bin kişinin ölümüne, 25 binden fazla kişinin yaralanmasına ve 75 bin civarında evin tamamen yıkılmasına neden olmuştur. Deprem ulaşım, iletişim ve altyapı gibi tüm hayati sistemlerin hasar görmesine neden olmuştur.

17 Ağustos 1999 depremi öncesi tilt kayıtlarında çok belirgin olmayan şüpheli sinyaller gözlenmiştir. Deprem sonrası Bolu, Sakarya, Kocaeli, Bursa, Yalova, İstanbul ve Ankara'yı içine alan geniş bir bölgede yer alan sıcak ve soğuk suların debisinde, kimyasal bileşimlerinde ve sıcaklıklarında önemli değişimler olmuştur. Bu sıcak ve soğuk su kaynaklarından bazılarında deprem öncesi değişimlerin olduğu yöre halkı ve yetkililerce bildirilmiştir. Cihaz bozulması

nedeniyle manyeto-tellürik kayıtlarda herhangi bir değişim görülememiştir. Deprem sonrası yapılan GPS ölçümleri, hareketin batıdan doğuya doğru azaldığını ve yırtılmanın batıdan doğuya doğru olduğunu göstermiştir. Deprem sonrası yorumlanan tektonomanyetik kayıtlar, 1999 yılının başından itibaren ortalama 20 nano Tesla'lık bir artış göstermiş ve depremden iki gün önce de genel seyirinden sapmıştır.

Depremde Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) Gölyaka-Karamürsel arasında uzanan yaklaşık 100-120km'lik bölümü kırılmıştır. Deprem, Gölyaka-Karamürsel arasında uzanan dört fay segmentini kıran birkaç şoklu yırtılmadan oluşmuştur. Dış merkezi Gölcük olan ilk ana şok, Gölcük-Sapanca Gölü arasında uzanan 40km'lik bölümü ve Gölcük-Karamürsel arasında deniz içerisinde uzanan 20-30km'lik bölümü; dış-merkezi Sapanca Gölü-Akyazı arasında kalan ikinci ana şok ise Sapanca Gölü-Gölyaka arasında uzanan 50km'lik bölümü kırmıştır. Her iki yırtılma, dış-merkez ortada olacak şekilde iki yönde yayılmıştır. Bu nedenle, ilk şok 3m'lik sağ yönlü yatay atıma, ikinci şok 1.5m'lik yatay atıma neden olmuş ve iki kırığın çakışma bölgesinde 4.5m'lik yatay atım gelişmiştir.

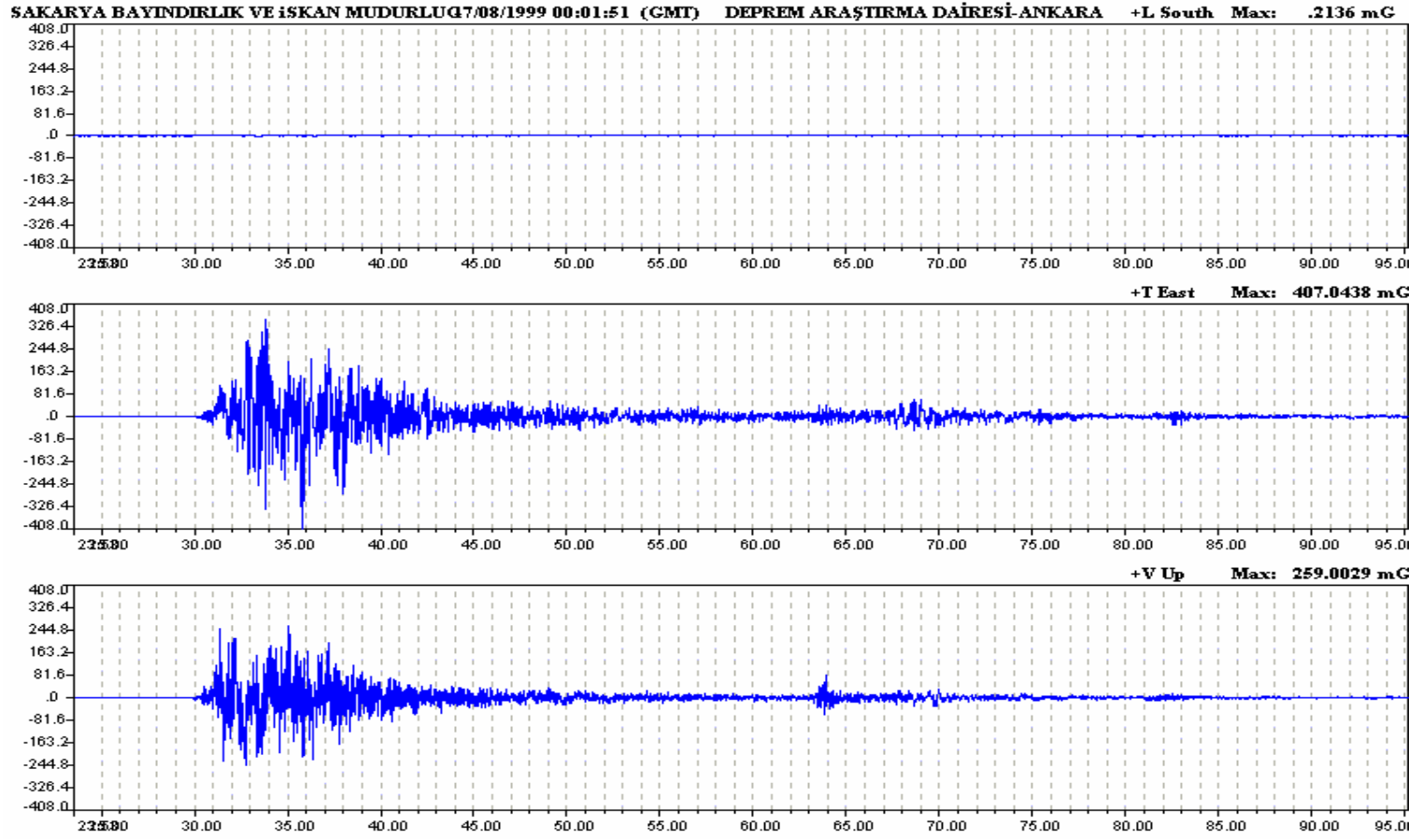
45 saniye süren depremin en büyük şiddeti, X (MSK) olarak belirlenmiştir. 420.000 kişinin yaşadığı ve 98.175 konutun bulunduğu bu şiddet bölgesinde, konutların %33'ü ağır ve %15'i orta hasara uğramıştır. En büyük yer ivmesi Adapazarı kuvvetli yer hareketi istasyonunda 0.4 g olarak kaydedilmiştir. Yumuşak zeminde kaydedilmiş bu değer, sert zeminlere göre hareketin dört kat büyütüldüğünü göstermektedir.

2 ve 8 saniyelik parçalara bölünmüş ivme spektrumlarında aynı frekanslı (2.7hz, 3.5hz, 4.8hz ve 7hz) dalgaların tekrarlanması, Gölcük merkezli ilk şokun,

kırığın hem doğu hem de batı ucundaki diğer Őokları tetiklediğine işaret etmektedir. Ayrıca, deprem kaydının baŐlangıcından 14.-32.sn'leri arasında kalan bÖlümümde yani 14sn sonra İstanbul yakınında (Avcılar'ın yıkılması) başka küçük bir Şokun olabileceği olasılığını göstermektedir. Diğer taraftan depremin son 15saniyesinde de başka küçük bir Şok gözlenmektedir. Kısaca, deprem kaydının ilk 30 saniyesi içinde 4 sn aralıklarla iki ana Şok, bir küçük Şok ve son 15 saniyesinde dÖrdüncü küçük bir Şok yer almaktadır.

1985-1999 yılları arasında mikrodeprem etkinlikleri, özellikle Gölcük, Sapanca-Akyazı ve Gölyaka-Düzce bölümlerinde yoğunlaşmıştır. Bu yerler, daha sonra 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinin ana Őokları ile artçı Őoklarının episantr bölgeleri olmuştur. Depremin ilk ana Şokun odak mekanizması çÖzümü, ters bileşenli sağ-ynlü doğrultu atımlı faylanma vermiŐtir.

Deprem Adapazarı-Düzce ovasını kaplayan geniş bir alanda zemin sıvılaşmasına neden olmuştur. Adapazarı'nda olan sıvılaşma olayı ve zemin taşıma gücünün çok düşük olması da yapı hasarının daha büyük olmasında ve çok sayıda yapının yıkımında önemli boyutta etkili olmuştur. Ayrıca, Düzce ve Gölyaka'daki hasarda sıvılaşmadan kaynaklanmıştır. İzmit Körfezi boyunca bulunan yerleşim alanlarındaki (Gölcük, Yalova, Çınarcık, Derince, Altmışevler gibi) hasar, körfeze boşalan akarsu delta düzlükleri ve sonradan ıslah edilmiş alanlarda zemin hareketinin büyütülmesinden ileri gelmiştir. Deprem, ayrıca Gebze ve Düzce'de kaya düşmelerine ve Avcılarda ağır hasara neden olmuştur.



Şekil 2.23 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin İvme Kayıtları⁽³³⁾

Bu deprem çok geniş ve yoğun bir alanı etkilediği için hasarın yaygınlığı ve boyutu büyümüştür. Yapıların deprem yönetmeliğine göre tasarlanıp inşa edilmemiş olması, beton dayanımlarının proje dayanımlarının çok altında olması, etriye sıklaştırma kurallarına uyulmamış olması ve zemin katı işyeri olan yapıların kolonları ve bölme duvarlarının az yapılmış olması pek çok betonarme yapının enkaz haline gelmesine neden olmuştur. Betondaki kum ve çakıl içindeki tuz nedeniyle demirler paslanmış ve betonarme demirsiz kalmıştır. Ayrıca kalorifer dairelerinde yıllarca yakılan kökürtlü kömürler ve küllerden çıkan kökürt dioksit gazları, nemli ortamlarda sülfirik aside dönüşmüş ve kolonlardaki demirlerin paslanmasına neden olmuştur.

Depremde tek katlı betonarme prefabrik yapı sistemlerinde felaket boyutunda yıkım olmuştur. Yıkım yalnızca yapı ile kalmamış, yıkılan yapıların altında kalan makine, donanım ve üretilmiş mallardaki kayıplar yapı yıkımının bedelinin kat kat üzerinde olmuştur.

Gumbel I ve Gumbel III modelleri ile 1999 yılından sonra $M=6.0$ depremin 20 yıl içerisinde olma olasılıkları %98 ve %96 olarak bulunmuştur. $M=6.0$ magnitudünde ki depremin dönüş periyodu Gumbel I ve Gumbel III modelleriyle 6 ve 7 yıl hesaplanmıştır. $M=7.0$ magnitudünde ki depremin dönüş periyodu Gumbel I modeliyle 11 yıl, $M=7.0$ magnitudünde ki depremin dönüş periyodu Gumbel III modeliyle 30 yıl bulunmuştur. Poisson modeliyle 1999 yılından sonra $M=6.0$, 6.5 ve 7.5 olan depremlerin 20 yıl içinde olma olasılıkları sırasıyla %91, %69 ve %43 olarak bulunmuştur. Dönüş periyotları ise $M= 6.0$, 6.5 ve 7.5 büyüklüğündeki depremler için sırayla 8 yıl, 17 yıl ve 72 yıl bulunmuştur⁽³²⁾.

2.16.2.1. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Yer Hareketi Doğrultusunun Özellikleri İle Adapazarı Minarelerindeki Yapısal Hasar Arasındaki İlişkiler

Yer hareketinin özelliklerini ve 17 Ağustos 1999 depremi esnasında yapısal hasar ile odaktan çıkan yer hareketi doğrultusunun hesaplanması çalışmanın başlıca amacıdır. Yer hareketinin doğrultusu, yakın kaynak yer hareketi çalışmasında önemli bir özelliktir. Yapısal hasar üzerinde, doğrultunun etkisi yapılar için önemli olmaktadır. Depreminin çok şiddetlice hissedildiği yerlerden biriside Adapazarı'dır. Burada yer hareketi doğrultusunun saptanmasında, camii minarelerinin hasarı kullanılmıştır. Şehirde hasar gören bölgeler ile 28 adet minarenin durumu irdelenmiştir. Adapazarı'nda bina hasar tespiti ise, birisi yer hareketi doğrultusuna paralel, diğeri ise dik konumda olan iki cadde boyunca yapılmıştır⁽³⁴⁾.

2.16.2.1.1. Kuvvetli Yer Hareketinin Gözlenmesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi (DAD), Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü ve İstanbul Teknik Üniversitesi'nin deprem bölgesinde bulunan kuvvetli yer hareketi kayıt şebekesinden kaydedilmiş ivme kayıtları incelenmiştir. Depremde en büyük ivme değeri, Sakarya istasyonunun (DAD) D-B bileşeninde 0.41 g olarak kaydedilmiştir. Şekil 2.24, tüm istasyonlarda elde edilen ivme değerlerini göstermektedir (PGA)⁽³⁴⁾.



Şekil 2.24 17 Ağustos 1999 İzmit körfezi depremi ana şokuna ait en büyük ivme değerlerinin (PGA*=%g) dağılımı (<http://koeri.boun.edu.tr/earthgk/smn1.htm>)

2.16.2.1.2. Minare Hasarı Araştırmasında Yer Hareketi Doğrultusunun Önemi

Bu çalışmada, yakın bir alanda meydana gelmiş olan depremin meydana getirdiği yer hareketinin yoğunluğu ve doğrultusu ile minarelerde yapmış olduğu hasar ilişkisi araştırılmıştır. Adapazarı'ndaki 28 adet caminin minarelerindeki yıkılma yönleri ayrıntılı incelenmiştir. Bu minarelerin bazıları betonarme (RC) ya da ağaç yapı üzerine saç kaplanarak inşa edilmişlerdir. Taş blok ve beton malzemesiyle minare yapımı Adapazarı'nda uygulanmadığı görülmüştür. Şekil 2.25, bu minarelerin yerlerini göstermektedir.

Genellikle betonarme minareler (RC) hasar görmüştür. Uzun minareler (40-50m) fay doğrultusuna dik, kuzey- kuzeydoğu (10^0 - 40^0) yönünde, kısa minarelerin bazıları da başka yönlere doğru yıkılmışlardır (Şekil 2.26, Foto 1, 2 ve 3). RC beton ve ağaç gibi ana malzemeler kullanılarak yapılmış minarelerde yıkılma esnasında malzemenin de büyük rol oynadığı gözlenmiştir. Ağaç malzemedan yapılan minarelerden yalnızca bir tanesi yıkılmış, onunda çürüme sonucu yıkıldığı yetkililerden öğrenilmiştir.



Şekil 2.25 Adapazarı şehir planı haritasında minarelerin dağılımı



Foto -1



Foto -2

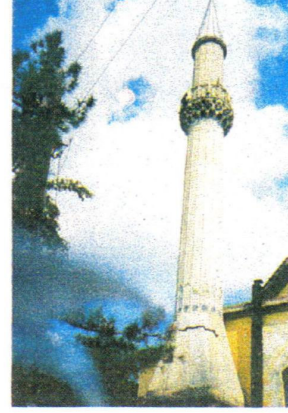


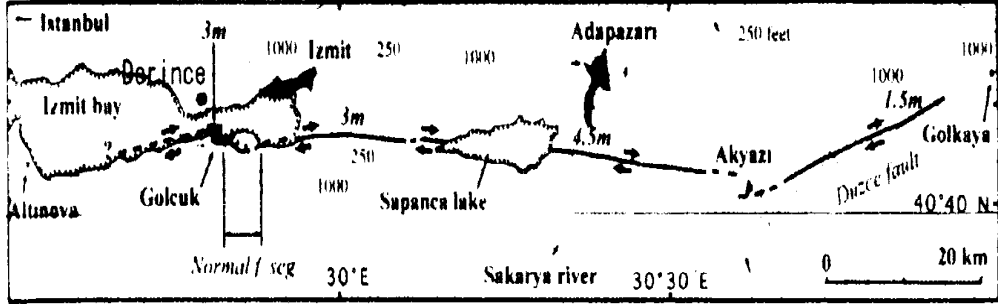
Foto -3



Foto -4

Şekil 2.26 Minarelerin Hasar Fotoğrafları

Diğer yandan, Derince’de betonarme bir caminin 48 metre uzunluğundaki minaresi, cami bahçesine güneydoğu doğrultusunda yıkılmıştır (Şekil 2.26, Foto 4). Minarenin yıkılma doğrultusu, buraya çok yakın YPT istasyonundan kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi yönü ile karşılaştırılmıştır. Her iki hareket doğrultusunun birbiriyile uyumlu oldukları görülmüştür⁽³⁴⁾.



Şekil 2.27 17 Ağustos İzmit Körfezi depremi yüzey kırığı

2.16.2.1.3. Yer Hareketi Doğrultusuyla Bina Hasarları İstatistiklerinin Yapılması

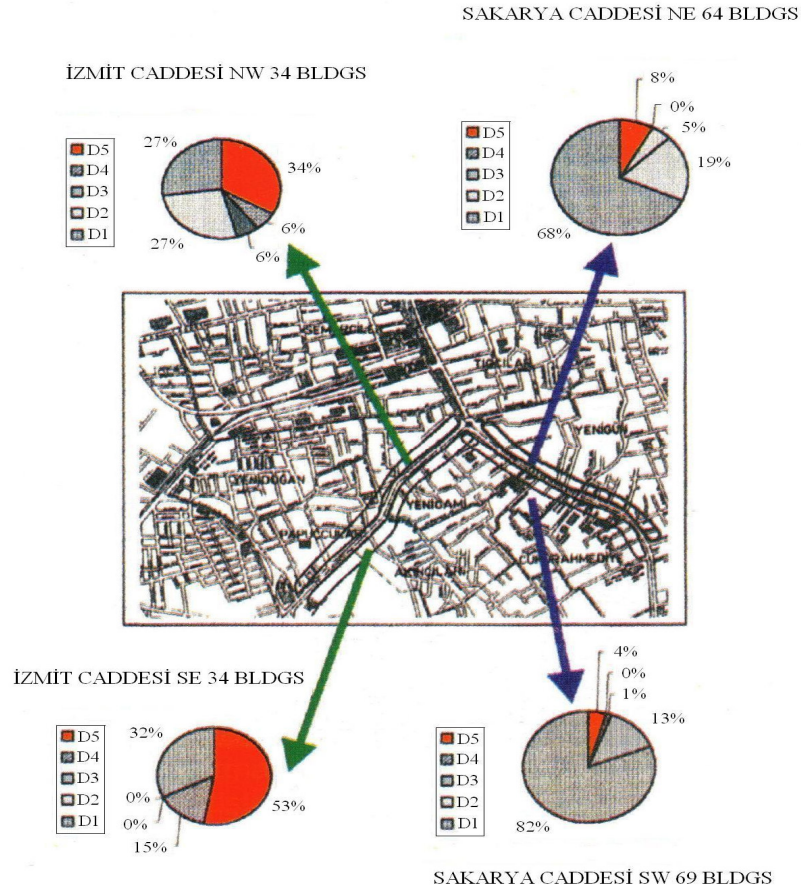
Yapısal hasarda deprem hareketi doğrultusunun etkisi, farklı doğrultuda iki cadde üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, İzmit ve Sakarya caddeleri boyunca minare hasarı incelenmiştir. Ayrıca bu iki caddedeki bütün bina hasarı araştırılmıştır. İzmit caddesinin yönü, deprem hareket yönüne paralel, buna karşıt, Sakarya caddesi ise dik doğrultudadır. İzmit caddesinde bina sayısı 67 (Kuzey-Batı kısmında 33, Güney-Doğu kısmında 34) ve Sakarya caddesinde ise 131 (Kuzey-Doğu kısmında 63, Güney-Batı kısmında 68)'dir. Sakarya caddesine göre karşılaştırma yapıldığında; İzmit caddesi çok daha ağır hasar görmüştür. Başka bir deyişle İzmit caddesinde yıkılan binaların oranının (ağır hasar 4 ve yıkılmış 5) yaklaşık %60, Sakarya caddesinde ise %6 olduğu gözlenmiştir (Şekil 2.28).

Deprem kuvveti, cadde doğrultusunda büyük olduğu zaman, cadde üzerindeki binalar kolaylıkla hasar görebilmektedir. Bu nedenle, binaların hasar oranları farklı olmaktadır. Örneğin, Şekil 2.29, Foto-5'de görüldüğü gibi Sakarya caddesinde deprem yer hareketi doğrultusuna dik bir minare yıkılmıştır. Deprem kuvvetinin

doğrultusunun etkisi, cadde üzerindeki binaların camlarının kırılmasından da belli olmaktadır (Şekil 2.29, Foto-6, Foto-7).

Şekil 2.29, Foto-8 de bu etki, duvar çatlaklarında açıkça görülmektedir. Şekil 2.29, Foto-9 ve 10 İzmit caddesindeki benzer hasarları göstermektedir. Bu binalar deprem doğrultusunda paralel olmasından dolayı hasar görmüştür. Şekil 2.29, Foto-11 ve 12 de İzmit caddesindeki yer altı su borularındaki hasarı göstermektedir.

Sonuç olarak binaların deprem yönüne göre doğrultuları hasarı açısından önemli rol oynadıkları söylenebilir⁽³⁴⁾.



D-1:Hasar yok, D-2:Hafif hasar, D-3:Orta hasar, D-4:Ağır hasar ve D-5:Yıkılmış

Şekil 2.28 Sakarya ve İzmit caddelerindeki bina hasar yüzdeleri



Foto-5 Yıkılan Minara (NO.28)



Foto-6 Hasar yok, yalnızca camlar kırılmış



Foto-7 Pençere Camları Kırılmış

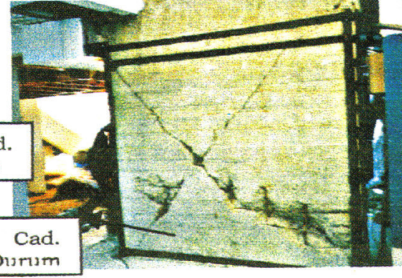


Foto-8 Duvar çatlakları



Foto-9 Eğimli bina



Foto-10 Yıkılmış bina



Foto-11 Su borularında hasar



Foto-12 Su borusu kırılmış

Şekil 2.29 Minare, yapı ve altyapı hasarı

2.16.3. 12 Kasım 1999 Düzce Depremi

12 Kasım 1999 tarihinde saat 18.57'de Düzce (M) ilçesinin 8km güneydoğusunda, büyüklüğü $M_w=7.2$ ve maksimum şiddeti X (MSK) olan yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Deprem Araştırma Dairesi tarafından bu depremin dış merkezinin enlemi 40.79N boylamı 31.21E ve derinliği 11km olarak belirlenmiştir. Bu bölge yaklaşık 3 ay önce 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen ve büyük kayıplara ve hasarlara neden olan İzmit Körfezi Depreminden de etkilenmiştir.

Deprem, Akyazı ile Düzce ovalarını güneyden sınırlayan sağ yönlü doğrultu atımlı Düzce Fayının hareketi sonucu oluşmuştur. Bu deprem Düzce Fayının Efteni Gölü ile Bolu ilinin kuzey kesimleri arasında yer alan 45km'lik bölümünün kırılmasına ve 4.5m'lik yanal atıma neden olmuştur.

Odak çözümlemesine bakıldığında; depremin çok az miktarda eğim bileşenine sahip olmasına rağmen hakim olarak sağ yönlü doğrultu atımlı fay karakterinde geliştiği gözlenmiştir. Bu çözümlerde arazide gözlenen yüzey kırığının ve Kuzey Anadolu Fay Zonunun bölgedeki genel karakteristiğine uymaktadır.

Düzce ve Bolu bölgesi sismik olarak oldukça aktiftir. Düzce kent merkezinin 100km doğu ve batısında Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde tarihsel ve aletsel dönemde birçok hasar yapan deprem olmuştur. Bu depremler 20/06/1943 tarihinde $M_s=6.6$ Adapazarı-Hendek depremi, 01/01/1944 tarihinde $M_s=7.2$ Bolu-Gerede depremi (Bolu-Gerede depreminin artçısı olan fakat hasar yapan 15/02/1944 tarihli $M_s=5.8$ Düzce, 11/03/1944 $M_s=5.8$ Gerede ve 15/04/2000 tarihli $M_s=5.6$ Mudurnu depremleri), 26/05/1957 tarihinde $M_s=7.1$ Bolu-Abant depremi, 22/07/1967 tarihinde $M_s=7.2$ Adapazarı depremi (Adapazarı depreminin artçısı olan fakat hasar yapan

30/07/1967 tarihli Akyazı depremi), 17/08/1999 tarihinde $M_w=7.4$ İzmit Körfezi Depremi ve son olarak 12/11/1999 $M_w=7.2$ Düzce depremleridir.

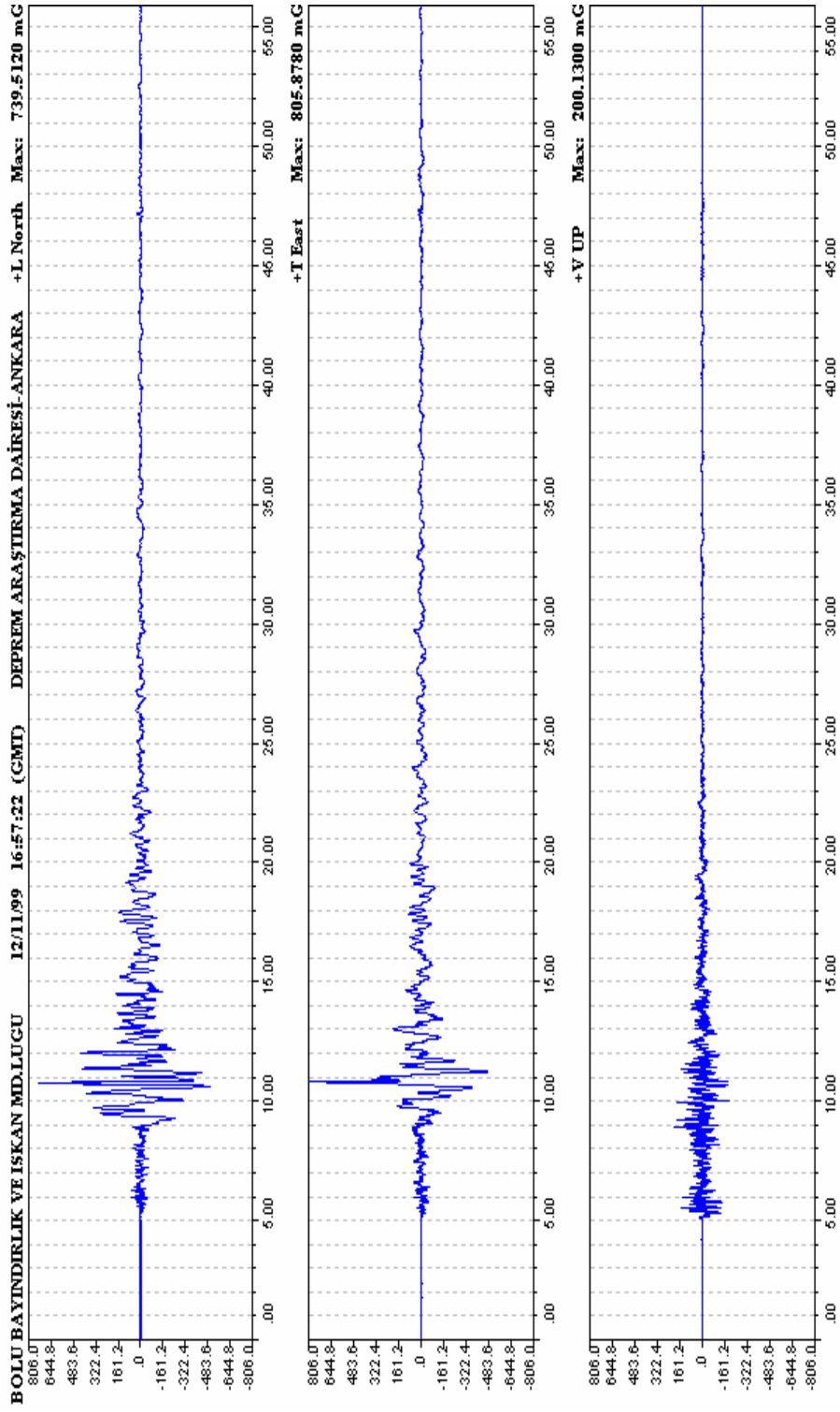
12 Kasım 1999 Düzce Depremindeki hasar, faylanma ve sarsıntı olmak üzere iki nedenden ileri gelmiştir. Düzce ve Gölyaka'daki hasar, gevşek ve suya doymun kalın alüvyal çökellerin kuvvetli yer hareketini birkaç kat büyütmesi sonucu gelişmiştir. Buna karşılık, Kaynaşlı'daki hasar ise genellikle fay sarplığı üzerinde kurulmuş bir dizi konutların faylanma sonucu kesilerek ötelenmesi sonucu oluşmuştur. Ayrıca Kaynaşlı'nın özellikle Ankara-İstanbul Karayolu'nun kuzeyindeki mahallelerde sınılaşma sonucu tek katlı evlerin zemin katlarında gömülmeler olmuştur.

Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve Başbakanlık Kriz merkezinden alınan bilgilere göre bu deprem 26.704 konutun ve 4.493 işyerinin ağır hasara, 37.825 konutun ve 6.950 işyerinin orta hasara, 40.944 konutun ve 5.635 işyerinin az hasara uğramasına ve 763 kişinin ölmesi, 4948 kişinin yaralanmasına neden olmuştur.

Düzce depremi nedeniyle ölen insanların %6'sı Bolu ilinde, %93'ü Düzce ilinde, %0.4'ü Sakarya ilinde, %0.1'i Kocaeli ilinde ve %0.1'i Yalova ilindedir.

Deprem en çok Düzce ilinin Merkez ve Kaynaşlı ilçelerini etkilemiştir. Kaynaşlı ilçe merkezindeki konutların %72'si, Düzce(M) ilçesindeki konutların %49'u bu deprem nedeniyle ağır hasara uğramıştır.

Ağır hasarın %47'si, orta hasarın %24'ü ve az hasarın %25'i Düzce ilinde meydana gelmiştir. Düzce iline bağlı yerleşim birimlerinde 710 kişi ölmüş, 4.151 kişi yaralanmıştır. Düzce ilinde yüzde olarak en fazla can ve mal kaybı Kaynaşlı ilçesinde olmuştur. Deprem nedeniyle Kaynaşlı ilçesinde yaşayan 244 kişi ölmüştür.



Şekil 2.30 12 Kasım 1999 Düzce Depreminin İvme Kayıtları ⁽³⁶⁾

Düzce depremi nedeniyle meydana gelen ağır hasarın %9.5'i, orta hasarın %15'i ve az hasarın %14'ü Bolu ilinde meydana gelmiştir. Bolu iline bağlı yerleşim birimlerinde 48 kişi ölmüş, 354 kişi yaralanmıştır. Bolu ilinde depremden sadece Merkez ilçe etkilenmiş ve bu ilçedeki konutların %12'si ağır hasara uğramıştır.

Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi depremi farklı zemin ve uzaklıklardaki 20 ivme-ölçer tarafından kaydetmiştir. Bu bölgede en büyük maksimum ivme değeri depremin merkez üssünden 34km uzakta olan Bolu istasyonunda doğu-batı yönünde 805.8gal olarak ölçülmüştür. Hasarın en fazla olduğu Düzce(M) ilçesinde ve deprem merkez üssünden 8km uzakta olan Düzce istasyonunda ise maksimum ivme değeri doğu-batı yönünde 513.7gal olarak ölçülmüştür.

12 Kasım 1999 tarihinden sonra Düzce ve civarının deprem riski incelenerek 20 yıl içerisinde farklı büyüklüklerdeki depremlerin olma olasılıkları ve dönüş periyotları hesaplanmıştır. Buna göre; M=6.0 büyüklüğündeki depremin dönüş periyodu 16 yıl, 20 yıllık süre içerisinde olma olasılığı %72, M=6.5 büyüklüğündeki depremin dönüş periyodu 33 yıl, 20 yıllık süre içerisinde olma olasılığı %45 ve M=7.0 büyüklüğündeki depremin dönüş periyodu 69 yıl, 20 yıllık süre içerisinde olma olasılığı %25 olarak bulunmuştur⁽³⁵⁾.

2.16.4. 03 Şubat 2002 Eber ve Çay Depremleri

03 Şubat 2002 günü saat 09:11'de Eber (Afyon) merkezli büyüklüğü M=6.2 (USGS), M=6.0 (KOERI), M=6.1 (DAD) olan orta büyüklükte bir deprem olmuştur. 03 Şubat 2002 günü saat 11:26'da büyüklüğü M=5.8 (USGS), M=5.3 (KOERI), M=5.2 (DAD) olan Çay (Afyon) merkezli ikinci bir deprem olmuştur. Çay depreminden hemen sonra saat 13:39 ve 13:54'de M=5.1 ve M=5.0 büyüklüğünde

iki büyük artçı deprem olmuştur. 03 Şubat 2002 Eber depreminin odak derinliği H=10 km (USGS), H=5.0 km (KOERI), 9.6 km (DAD); 03 Şubat 2002 Çay depreminin odak derinliği H=10 km (USGS), 2.2 km (KOERI) olarak hesaplanmıştır.

Her iki deprem kaynak mekanizması, odak derinlikleri, kırık yırtılma biçimleri, kırık uzunlukları, artçı deprem dağılımları, dalga formları, P-S farklılıkları, yanıt spektrumları ve hasar dağılımı açısından incelendiğinde 11:26'da olan deprem ilk depremin bir artçı depremi değil, aksine ikinci ayrı bir deprem olduğu açıkça görülür⁽³⁷⁾.

2.16.4.1. Hasar Dağılımında Etkili Olan Etkenler

2.16.4.1.1. Hasar-Deprem Karakteristik İlişkisi

15 Aralık 2000 Akşehir depremi (M=5.8) hasarı, sadece Akşehir gölünün güneydoğusunda Adsız kasabası ile Yaşarlar köyü civarında yoğunlaşmıştır. Eğer 03 Şubat 2002 Eber depremi (M=6.2) tek bir deprem olsaydı, hasar sadece Sultandağı ve Eber civarında yoğunlaşması gerekecekti. Fakat 03 Şubat 2002 Sultandağı depreminden (M=6.2) 2 saat 15 dakika sonra olan ikinci 03 Şubat 2002 Çay depremi (M=5.8) Çay, Bolvadin ve Çobanlar ilçelerinde hasara neden olmuştur. Her iki depremde hasar, Eber-Çay-Çobanlar-Sümenli arasında fay doğrultusuna paralel bir hat boyunca yoğunlaşmıştır. İlk Eber depreminde hasar Eber ile Çay arasında kalan yerleşim yerlerinde gelişmiştir. İkinci Çay depreminde ise hasar, Çay-Maltepe-Kadıköy-Çobanlar-Sülümenli arasında yer alan yerleşim yerlerinde gelişmiştir⁽³⁷⁾.

2.16.4.1.2. Hasar-Yapı İlişkisi

Hasar dağılımında birçok etkenler etkili olmuştur. Etkili olan etkenler başında yapı ve jeoloji önemli rol oynamıştır. Depremlerin etkili olduğu yerleşim yerlerinde hasar, genellikle kerpiç yapılarda ağır olmuştur. Betonarme yapılardaki ağır hasar ise depreme dayanıklı yapı yönetmeliklerine uygun yapılmamasından ileri gelmiştir⁽³⁷⁾.

2.16.4.1.3. Hasar-Zemin İlişkisi

Depremde etkili olan diğer önemli etken ise yerleşim yerlerinin bulunduğu zeminle ilgilidir. Ağır hasar gören Eber, Çayırpınar ve Çay yerleşim yerleri, yaklaşık 250-300 m kalınlıkta gevşek-suya doymuş alüvyal çökeller; Maltepe ve Kadıköy gibi yerleşim yerleri ise göl-akarsu (bataklık) çökelleri üzerinde bulunmaktadır. Deprem, bu çökellerde yer hareketini kat kat büyütmüş ve hasarın ağır olmasına neden olmuştur. Bir başka deyişle Akarçay havzası (Akşehir gölü-Eber gölü gibi) içerisinde yer alan yerleşim yerleri, Sultandağı ve Emirdağı'nın sağlam kayalarından oluşan tepeler üzerinde bulunan yerleşim yerlerine göre daha fazla hasar görmüştür. Örneğin Sultandağı, Yakasinek, Deresine, Çay'ın eteklerde bulunan kesimleri, Bolvadin, Cumhuriyet gibi yerleşim yerleri ve köylerde hasar çok az ya da hiç olmamıştır. Buna karşılık, gevşek çökeller üzerinde yer alan Çay'ın Afyon-Konya yolunun kuzeyinde kalan kesimleri, Çay sanayi sitesi, Çayırpınar, Eber, Maltepe ve Kadıköy, Maltepe Çobanlar arasında ve Bataklıkçayırı üzerinde yer alan ağullar gibi yerleşim yerlerinde hasar daha ağır olmuştur⁽³⁷⁾.

2.16.4.1.4. Hasar-Topoğrafya-Fay Geometrisi-Odaklanma Etkisi-Dalga Yayılma Yönü İlişkisi

Diğer yandan topoğrafya, fay geometrisi, odaklanma etkisi, dalga yayılma yönü ve dalga mekaniği hasarın ağır olmasına neden olmuştur. Örneğin Çobanlar, Hamidiye ve Sülümenli'deki ağır hasar yukarıda söz edilen etkenlerden ileri gelmiştir. Bilindiği gibi dalgalar fay düzlemi boyunca yayılırlar. 03 Şubat 2002 depremlerine neden olan kırık DGD-BKB doğrultusunda gelişmiştir. Dolayısıyla dalgalar bu doğrultu boyunca (fay boyunca) yayıldıkları için, bu doğrultu boyunca yer alan yerleşim yerlerinde hasar ağır olmuştur. Buna karşılık fay düzlemine dik hat boyunca yer alan yerleşim yerlerinde hasar az olmuştur. Benzer şekilde, fayın düşen bloğu yani göl tarafında bulunan yerleşim yerlerinde hasar ağır; buna karşılık yükselen bloğu yani dağ tarafında bulunan yerleşim yerlerinde hasar az olmuştur. Diğer yandan kırığın başlangıç ve bitiş noktalarında yer alan yerleşim yerlerinde kırılma mekanizması nedeniyle hasar ağır olmaktadır. Bu nedenle, kırığın doğusunda yer alan Eber, Çayırpınar; batısında yer alan Maltepe, Kadıköy, Çobanlar ve Sülümenli'de hasar ağır olmuştur. Çünkü kırığın her iki ucunda anormal bir stres (gerilme) yüklenimi olur.

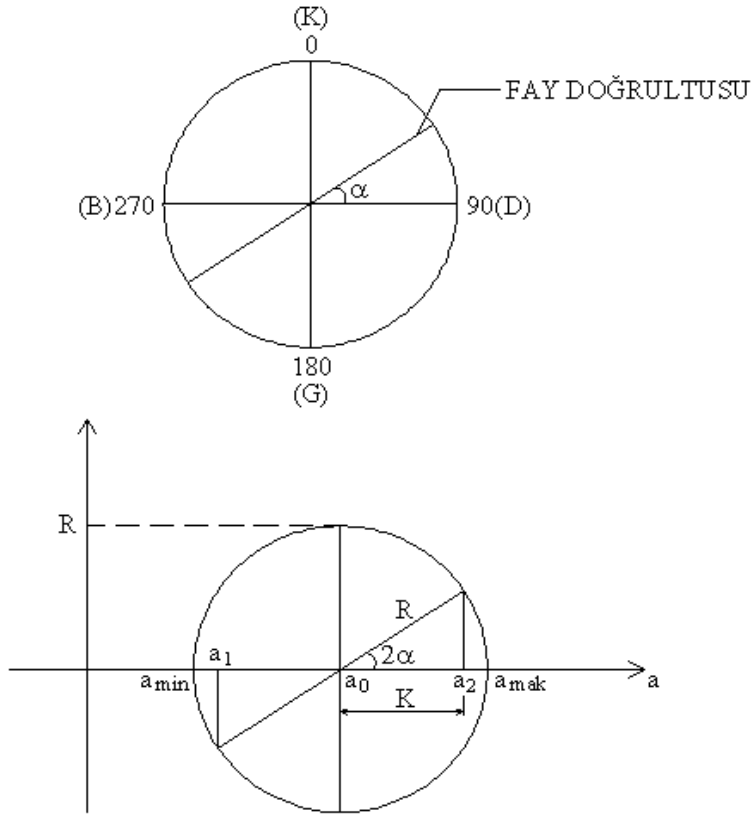
Diğer yandan Sülümenli, Hamidiye ve Çobanlar, ovidan dağlık kesime geçiş olan etek bölgelerinde yer almaktadır. Etek bölgeleri, farklı jeolojik birimlerin geçiş yerleri (alüvyonlardan kayalara geçiş bölgesi) olduğu için, dalgalar bu kesimde yüzeye çıkarlar ve üzerinde yer alan yerleşim yerlerinde ağır hasara neden olurlar. Sülümenli'deki hasarın nedenlerinden biri de dalgaların odaklanma etkisidir. Sülümenli KD-GB doğrultulu düşük kotlu bir tepe üzerinde bulunmaktadır. Bu tepenin hemen KD'sunda Emirdağlar'ı uzanmaktadır. Dalga bu iki tepe arasında

farklı şekilde kırılarak, yansıyarak ve büyüyerek yüzeye çıkmıştır. Bu etki sonucu Sülümenli'nin GD'sunda yer alan İstiklal mahallesi ağır hasar görmüştür⁽³⁷⁾.

2.17. Büyük Depremlerin Odak Mekanizması Çözümleri

Ülkemizde meydana gelmiş büyük depremlerin odak mekanizması çözümleri bize depremin, fayın kırılma doğrultusundaki ivmesinin hesaplanmasında yardımcı olacaktır⁽³⁸⁾.

2.18. Asal Deprem İvmelerinin Hesabında Mohr Yöntemi



Şekil 2.31 Asal Deprem İvmelerinin Hesabında Mohr Yöntemi

$$a_0 = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (2.23)$$

a_1 : K-G ve D-B yönlü deprem ivmelerinden küçük olanı

a_2 : K-G ve D-B yönlü deprem ivmelerinden büyük olanı

$$K = a_2 - a_0 \quad (2.24)$$

$$K = R * \cos 2\alpha \quad \rightarrow \quad R = \frac{K}{\cos 2\alpha} \quad (2.25)$$

$$a_{\text{mak}} = a_0 + R \quad (2.26)$$

$$a_{\text{min}} = a_0 - R \quad (2.27)$$

2.19. Analiz Yöntemleri

Yeni deprem yönetmeliğinde bina türü yapıların hesaplarında kullanılmak üzere üç yöntem önerilmektedir.

- a) Eşdeğer deprem yükü yöntemi
- b) Mod birleştirme yöntemi
- c) Zaman tanım alanında hesap yöntemleri

Bu yöntemlerden Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri her türlü yapı sistemine uygulanabildiği halde, Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin uygulanabilmesinde deprem bölgesi, H_N yapı yüksekliği, A1- Burulma Düzensizliği ve B2-Yumuşak Kat Düzensizliği ile ilgili koşullara bağlıdır⁽³⁹⁾.

2.19.1. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Deprem hesabı yapılacak binalarda, Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin uygulanabilmesi için Çizelge 2.7' de verilen koşulların sağlanması gerekmektedir⁽³⁹⁾.

Çizelge 2.7 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabileceği Binalar

DEPREM BÖLGESİ	BİNA TÜRÜ	TOPLAM YÜKSEKLİK SINIRI
1,2	A1 türü burulma düzensizliğı olmayan, varsa her bir katta $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağlayan binalar	$H_N \leq 25m$
1,2	A1 türü burulma düzensizliğı olmayan, varsa her bir katta $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağlayan ve ayrıca B2 türü düzensizliğı olmayan binalar	$H_N \leq 60m$
3,4	Tüm binalar	$H_N \leq 75m$

H_N : Temel üst seviyesinden itibaren ölçülen toplam bina yüksekliğı

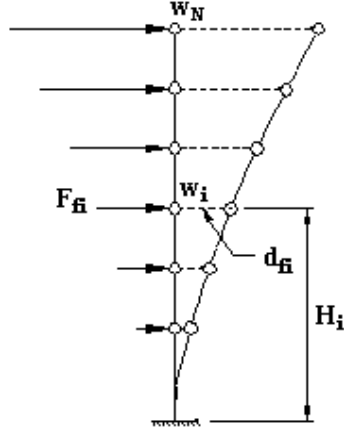
2.19.1.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Adımları

- TDY 98'e göre binaların deprem hesaplarının üç boyutlu yapı sistemi olarak modellenmesi gerekmektedir. Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilir. Her katta iki yatay yerdeğıştirme bileşeni ile düşey eksen etrafındaki dönme bağımsız yer değıştirme bileşenleri göz önüne alınacaktır.
- Kat kütleleri kütle merkezinde tanımlanır.
- Katlara etkileyen fiktif yükler hesaplanır (F_{fi}).

$$F_{fi} = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (2.28)$$

H_i : Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliğıdir.

w_i : i'inci kat ağırlığıdır.



Şekil 2.32 Fiktif yükler ve yerdeğiştirmeleri

- Bulunan fiktif yükler (F_{fi}) seçilen deprem doğrultusunda, yapının kat kütle merkezlerine yerleştirilerek statik analiz yapılır ve kuvvet doğrultusundaki deplasmanlar (d_{fi}) bulunur.
- Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodu (T_1) hesaplanır.

Yönetmelikte, T_1 'in hesabı:

I. Ampirik yöntemle T_1 'in hesabı:

Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde temel üstünde ölçülen toplam bina yüksekliğinin $H_N \leq 25$ m koşulunu sağlayan üçüncü ve dördüncü deprem bölgelerinde, Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin uygulandığı tüm binalarda, Birinci Doğal Titreşim Periyodu aşağıda verilen yaklaşık formül ile hesaplanmasına izin verilmektedir.

$$T_1 \cong T_{1A} = C_t H_N^{3/4} \quad (2.29)$$

H_N : Yapı yüksekliği

Bu bağıntıda görülen C_t değeri, bina taşıyıcı sistemine bağlı olarak aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

- a) Deprem yüklerinin tamamının betonarme perdelerle taşındığı binalarda C_t değeri;

$$C_t = 0.075 / A_t^{1/2} \leq 0.05 \quad (2.30)$$

formülü ile hesaplanacaktır.

A_t : Eşdeğer alanı

$$A_t = \sum A_{wj} [0.2 + (\ell_{wj} / H_N)^2] \quad (2.31)$$

ile verilmektedir. Burada,

A_{wj} : Binanın temel üstündeki ilk katında j'inci perdenin brüt en kesit alanı,

ℓ_{wj} : Binanın temel üstündeki ilk katında j'inci perdenin deprem doğrultusunda çalışan uzunluğudur.

(ℓ_{wj} / H_N) oranının en büyük değeri 0.9 olarak göz önüne alınacaktır.

- b) Taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden veya dışmerkez çaprazlı çelik perdelerden oluşan binalarda $C_t=0.07$, taşıyıcı sistemi sadece çelik çerçevelerden oluşan binalarda $C_t=0.08$, diğer tüm binalarda ise $C_t=0.05$ alınacaktır.

II. Rayleigh oranı ile T_1 'in hesabı :

$$T_1 = 2 \pi [\sum (m_i d_{fi}^2) / \sum (F_{fi} d_{fi})]^{1/2} \quad (2.32)$$

$$m_i = w_i / g \quad (2.33)$$

m_i : Binanın i'inci katının kütlesi,

d_{fi} : F_{fi} fiktif yüklemesinden dolayı, binanın i'inci katında meydana gelen yatay yerdeğiştirmeyi göstermektedir.

Binanın birinci doğal titreşim periyodu Rayleigh Oranı ile hesaplanması halinde, periyot değeri bir kere de Ampirik Formül ile de hesaplanacak ve bu

formülden bulunan değerin $T_{1A} > 1.0$ sn olması durumunda, T_1 'in deprem hesabında kullanılacak en büyük değeri T_{1A} 'nın 1.30 katından daha büyük olmayacaktır.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulandığı tüm binaların birinci doğal titreşim periyodu, Rayleigh Oranı ile hesaplanabilir. Ancak, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde $H_N \leq 25$ m koşulunu sağlayan binaların, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ise Eşdeğer Deprem Yüğü Yönetimi'nin uygulandığı tüm binaların birinci doğal titreşim periyodunun Ampirik Formül ile hesaplanmasına izin verilmiştir. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde $H_N > 25$ m olması durumunda ise Rayleigh Oranı ile hesaplanması zorunludur.

- Göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (Taban Kesme Kuvveti) (V_T) hesaplanır.

$$V_t = W A (T_1) / R_a (T_1) \geq 0.10 A_0 I W \quad (2.34)$$

Bu ifadedeki büyüklükler;

W: Binanın deprem sırasındaki toplam ağırlığıdır.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (2.35)$$

$$w_i = g_i + nq_i \quad (2.36)$$

w_i : i'inci katın deprem sırasındaki toplam ağırlığı,

g_i : i'inci toplam sabit yüğü,

q_i : i'inci katın toplam hareketli yüğü,

n : Hareketli yük katılım katsayısıdır. Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8 Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)

BİNANIN KULLANIM AMACI	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

Spektral ivme katsayısı[A (T₁)] : deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan ve tanım olarak %5 sönüm oranı için Elastik Tasarım İvme Spektrumu'nun yerçekimi ivmesi g'ye bölünmesine karşı gelen Spektral İvme Katsayısı, A(T₁), Denk.2.37 ile verilmiştir.

$$A(T_1) = A_0 I S(T_1) \quad (2.37)$$

A₀ : Etkin yer ivmesi katsayısı,

I : Bina önem katsayısı,

S (T₁) : Spektrum katsayısıdır.

Etkin yer ivmesi katsayısı (A₀) : Maksimum deprem ivmesinin g' ye oranı olarak tanımlanır. Bu katsayı deprem analizini yaptığımız yapının hangi deprem bölgesinde olduğuna bağlı olarak Çizelge 2.4' de verilmiştir.

Bina önem Katsayısı (I) : yapının kullanılış amacına göre bağlı olarak belirlenmektedir. Çizelge 2.9'da görüleceği üzere depremden hemen sonrası kullanımı gereken binalarda, tehlikeli madde içeren binalarda, insanların uzun süreli ve yoğun olarak buldukları binalarda bu katsayı daha büyüktür.

Çizelge 2.9 Bina Önem Katsayısı (I)

BİNANIN KULLANIM AMACI VEYA TÜRÜ	BİNA ÖNEM KATSAYISI (I)
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksin, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kıışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
4. Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb).	1.0

Spektrum katsayısı [S (T₁)] : Yerel zemin koşullarına ve yapının birinci doğal periyoduna bağlı olarak Denk.2.38 ile hesaplanacaktır.

$$S(T_1) = 1 + 1.5 T_1 / T_A \quad (0 \leq T_1 \leq T_A) \quad (2.38a)$$

$$S(T_1) = 2.5 \quad (T_A < T_1 \leq T_B) \quad (2.38b)$$

$$S(T_1) = 2.5(T_B / T_1)^{0.8} \quad (T_1 > T_B) \quad (2.38c)$$

Spektrum karakteristik periyotları (T_A, T_B) : Bu periyotlar Yerel Zemin Sınıflarına bağlı olarak aşağıdaki Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.10 Spektrum Karakteristik Periyotları (T_a , T_b)

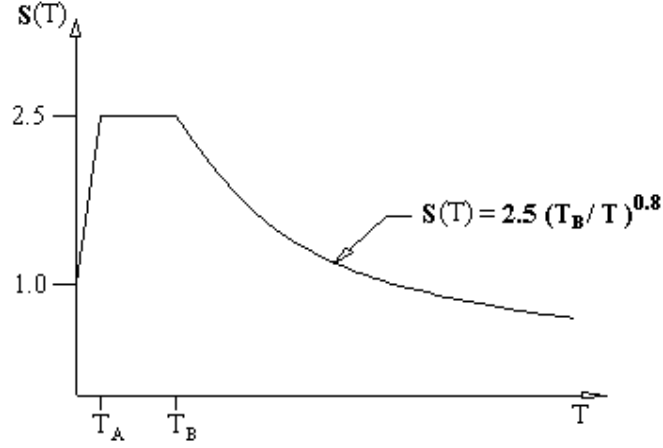
YEREL ZEMİN SINIFI	T_A (sn)	T_B (sn)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Çizelge 2.11 Yerel Zemin Sınıfları

YEREL ZEMİN SINIFI	ZEMİN GRUBU VE EN ÜST ZEMİN TABAKASI KALINLIĞI (H_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

Özel Tasarım İvme Spektrumları:

Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel deprem ve zemin koşulları göz önüne alınarak yapılacak özel aşırımlarla da belirlenebilir. Ancak, bu şekilde belirlenecek ivme spektrumu ordinatlarına karşı gelen spektral ivme katsayıları, tüm periyotlar için, Çizelge 2.10'daki ilgili karakteristik periyotlar göz önüne alınarak Denk.2.38'den bulunacak değerlerden hiçbir zaman daha küçük olmayacaktır.



Şekil 2.33 Tasarım ivme spektrum grafiği

Zemin sınıfına göre $T_A = 0.1 - 0.2$ sn arasında değişmektedir. Bu tür zeminlerde, spektrum eğrisinin $0 \leq T \leq T_A$ bölümü arasında bulunan yapılar bir veya en çok iki katlı binalara karşı gelmektedir. Yeni deprem yönetmeliğinde Spektrum katsayısı değeri $S(T) \geq 0.1R$ alt sınırı verilmektedir.

Spektrum katsayısı Şekil 2.33'den de açıkça görüleceği gibi maksimum değerini, yapı periyodu T 'nin spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B arasında yer aldığı zaman 2.5 değerine karşılık gelmektedir.

Yapı periyot değerlerinin T_B değerinden daha büyük olması durumunda ise spektrum katsayısı küçülmektedir. Yukarıdaki tasarım ivme spektrum grafiği %5 sönüm için hazırlanmıştır.

Deprem yükü azaltma katsayısı $[R_a(T_1)]$: Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını göz önüne almak üzere, $A_0IS(T_1)$ spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan Deprem Yükü Azaltma Katsayısı'na bölünecektir.

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, $R_a(T_1)$, çeşitli taşıyıcı sistemler için aşağıdaki Çizelge 2.12’de tanımlanan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R ’ye ve doğal titreşim periyodu, T ’ye bağılı olarak Denk.2.39 ile belirlenecektir.

$$R_a(T_1) = 1.5 + (R - 1.5) T_1 / T_A \quad (0 \leq T_1 \leq T_A) \quad (2.39a)$$

$$R_a(T_1) = R \quad (T_1 > T_A) \quad (2.39b)$$

Çizelge 2.12 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	SÜNEKLİK DÜZEYİ NORMAL SİSTEMLER	SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK SİSTEMLER
YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Çerçeve	4	8
(1.2) Bağ kirişli boşluklu perde	4	7
(1.3) Perde	4	6
(1.4) Çerçeve + Perde (Boşluklu ve/veya Boşluksuz Perde)	4	7

- Hesaplanan Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (V_t) bina katlarına etkileyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak aşağıdaki ifade ile belirlenecektir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (2.40)$$

N : Toplam Kat Sayısı

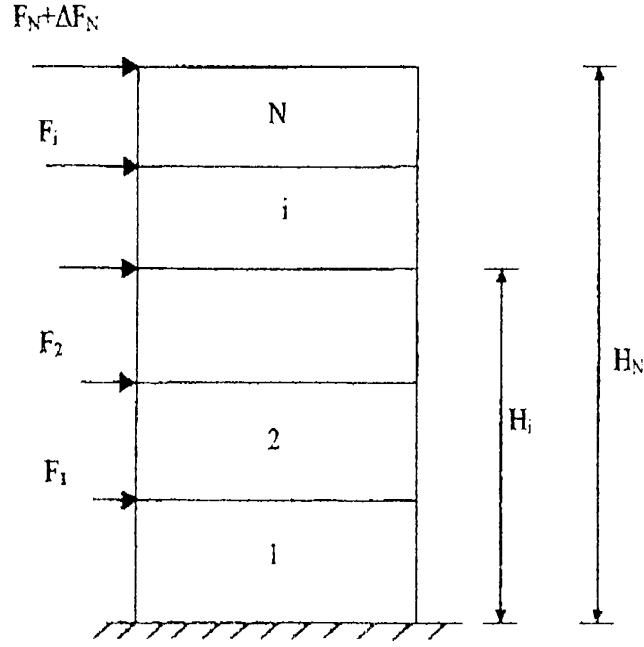
ΔF_N : Ek Eşdeğer Deprem Yüğü

$H_N > 25m$ için binanın N ’inci katına (tepesine) etkileyen Ek Eşdeğer Deprem Yüğü ΔF_N ’in değeri, hesaplanan Birinci Doğal Titreşim Periyodu T_1 ’e bağılı olarak, aşağıdaki ifade ile belirlenecektir. $H_N \leq 25m$ için $\Delta F_N = 0$ alınacaktır.

$$\Delta F_N = 0.07 T_1 V_t \leq 0.2 V_t \quad (2.41)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yükleri aşağıdaki denklem ile dağıtılacaktır.

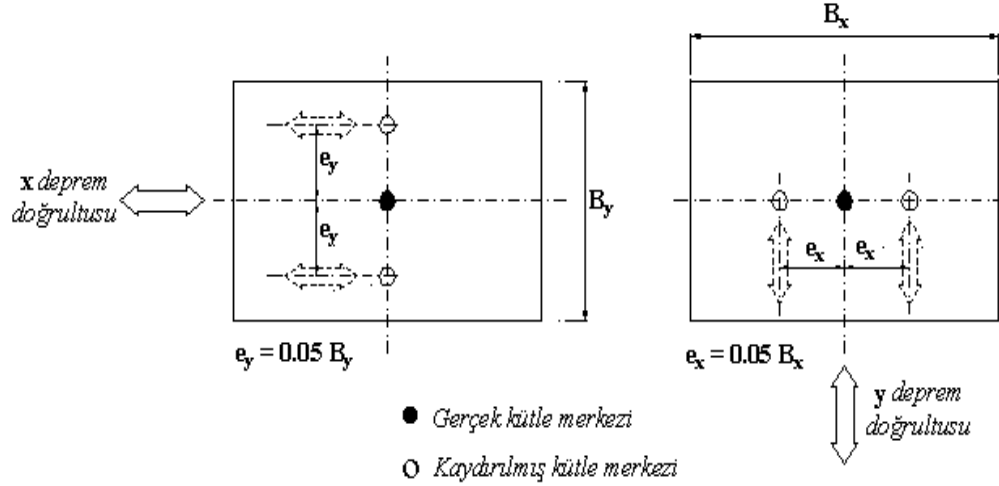
$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (2.42)$$



Şekil 2.34 Kat hizalarına etkiyen eşdeğer deprem yükleri

- Her katta belirlenen eşdeğer deprem yükleri kat kütle merkezine ve ayrıca ek dışmerkezlilik etkisinin hesaba katılması için kaydırılmış kütle merkezlerine tekil yatay yük olarak uygulanmalıdır. Yapılan analiz sonucunda kat deplasmanları ve iç kuvvetler bulunur.

Kaydırılmış kütle merkezleri, gerçek kütle merkezinin $\pm\%5$ kaydırılması ile belirlenen noktalardır (Şekil 2.35).



Şekil 2.35 Kaydırılmış kütle merkezleri

- A1 burulma düzensizliği ve B2 yumuşak kat düzensizliği kontrolleri yapılır.

Yapılan kontrollerde,

1. ve 2. derece deprem bölgelerinde $\eta_{ki} > 1.5$ ise dinamik analiz yapılması zorunludur.

$\eta_{bi} > 2$ ise dinamik analiz yapılması zorunludur.

$1.2 < \eta_{bi} < 2$ ise eksantrisite değerleri D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülmeli ve yeniden eşdeğer deprem yükleri büyütülmüş eksantrisite değerlerinin olduğu yerlere uygulanarak analiz tekrarlanmalıdır.

$$D_i = (\eta_{bi} / 1.2)^2 \quad (2.43)$$

- Göreli kat ötelemeleri kontrolü yapılır.

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden Göreli Kat Ötelemesi, Δ_i aşağıdaki formül ile elde edilir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (2.44)$$

d_i ve d_{i-1} , binanın i 'inci ve $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesaptan elde edilen yatay yer değiştirmeleri göstermektedir.

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i 'inci katındaki kolon veya perdelerde, Denk.2.44 ile hesaplanan görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\Delta_i)_{\max}$, Denk.2.45'de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacaktır.

$$(\Delta_i)_{\max} / h \leq 0.0035 \quad (2.45a)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h \leq 0.02 / R \quad (2.45b)$$

Denk.2.45'de verilen koşulun binanın her hangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır. Ancak verilen koşul sağlansa bile, yapısal olmayan gevrek elemanların (cephe elemanları vb), elde edilen görelî kat ötelemeleri altında kullanılabilirliği hesapla doğrulanmalıdır.

- İkinci mertebe etkilerinin kontrolü yapılır.

Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik olmayan davranışını esas alan daha kesin bir hesap yapılmadıkça, ikinci mertebe etkileri aşağıda belirtildiği gibi göz önüne alınabilir.

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, İkinci Mertebe Gösterge Değeri; θ_i 'nin Denk.2.47 ile verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{\text{ort}} \sum_{j=1}^N w_j}{V_i h_i} \quad (2.46)$$

Burada ;

$(\Delta_i)_{ort}$: i'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan görelî kat ötelemelerinin

kat içindeki ortalama değerini,

V_i : i'inci kattaki kesme kuvvetini,

H_i : i'inci kat yüksekliğini,

$\sum_{j=1}^N w_j$: i'inci katın üstündeki kat ağırlıkları toplamını göstermektedir.

İkinci Mertebe Gösterge Değeri, Θ_i değerinin herhangi bir katta 0.12 den büyük olması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği yeterli ölçüde arttırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır⁽³⁹⁾.

$$\Theta_i \leq 0.12 \quad (2.47)$$

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Ülkemizde Meydana Gelen ve Deprem Bölgesi İvmesi Değerini Aşan Büyük Depremler

Bu bölümde, Deprem Araştırma Dairesi verilerinden faydalanarak, ülkemizde ki 1977 ve 2006 yılları arasında meydana gelen büyük depremlerin, kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinde kaydedilen yatay ivmelerinin, deprem bölgesi ivmesi değerini aşanları vurgulanacaktır.

Erzincan, Düzce ve Bingöl, deprem bölgeleri haritasında 1. derece deprem bölgesi olarak kabul edilen yerlerdir. Bu bölgelerde depremde yapıya etkiyecek olan ivmenin 0.4g olacağı kabulüne göre hesaplar yapılır.

$$\text{Birinci derece deprem bölgesi ivmesi} : 0.4g = 0.4 \cdot 981 \text{ cm/sn}^2 = 392.4 \text{ cm/sn}^2$$

Deprem bölgesi ivmesine a_1 , depremde kaydedilen en büyük yatay ivmeye a_2 dersek $\frac{a_2}{a_1}$ oranından, yapının depremden kabul edilen orandan ne kadar fazla etkilendiğini buluruz.

Çizelge 3.1 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Kaydedilen İvme Değerleri

Yer	Kuzey-Güney	Doğu-Batı	Düşey
Erzincan Meteoroloji Müdürlüğü	404.971	470.915	238.551
Refahiye Kaymakamlık Binası	85.931	67.206	31.571
Tercan Meteoroloji Müdürlüğü	26.971	39.384	22.666

Erzincan'da kaydedilen en büyük yatay ivme 470.915 cm/sn^2 'dir.

$$470.915 / 981 = 0.48$$

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{470.915}{392.4} = 1.20$$

Deprem, Erzincan'ı kabullerimizin 1.20 kat üzerinde etkilemiştir.

Çizelge 3.2 12 Kasım 1999 Düzce Depreminin Kaydedilen İvme Değerleri

Yer	Kuzey-Güney	Doğu-Batı	Düşey
Bolu Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü	739.512	805.878	200.130
Düzce Meteoroloji Müdürlüğü	513.780	407.689	339.643

Düzce'de kaydedilen en büyük yatay ivme 805.878 cm/sn²'dir.

$$805.878 / 981 = 0.82$$

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{805.878}{392.4} = 2.05$$

Deprem, Düzce'yi kabullerimizin 2.05 kat üzerinde etkilemiştir.

Çizelge 3.3 01 Mayıs 2003 Bingöl Depreminin Kaydedilen İvme Değerleri

Yer	Kuzey-Güney	Doğu-Batı	Düşey
Bingöl Bayındırlık ve İskan Müd.	545.533	276.825	472.260

Bingöl'de kaydedilen en büyük yatay ivme 545.533 cm/sn²'dir.

$$545.533 / 981 = 0.56$$

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{545.533}{392.4} = 1.39$$

Deprem, Bingöl'ü kabullerimizin 1.39 kat üzerinde etkilemiştir.

3.2. Depremlerin Asal İvmelerinin Mohr Yöntemi İle Hesaplanması

Asal ivmelerin hesabında bölüm 2.18’de verilen asal deprem ivmelerinin hesabında mohr yöntemi kullanılacaktır.

Çizelge 3.4 Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Doğrultusu ve D-B Yönü İle Yaptıkları Aç

Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremler	Doğrultu	α
12.11.1999 Düzce	268	2
13.03.1992 Erzincan	123	33
30.10.1983 Erzurum	211	59
27.06.1998 Adana-Ceyhan	53	37
06.06.2000 Çankırı-Çerkeş	126	36

Çizelge 3.5 Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Doğrultusu ve D-B Yönü İle Yaptıkları Aç

Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremler	Doğrultu	α
1.10.1995 Dinar	310	40
03.02.2002 Afyon (Eber)	66	24

Çizelge 3.6 Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Kaydedilen En Büyük Yatay İvmeleri İle Hesaplanan En Büyük Asal İvmelerinin ve Yönetmelikte Verilen Deprem Bölgesi İvmelerinin Kıyaslanması

Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremler	Magnitüd	Kaydedilen İvmeler		Asal İvmeler		Deprem Bölgesi İvmesi ($A_0 * 981$)	$a_{\text{mak}} / \text{Kaydedilen En Büyük İvme}$	$a_{\text{mak}} / \text{Deprem Bölgesi İvmesi}$
		K-G	D-B	a_{min}	a_{mak}			
12.11.1999 Düzce	7.2 M_w	739.51	805.88	739.43	805.96	392.40	1.00	2.05
13.03.1992 Erzincan	6.1 M_L	404.97	470.92	356.88	519.01	392.40	1.10	1.32
30.10.1983 Erzurum	6.0 M_L	150.26	173.30	137.24	186.32	294.30	1.08	0.63
27.06.1998 Adana-Ceyhan	5.9 M_L	223.28	273.55	157.23	339.61	294.30	1.24	1.15
06.06.2000 Çankırı-Çerkeş	5.9 M_d	62.46	63.16	61.68	63.94	392.40	1.01	0.16

Çizelge 3.7 Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Kaydedilen En Büyük Yatay İvmeleri İle Hesaplanan En Büyük Asal İvmelerinin ve Yönetmelikte Verilen Deprem Bölgesi İvmelerinin Kıyaslanması

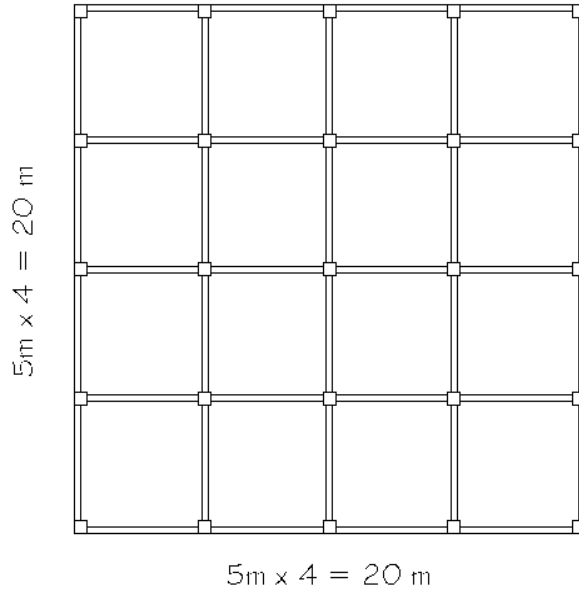
Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremler	Magnitüd	Kaydedilen İvmeler		Asal İvmeler		Deprem Bölgesi İvmesi ($A_0 * 981$)	$a_{\text{mak}} / \text{Kaydedilen En Büyük İvme}$	$a_{\text{mak}} / \text{Deprem Bölgesi İvmesi}$
		K-G	D-B	a_{min}	a_{mak}			
1.10.1995 Dinar	6.0 M_L	281.63	329.72	167.21	444.15	392.40	1.35	1.13
03.02.2002 Afyon (Eber)	6.0 M_d	113.50	94.00	89.18	118.32	392.40	1.04	0.30

Çizelge 3.6 ve 3.7’de görüldüğü gibi depremlerin, fay kırılma doğrultusuna paralel yönde hesaplanan ivmeleri D-B ve K-G yönlerinde kaydedilen ivmelerinden daha büyüktür.

3.3. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Model Analizler

3.3.1. Yapı Modeli

Bu çalışmada aynı kat planına sahip 4 katlı betonarme bir yapı kullanılmıştır. Yapının bodrum katı yoktur. Yapının taşıyıcı sistemi, kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve sistemdir. Döşemeler rijit diyafram olarak düşünülmüştür. Yapıda ki kat yükseklikleri 3 m, döşeme kalınlıkları 12 cm, kirişler 25x50 ve kolonlar 50x50 ebadında seçilmişlerdir.



Şekil 3.1 Yapı Normal Kat Planı (Her Katta Aynı Plan Geçerlidir)

3.3.2. Analiz Kriterleri

Yapı analizi önce “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” şartlarına uygun olarak yapılacaktır. Bu analizde yapı birinci derece deprem bölgesinde kabul edilecek, Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0) 0.4 olarak alınacaktır. Daha sonra A_0 değeri, 13 Mart 1992 Erzincan Depreminde kaydedilen en

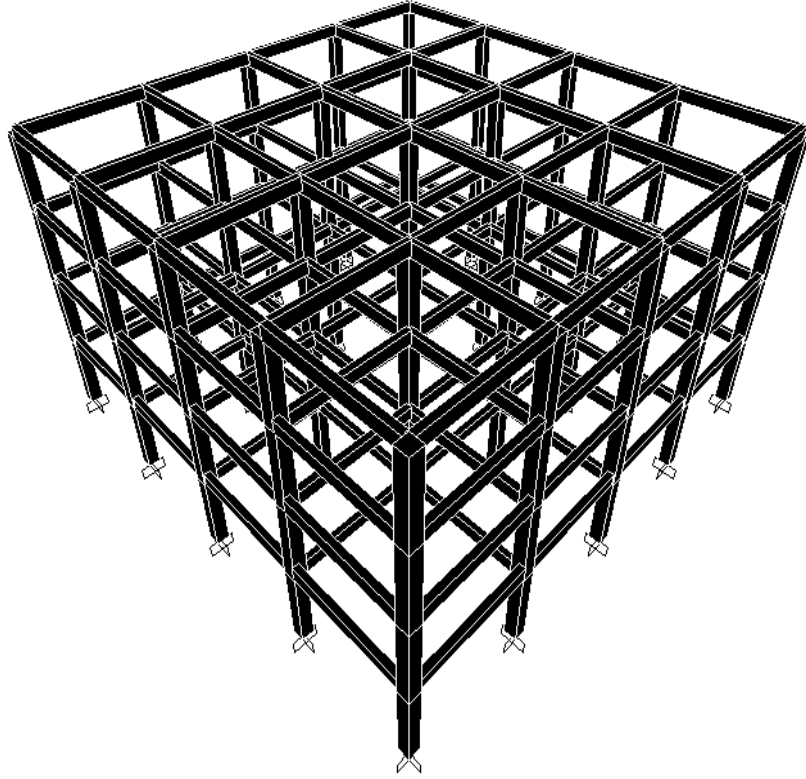
büyük yatay ivme için 0.48 ve hesaplanan asal ivme için 0.53 alınarak analiz tekrarlanacaktır.

Yapı her iki yönde simetrik olduğundan deprem hesabı sadece x yönünde yapılacaktır. Yapının ağırlık ve rijitlik merkezi çakışmaktadır.

Yapının; yerel zemin sınıfı Z4, taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 8$, bina önem katsayısı $I = 1$, beton sınıfı BS25 ve çelik sınıfı BÇIII olarak seçilecektir.

Yapının kat ağırlıkları; çatı katı için 288.358 t, normal katlar için 505.654 t olarak alınacaktır.

Yapı analizlerinde, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve SAP2000 bilgisayar programı kullanılacaktır.



Şekil 3.2 Yapının 3 Boyutlu Görünümü

3.3.3. Yapının Yönetmelikte Verilen Birinci Derece Deprem Bölgelerinde Uygulanan Deprem İvmesine Göre Analizi

3.3.3.1. Fiktif Yüklerin Hesabı

$$F_{fi} = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)}$$

Çizelge 3.8 Yapıya Ait Fiktif Yüklerin Hesabı

Kat No	W _i (t)	H _i (m)	W _i *H _i	F _{fi} (t)
4	288.358	12	3460.296	0.275
3	505.654	9	4550.886	0.362
2	505.654	6	3033.924	0.242
1	505.654	3	1516.962	0.121
Σ	1805.320		12562.068	1

3.3.3.2. Kat Deplasmanlarının Hesabı

Çizelge 3.9 Yapıya Ait Kat Deplasmanlarının Hesabı

Kat No	d _{fi} (m)
4	0.000067
3	0.000056
2	0.000038
1	0.000015

3.3.3.3. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Hesabı

Binanın birinci doğal titreşim periyodu Rayleigh Oranı ile hesaplanmıştır.

Çizelge 3.10 Yapıya Ait Rayleigh Oranı İle T_1 'in Hesabı

Kat No	m_i	F_{fi}	d_{fi}	$m_i d_{fi}^2$	$F_{fi} d_{fi}$
4	29.39429	0.275	0.000067	0.0000001320	0.0000184250
3	51.54475	0.362	0.000056	0.0000001616	0.0000202720
2	51.54475	0.242	0.000038	0.0000000744	0.0000091960
1	51.54475	0.121	0.000015	0.0000000116	0.0000018150
Σ		1		0.0000003796	0.0000497080

$$\text{Rayleigh Oranı} = T_1 = 2\pi \left[\frac{\sum_{i=1}^N (m_i * d_{fi}^2)}{\sum_{i=1}^N F_{fi} * d_{fi}} \right]^{1/2}$$

$$T_1 = 0.55 \text{ sn}$$

3.3.3.4. Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabı

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı $(0.55 > T_A)$ $R_A(T_1)=R=8$

Spektrum Katsayısı $(0.20 < 0.55 < 0.90)$ $S(T_1)=2.5$

Spektral İvme Katsayısı $A(T_1)=A_0 * I * S(T_1) = 0.40 * 1 * 2.5$

$$=1$$

Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü $V(T_1)=\sum W * A(T_1) / R_a(T_1) = 1805.320 * 1/8$

$$=225.665 \text{ t}$$

$$V(T_1) \geq 0.1 * A_0 * I * \sum W = 0.1 * 0.4 * 1 * 1805.320$$

$$=72.213 \text{ t}$$

$V(T_1)=225.665 \text{ t}$ alınacaktır.

Ek Eşdeğer Deprem yüğü yok. Çünkü Bina Yüksekliği $< 25 \text{ m}$

3.3.3.5. Eşdeğer Kat Deprem Yüklerinin Hesabı

$$F_i = V(T_1) * \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j * H_j)} = V(T_1) * F_{fi}$$

Çizelge 3.11 Yapıya Ait Eşdeğer Kat Deprem Yükleri

Kat No	W _i (t)	H _i (m)	W _i H _i	F _i (t)
4	288.358	12	3460.296	62.161
3	505.654	9	4550.886	81.752
2	505.654	6	3033.924	54.501
1	505.654	3	1516.962	27.251
Σ	1805.320		12562.068	225.665

3.3.3.6. Eşdeğer Kat Deprem Yüklerinin ±%5 Eksantrik Olarak Yapıya Yüklenmesi ve Kat Deplasmanları Hesabı

Dışmerkezlik +%5 (20x0.05)=1.00 m

Çizelge 3.12 Yapıya Ait Kat Deplasmanları (m)

Kat No	(d _i) _{max}	(d _i) _{min}
4	0.0165	0.0136
3	0.0139	0.0114
2	0.0093	0.0077
1	0.0037	0.0030

3.3.3.7. A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü

Yapı birinci derece deprem bölgesinde bulunduğundan A1 Burulma düzensizliği kontrolünün yapılması gerekmektedir.

$$(\Delta_i)_{max} = (d_i)_{max} - (d_{i-1})_{max}$$

$$(\Delta_i)_{\min} = (d_i)_{\min} - (d_{i-1})_{\min}$$

$$(\Delta_i)_{\text{ort}} = [(\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}] / 2$$

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}} < 1,2$$

Çizelge 3.13 Yapıya Ait Burulma Düzensizliği Kontrolü

Kat No	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
4	0.0026	0.0021	0.0024	1.10
3	0.0046	0.0038	0.0042	1.10
2	0.0056	0.0047	0.0051	1.10
1	0.0037	0.0030	0.0034	1.10
				<1.20

3.3.3.8. Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 / 8 = 0.0025$$

Çizelge 3.14 Yapıya Ait Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

Kat No	h_i (m)	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\max}/h_i$
4	3	0.0026	0.0009
3	3	0.0046	0.0015
2	3	0.0056	0.0019
1	3	0.0037	0.0012
			<0.0025

3.3.3.9. İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12$$

Çizelge 3.15 Yapıya Ait İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü

Kat No	w _i (t)	∑w _i (t)	(Δ _i) _{ort}	V _i (t)	h _i (m)	θ _i
4	29.394	29.394	0.0024	62.161	3	0.00038
3	51.545	80.939	0.0042	143.913	3	0.00079
2	51.545	132.484	0.0051	198.414	3	0.00114
1	51.545	184.029	0.0034	225.665	3	0.00092
	184.029					<0.12

3.3.4. Model'in 13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Kaydedilen En Büyük

Yatay İvmeye Göre Analizi

Deprem Yönetmeliği kabulü olan yatay ivme değeri :

$$0.40g = 0.4 * 981 \text{ cm/sn}^2 = 392.4 \text{ cm/sn}^2$$

Erzincan depreminde ölçülen en büyük yatay ivme değeri 470.915 cm/sn²

$$A_o \text{ yerine kullanacağımız değer : } 470.915 / 981 = 0.48$$

3.3.4.1. Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabı

$$\begin{aligned} \text{Spektral İvme Katsayısı} \quad A(T_1) &= A_o * I * S(T_1) = 0.48 * 1 * 2.5 \\ &= 1.2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü} \quad V(T_1) &= \sum W * A(T_1) / R_a(T_1) = 1805.320 * 1.2 / 8 \\ &= 270.798 \text{ t} \end{aligned}$$

$$V(T_1) \geq 0.1 * A_o * I * \sum W = 0.1 * 0.48 * 1 * 1805.320$$

$$=86.655 \text{ t}$$

$V(T_1)=270.798 \text{ t}$ alınacaktır.

Ek Eşdeğer Deprem yükü yok. Çünkü Bina Yüksekliği $< 25 \text{ m}$

3.3.4.2. Eşdeğer Kat Deprem Yüklerinin Hesabı

Çizelge 3.16 Yapıya Ait Eşdeğer Kat Deprem Yükleri

Kat No	$W_i \text{ (t)}$	$H_i \text{ (m)}$	$W_i H_i$	$F_i \text{ (t)}$
4	288.358	12	3460.296	74.593
3	505.654	9	4550.886	98.103
2	505.654	6	3033.924	65.402
1	505.654	3	1516.962	32.701
Σ	1805.320		12562.068	270.798

3.3.4.3. Eşdeğer Kat Deprem Yüklerinin $\pm\%5$ Eksantrik Olarak Yapıya Yüklenmesi ve Kat Deplasmanları Hesabı

Çizelge 3.17 Yapıya Ait Kat Deplasmanları (m)

Kat No	$(d_i)_{\max}$	$(d_i)_{\min}$
4	0.0198	0.0163
3	0.0167	0.0137
2	0.0112	0.0092
1	0.0044	0.0036

3.3.4.4. A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü

Çizelge 3.18 Yapıya Ait Burulma Düzensizliği Kontrolü

Kat No	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
4	0.0031	0.0026	0.0029	1.07
3	0.0055	0.0045	0.0050	1.10
2	0.0068	0.0056	0.0062	1.10
1	0.0044	0.0036	0.0040	1.10
				<1.20

3.3.4.5. Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Çizelge 3.19 Yapıya Ait Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü

Kat No	$h_i(\text{m})$	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\max}/h_i$
4	3	0.0031	0.0010
3	3	0.0055	0.0018
2	3	0.0068	0.0023
1	3	0.0044	0.0015
			<0.0025

3.3.4.6. İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü

Çizelge 3.20 Yapıya Ait İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü

Kat No	$w_i(t)$	$\sum w_i(t)$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	$V_i(t)$	$h_i(m)$	θ_i
4	29.394	29.394	0.0029	74.593	3	0.00038
3	51.545	80.939	0.0050	172.696	3	0.00078
2	51.545	132.484	0.0062	238.098	3	0.00115
1	51.545	184.029	0.0040	270.799	3	0.00091
	184.029					<0.12

3.3.5. Model'in 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Asal İvmesine Göre Analizi

Deprem Yönetmeliği kabulü olan yatay ivme değeri :

$$0.40g = 0.4 * 981 \text{ cm/sn}^2 = 392.4 \text{ cm/sn}^2$$

Erzincan depreminin mohr yöntemiyle hesaplanan asal ivme değeri 519.01 cm/sn^2

A_0 yerine kullanacağımız değer : $519.01 / 981 = 0.53$

3.3.5.1. Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabı

$$\begin{aligned} \text{Spektral İvme Katsayısı} \quad A(T_1) &= A_0 * I * S(T_1) = 0.53 * 1 * 2.5 \\ &= 1.325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü} \quad V(T_1) &= \sum W * A(T_1) / R_a(T_1) = 1805.320 * 1.325 / 8 \\ &= 299.006 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V(T_1) &\geq 0.1 * A_0 * I * \sum W = 0.1 * 0.53 * 1 * 1805.320 \\ &= 95.682 \text{ t} \end{aligned}$$

$V(T_1) = 299.006 \text{ t}$ alınacaktır.

Ek Eşdeğer Deprem yüğü yok. Çünkü Bina Yüksekliği $< 25 \text{ m}$

3.3.5.2. Eşdeğer Kat Deprem Yüğülerinin Hesabı

Çizelge 3.21 Yapıya Ait Eşdeğer Kat Deprem Yüğüleri

Kat No	W_i (t)	H_i (m)	$W_i H_i$	F_i (t)
4	288.358	12	3460.296	82.363
3	505.654	9	4550.886	108.322
2	505.654	6	3033.924	72.214
1	505.654	3	1516.962	36.107
Σ	1805.320		12562.068	299.006

3.3.5.3. Eşdeğer Kat Deprem Yüklerinin +%5 Eksantrik Olarak Yapıya Yüklenmesi ve Kat Deplasmanları Hesabı

Çizelge 3.22 Yapıya Ait Kat Deplasmanları (m)

Kat No	$(d_i)_{\max}$	$(d_i)_{\min}$
4	0.0218	0.0180
3	0.0184	0.0152
2	0.0124	0.0102
1	0.0049	0.0040

3.3.5.4. A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü

Çizelge 3.23 Yapıya Ait Burulma Düzensizliği Kontrolü

Kat No	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
4	0.0034	0.0028	0.0031	1.10
3	0.0060	0.0050	0.0055	1.09
2	0.0075	0.0062	0.0069	1.09
1	0.0049	0.0040	0.0045	1.10
				<1.20

3.3.5.5. Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü

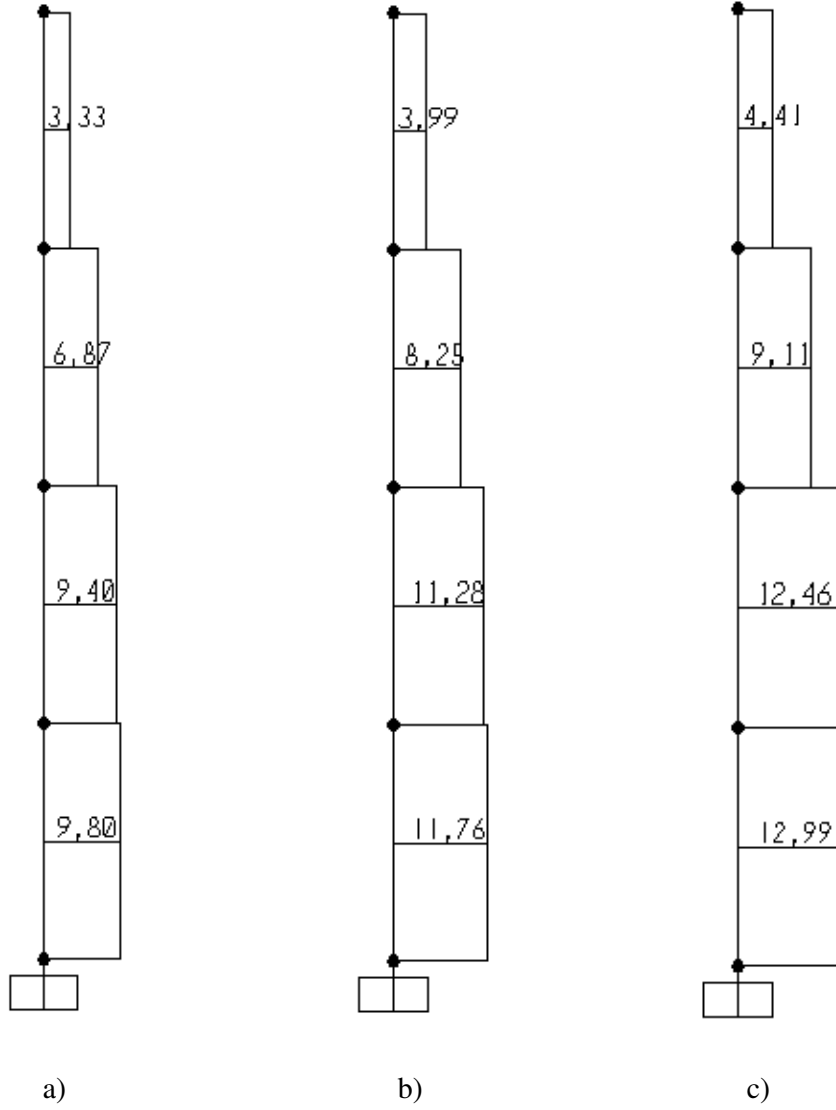
Çizelge 3.24 Yapıya Ait Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü

Kat No	h_i (m)	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\max}/h_i$
4	3	0.0034	0.0011
3	3	0.0060	0.0020
2	3	0.0075	0.0025
1	3	0.0049	0.0016
			>0.0025

3.3.5.6. İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü

Çizelge 3.25 Yapıya Ait İkinci Mertebe Etkilerin Kontrolü

Kat No	w_i (t)	$\sum w_i$ (t)	$(\Delta_i)_{ort}$	V_i (t)	h_i (m)	θ_i
4	29.394	29.394	0.0031	82.363	3	0.00037
3	51.545	80.939	0.0055	190.685	3	0.00078
2	51.545	132.484	0.0069	262.899	3	0.00116
1	51.545	184.029	0.0045	299.006	3	0.00092
	184.029					<0.12

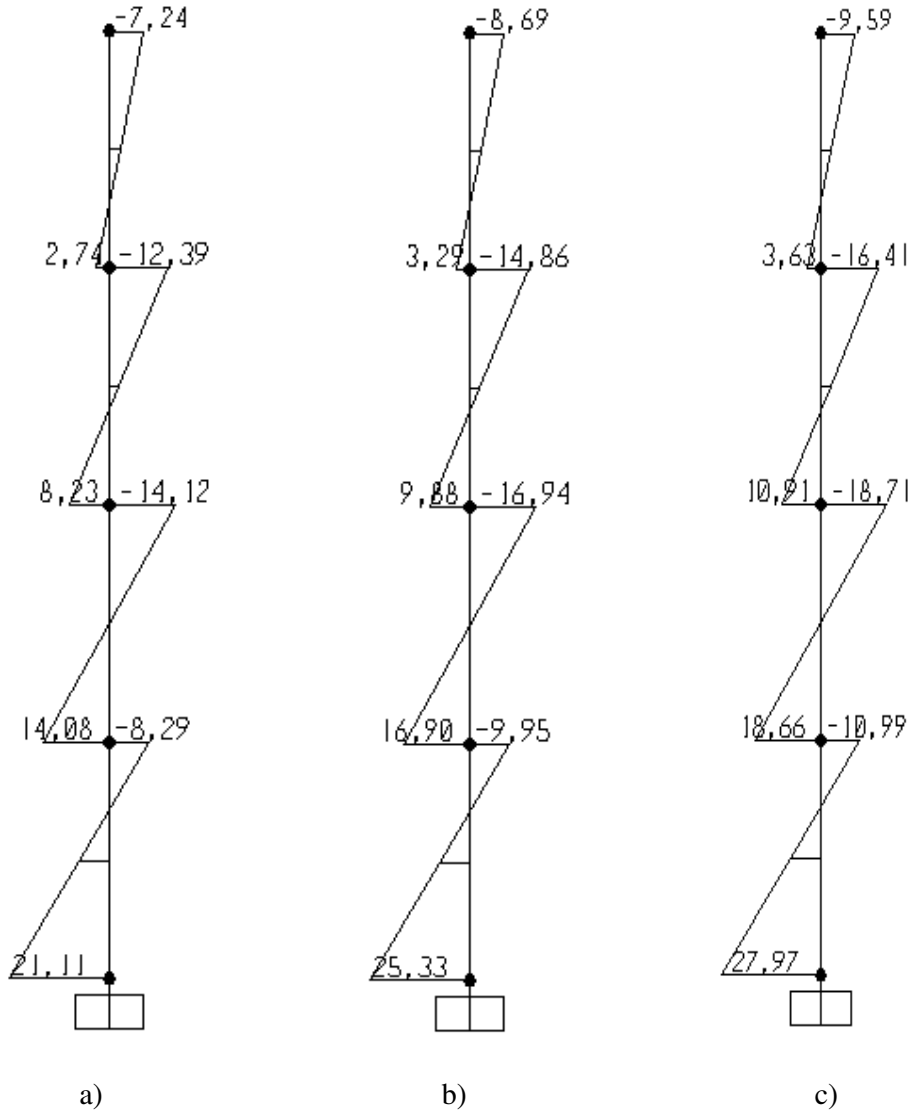


Şekil 3.3 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre, Yapının Merkezindeki Kolona Ait Kesme Kuvveti Diyagramları

a) I. Derece Deprem Bölgesi İçin

b) 13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Kaydedilen En Büyük Yatay İvme İçin

c) 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Asal Deprem İvmesi İçin



Şekil 3.4 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine Göre, Yapının Merkezindeki Kolona Ait Moment Diyagramları

a) I. Derece Deprem Bölgesi İçin

b) 13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Kaydedilen En Büyük Yatay İvme İçin

c) 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Asal Deprem İvmesi İçin

3.4. Fay Hattından Dik Doğrultuda Uzaklaştıkça Yatay Deprem İvmesinin Azalımı

3.4.1. Ülkemizde Meydana Gelen Büyük Depremlerde Deprem Bölgesi İvmesi Değerinin Aşıldığı Mesafeler

Bu çalışmada kullanılan depremlerin magnitüd değerleri Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi (DAD) verilerinden alınmıştır. Bu verilerdeki değişik magnitüd değerleri moment magnitüdü (M_w) olarak hesaplanacaktır. Bu hesaplamanın amacı ise, magnitüd değerlerinin kullanacağımız ivme azalım bağıntısına uygunluğunu sağlamak içindir.

Bu hesaplar için aşağıdaki bağıntılar kullanılacaktır^(23,24).

$$M_w = 2.25 * M_b - 6.14$$

$$M_w = 1.27 * M_d - 1.12$$

$$M_w = 1.57 * M_L - 2.66$$

$$M_w = 0.54 * M_s + 2.81$$

Çizelge 3.26 Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Magnitüd Değerlerinin M_w Dönüşümleri

Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremler	Magnitüd Değerleri	M_w Dönüşümü Yapılmış
17.08.1999 Kocaeli (M_w)	7.4	7.400
12.11.1999 Düzce (M_w)	7.2	7.200
13.03.1992 Erzincan (M_L)	6.1	6.917
30.10.1983 Erzurum (M_L)	6.0	6.760
27.01.2003 Pülümür (M_d)	6.2	6.754
01.05.2003 Bingöl (M_d)	6.1	6.627
27.06.1998 Adana-Ceyhan (M_L)	5.9	6.603
06.06.2000 Çankırı-Çerkeş (M_d)	5.9	6.373

Çizelge 3.27 Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Magnitüd Değerlerinin M_w Dönüşümleri

Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremler	Magnitüd Değerleri	M_w Dönüşümü Yapılmış
1.10.1995 Dinar (M_L)	6.0	6.760
03.02.2002 Afyon (Eber) (M_d)	6.0	6.500
20.10.2005 İzmir (M_d)	5.9	6.373

Moment magnitüd değerleri hesaplanan depremlerin, oluşturdukları yatay ivme değerlerinin, buldukları bölgelere göre yönetmelikte verilen deprem ivmesi değerlerinin üzerine çıktıkları mesafeler hesaplanacaktır. Bu hesaplarda sınır durumları görebilmek için gevşek zeminde $V_s=180$ m/sn, sıkı zeminde ise $V_s=1000$ m/sn alınmıştır. Maksimum yatay yer ivmesi büyüklüğü (a_y) değeri olarak, bölgelere göre deprem yönetmeliğinde ki A_0 değerleri kullanılacaktır.

Bu hesaplar için; Boore, Joyner ve Fumal (1997) bağıntısı kullanılacaktır.

$$\ln a_y = b_1 + b_2 (M_w - 6) + b_3 (M_w - 6)^2 + b_5 \ln(D^2 + h^2)^{1/2} + b_v \ln(V_s/V_a) + \epsilon_2$$

$$b_2 = 0.527, b_3 = 0, b_5 = -0.778, h = 5.57 \text{ km}, b_v = -0.371, V_a = 1396 \text{ m/sn},$$

$$\epsilon_2 = 0 \text{ (Orta değer)}$$

Çizelge 3.28 Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerde Deprem Bölgesi İvmelerinin Aşıldığı Mesafeler ($b_1 = -0.313$)

Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremler	M_w	A_o	D (km)	
			V=1000 m/sn	V=180 m/sn
17.08.1999 Kocaeli	7.400	0.4	3.49	13.81
12.11.1999 Düzce	7.200	0.4	1.39	11.75
13.03.1992 Erzincan	6.917	0.4	0	9.18
30.10.1983 Erzurum	6.760	0.3	2.65	12.81
27.01.2003 Pülümür	6.754	0.4	0	7.84
01.05.2003 Bingöl	6.627	0.4	0	6.84
27.06.1998 Adana-Ceyhan	6.603	0.3	0	11.26
06.06.2000 Çankırı-Çerkeş	6.373	0.4	0	4.91

Çizelge 3.29 Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerde Deprem Bölgesi İvmelerinin Aşıldığı Mesafeler ($b_1 = -0.242$)

Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremler	M_w	A_o	D (km)	
			V=1000 m/sn	V=180 m/sn
01.10.1995 Dinar	6.760	0.4	0	8.99
03.02.2002 Afyon (Eber)	6.500	0.4	0	6.90
20.10.2005 İzmir	6.373	0.4	0	5.93

Çizelge 3.28’de görüldüğü gibi, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde oluşan yatay ivme değerinin, gevşek zeminde depremi oluşturan fay kırığının sağ ve solunda dik olarak 13.81 km olmak üzere toplam 27.62 km’lik, sıkı zeminde ise toplam 6.98 km’lik bir kuşak içerisinde yönetmelikte verilen deprem ivmesi değerini aştığı görülmektedir.

3.4.2. Birinci Derece Deprem Bölgesi İçin Kabul Edilen Deprem İvmesinin Aşıldığı Mesafeler

Bu bölümde Doğrultu Atımlı Fay üzerinde gerçekleşen ve Magnitüdü, $M_w=7.4$ olan bir depremin çeşitli zeminlerde oluşturduğu hıza göre, hesaplanan yatay ivme değerinin, yönetmelikte kullanılan maksimum deprem ivmesi $0.4g$ değerine düşene kadar geçen mesafelerin belirlenmesi için hesaplar yapılacaktır.

Bu hesaplar için; Boore, Joyner ve Fumal (1997) bağıntısı kullanılacaktır.

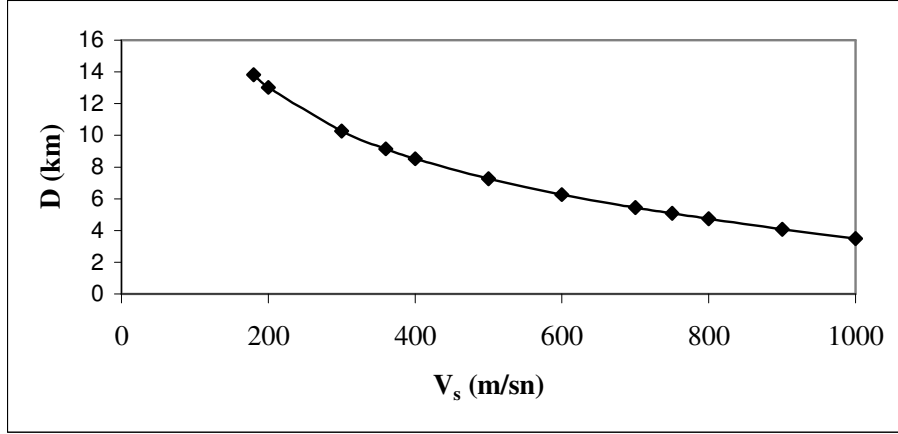
$$\ln a_y = b_1 + b_2 (M_w - 6) + b_3 (M_w - 6)^2 + b_5 \ln(D^2+h^2)^{1/2} + b_v \ln(V_s/V_a) + \epsilon_2$$

$$a_y = 0.4, b_1 = -0.313 \text{ (Doğrultu atımlı faylanma)}, b_2 = 0.527, b_3 = 0, b_5 = -0.778,$$

$$h = 5.57 \text{ km}, b_v = -0.371, V_a = 1396 \text{ m/sn}, \epsilon_2 = 0 \text{ (Orta değer)}$$

Çizelge 3.30 Birinci Derece Deprem Bölgesi İçin Kabul Edilen Deprem İvmesinin Aşıldığı Mesafeler

V_s (m/s)	D (km)
180	13.81
200	13.02
300	10.26
360	9.14
400	8.52
500	7.26
600	6.27
700	5.45
750	5.08
800	4.74
900	4.09
1000	3.49



Şekil 3.5 Birinci Derece Deprem Bölgesi İçin Kabul Edilen Deprem İvmesinin Aşıldığı Mesafeler

Şekil 3.5’de görülen eğrinin altında kalan bölgelerde, yönetmelikte verilen deprem ivmesi değeri aşılmaktadır.

3.4.3. Birinci Derece Deprem Bölgesi İçin Kabul Edilen Deprem İvmesinin Aşılmadığı Mesafeler

Bu bölümde Doğrultu Atımlı Fay üzerinde gerçekleşen ve Magnitudü, $M_w=7.4$ olan bir depremin çeşitli zeminlerde oluşturduğu hıza ve faya olan dik uzaklığına göre, hesaplanan yatay ivme değerinin, yönetmelikte kullanılan maksimum deprem ivmesi $0.4g$ değerinin altında kalan mesafelerin belirlenmesi için hesaplar yapılacaktır.

Bu hesaplar için; Boore, Joyner ve Fumal (1997) bağıntısı kullanılacaktır.

$$\ln a_y = b_1 + b_2 (M_w - 6) + b_3 (M_w - 6)^2 + b_5 \ln(D^2 + h^2)^{1/2} + b_v \ln(V_s/V_a) + \epsilon_2$$

$$b_1 = -0.313 \text{ (Doğrultu atımlı faylanma)}, b_2 = 0.527, b_3 = 0, b_5 = -0.778, h = 5.57 \text{ km,}$$

$$b_v = -0.371, V_a = 1396 \text{ m/sn, } \epsilon_2 = 0 \text{ (Orta değer)}$$

Çizelge 3.31 Birinci Derece Deprem Bölgesi İçin Kabul Edilen Deprem İvmesinin Aşılmadığı Mesafeler

V_s (m/s)	D (km)	a_v (g)
180	15	0.38
180	20	0.31
180	25	0.27
180	30	0.23
180	35	0.21
180	40	0.19
360	10	0.38
360	15	0.30
360	20	0.24
360	25	0.21
360	30	0.18
360	35	0.16
360	40	0.15
750	6	0.38
750	10	0.29
750	15	0.23
750	20	0.19
750	25	0.16
750	30	0.14
750	35	0.12
750	40	0.11

Deprem bölgeleri haritasında ki, Kuzey Anadolu Fay Hattı'nı çevreleyen I. Derece Deprem Bölgesi için oluşturulan kuşak yaklaşık 80 km'dir. Bu 80 km içerisinde deprem ivmesi olarak 0.4g değeri kullanılmaktadır. Oysa, depremde oluşacak yatay ivme değeri çeşitli zeminlerde oluşturduğu hıza ve faya dik doğrultuda ki uzaklığına bağlı olarak deprem ivmesi değerinin altında kalabilmektedir. Bu durum, ülkemizde ki diğer deprem kuşaklarında da görülmektedir.

3.5. Deprem Yönü Etkisi

Bu bölümde, Deprem Araştırma Dairesi verilerinden faydalanarak, ülkemizde ki 1977 ve 2006 yılları arasında meydana gelen büyük depremlerin kuzey-güney ve doğu-batı yönlerindeki yatay ivmelerini kıyaslayacağız.

Çizelge 3.32 Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Yatay İvmeler Bakımından Kıyaslanması

Doğrultu Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremler	Magnitüd	Yatay İvmeler		Düşey İvmeler	K-G / D-B Oranı
		K-G	D-B		
17.08.1999 Kocaeli	7.4 M _d		407.04	259.00	
12.11.1999 Düzce	7.2 M _w	739.51	805.88	200.13	0.92
27.01.2003 Pülümür	6.2 M _d	9.50	11.00	6.50	0.86
01.05.2003 Bingöl	6.1 M _d	545.53	276.83	472.26	1.97
13.03.1992 Erzincan	6.1 M _L	404.97	470.92	238.55	0.86
30.10.1983 Erzurum	6.0 M _L	150.26	173.30	87.92	0.87
27.06.1998 Adana-Ceyhan	5.9 M _L	223.28	273.55	86.47	0.82
06.06.2000 Çankırı-Çerkeş	5.9 M _d	62.46	63.16	40.25	0.99

Çizelge 3.33 Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremlerin Yatay İvmeler Bakımından Kıyaslanması

Eğim Atımlı Fayların Oluşturduğu Depremler	Magnitüd	Yatay İvmeler		Düşey İvmeler	K-G / D-B Oranı
		K-G	D-B		
1.10.1995 Dinar	6.0 M _L	281.63	329.72	150.68	0.85
03.02.2002 Afyon (Eber)	6.0 M _d	113.50	94.00	35.50	1.21
20.10.2005 İzmir	5.9 M _d	23.65	31.92	14.07	0.74

Çizelge 3.32'de verilen 01 Mayıs 2003 Bingöl Depreminin K-G doğrultusunda oluşturduğu yatay ivmenin, D-B doğrultusunda oluşturduğu yatay

ivmeye oranı 1.97'dir. Bu oran bize Bingöl'de kaydedilen yatay ivmenin etkili olduğu alanlarda yapıların depremden K-G doğrultusunda, D-B doğrultusuna göre 1.97 kat daha fazla etkilendiğini göstermektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Ülkemizde meydana gelen büyük depremlerin, fay hatlarına yakın bölgelerdeki kayıtları incelendiğinde, doğrultu atımlı bir fay olan KAF üzerinde gerçekleşen, 13 Mart 1992 Erzincan ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremleri ile KAF ve DAF'ın kesişimine yakın bir bölgede gerçekleşen 01 Mayıs 2003 Bingöl Depreminde kaydedilen yatay ivmelerin, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte verilen, birinci derece deprem bölgesi olan yerlerde kullanılan deprem ivmesi 0.4g değerini aştığı görülmüştür. Bu, diğer önemli faylar üzerinde bu değer aşılmayacağı anlamı taşımamaktadır. Ancak geçmiş depremlerinde gösterdiği gibi ülkemizde yıkıcı etkiye sahip deprem riski taşıyan en önemli fay KAF'dır.

13 Mart 1992 Erzincan Depreminde kaydedilen en büyük yatay ivme 0.48g, 12 Kasım 1999 Düzce Depreminde kaydedilen en büyük yatay ivme 0.82g ve 01 Mayıs 2003 Bingöl Depreminde kaydedilen en büyük yatay ivme 0.56g'dir.

Fay hatlarının, Kuzey-Güney ve Doğu-Batı koordinatları ile belirli bir açıda olması nedeni ile koordinatlar doğrultusunda alınan bu kayıtlar, fay hattının asal yatay ivmelerini birebir yansıtmamaktadır. Bu yüzden asal ivmelerinin ayrıca açığa bağlı olarak belirlenmesi ve yapı tasarımında bu ivmelerin önerilmesi daha uygun olacaktır.

Model bir betonarme yapının SAP2000 programı ile Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak, mevcut yönetmelikte belirtilen ivmeye, 13 Mart 1992 Erzincan

Depremde kaydedilen en büyük yatay ivmeye ve hesaplanan asal ivmeye göre analizleri yapılmıştır.

Analizler sonucunda kolonların kesme kuvveti ve moment diyagramlarındaki artışların, ivme değerlerindeki artışlarla aynı oranda gerçekleştiği görülmüştür. Bu da yapıya beklenenin üzerinde deprem kuvvetlerin etkimesi anlamına gelmektedir. Yani yapılan yapı mevcut deprem yönetmeliğine uygun da olsa malzeme ve hesap emniyet katsayılarının aşıldığı durumlarda binalar yıkılmaktadır.

Görelî kat ötelemeleri de yatay ivme değerlerindeki artışlardan olumsuz yönde etkilenmektedir.

Depremlerin oluşturduğu yatay ivme değerleri, fay hattına dik doğrultuda uzaklaştıkça azalır. Bu azalmayı hesaplamak için bazı bağıntılar mevcuttur. Yapının fay hattına uzaklığı ve beklenen en büyük M_w değerine göre, yapının yapılacağı bölgede oluşabilecek en büyük yatay ivme değeri hesaplanmalıdır. Bu ivme projelendirilecek ve onarım-güçlendirmesi yapılacak yapıların statik analizinde dikkate alınmalıdır.

Mevcut deprem yönetmeliğinde Fay Hatlarına Yakın Bölgelerde Yapılacak Yapılar ile ilgili güvenlik tedbirleri bulunmamaktadır. Dolayısıyla yapıların projelendirilmesi esnasında yapının fay hattının üzerinde inşa edilip edilmediği ya da fay hattına uzaklığı gibi kavramlar proje aşamasında göz önüne alınmamaktadır. Ülkemizin diri fayları etrafında da, Kaliforniya Eyaleti'nde ki bilinen diri faylar etrafında oluşturulan emniyetli kuşakla ilgili şartlar uygulanmalıdır. Bu faylara yakın bölgelerde yapılacak yapılara ilişkin zemin etüdlerinin daha detaylı yapılması ve yapının depreme dayanımını sağlayacak güvenlik önlemlerinin projelendirme aşamasında alınması ile ilgili yasal düzenlemeler yapılmalıdır.

Fay Hattına Yakın Bölgelerde Yapı Tasarımı'nda dikkat edilmesi gereken bir hususta deprem yönü etkisidir. Depremler sırasında oluşan yatay ivmeler, depremlerde yıkıcı etkiyi oluştururlar. Yatay ivmeler deprem yönünde daha büyüktür. Depremin yönü ise depremi oluşturan fay kırığının doğrultusundadır. Doğrultu atımlı fayların deprem yönü etkisi olduğu gibi eğim atımlı faylarında az da olsa deprem yönü etkisi mevcuttur. Çünkü eğim atımlı faylarda, atım yönü olarak hakim olan eğim bileşeni yanında doğrultu bileşenide olmaktadır. Fay doğrultusuna dik yöndeki deprem ivmelerinin değerleri daha küçüktür ve faydan uzaklaştıkça hızla azalır.

Ülkemizde ki 1977 ve 2006 yılları arasında meydana gelen büyük depremler incelendiğinde 06.06.2000 Çankırı-Çerkeş depremi haricinde ki depremlerde deprem yönündeki ivmelerin daha büyük olduğu görülmüştür.

Ülkemizde meydana gelmiş bazı depremlerin raporlarında, oluşan hasarların deprem yönünde daha fazla, depreme dik yönde ise daha az olduğu belirtilmiştir.

Depremler diri faylar üzerinde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla meydana gelecek bir depremin hangi yönde olacağı zaten bellidir. Yapıların projelendirilmesi esnasında deprem yönü etkisi dikkate alınmalıdır. Deprem yönü, mevcut imar planında ve yapının statik projesi üzerinde bir ok şeklinde gösterilmelidir. Bu şekilde projeyi hazırlayan ve kontrol eden kişilerin dikkati bu noktaya çekilmelidir.

Yeni yapılacak imar planlarının ise belirlenen deprem yönüne uygun olarak düzenlenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Celep, Z., Kumbasar, N., ‘‘Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı’’, Beta Dağıtım, İstanbul, 2000
2. Tuna, M. E., ‘‘Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı’’, Tuna Eğitim ve Kültür Vakfı, Ankara, 2000
3. Mertol, A., Mertol, H. C., ‘‘Deprem Mühendisliği Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı’’, Kozan Ofset, Ankara, 2002
4. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, <http://www.deprem.gov.tr/deprem.htm>
5. Atabey, E., ‘‘Deprem’’, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınlarından, Eğitim Serisi No:34, Ankara, 2000
6. Tabban, A., ‘‘Kentlerin Jeolojisi ve Deprem Durumu’’, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No:56, Ankara, 2000
7. Erguvanlı, K., ‘‘Mühendislik Jeolojisi’’, Seç Yayın Dağıtım, İstanbul, 1995
8. Demirtaş, R., Erkmen, C., ‘‘Deprem ve Jeoloji’’, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No:52, Ankara, 2000
9. Ünsal, N., ‘‘İnşaat Mühendisleri İçin Jeoloji’’, Demircioğlu Matbacılık, Ankara, 2001
10. Demirtaş, R., Yılmaz, R., ‘‘Türkiye’nin Sismotekniği’’, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, <http://angora.deprem.gov.tr/rapor.htm>
11. Kramer, S. L., ‘‘Geoteknik Deprem Mühendisliği’’, Gazi Kitabevi, Ankara, 2003

12. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
Ulusal Deprem İzleme Merkezi, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/default.htm>
13. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü,
<http://www.koeri.boun.edu.tr/bilgi/buyukluk.htm>
14. Gencoğlu, S., “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, Erzincan ve Dinar Deneyimleri Işığında Türkiye’nin Deprem Sorunlarına Çözüm Arayışları”, TÜBİTAK Deprem Sempozyumu, 15-16 Şubat 1996, Ankara
15. Özmen, B., Nurlu, M., Güler, H., “Coğrafi Bilgi Sistemi İle Deprem Bölgelerinin İncelenmesi”, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ağustos, 1997 ANKARA
16. Gülkan, P., Koçyiğit, A., Yücemem, S., Doyuran, V., ve Basöz, N., “En Son Verilere Göre Hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası”, ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Rapor No, 93-01, Ocak 1993
17. Çeken, U., “Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt Şebekesi ve 12 Kasım Düzce Depremi’nin İvmesi”, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, 2000
18. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Programı
<http://angora.deprem.gov.tr/depreminivme.htm>
19. Atımtay, E., “Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Betonarme Yapılar)”, Bizim Büro Basımevi Yayın Dağıtım, Ankara, 2000
20. Erdik, M., Durukal, E., Siyahi, B., Fahjan, Y., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M., Akman, H., “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Deprem Yer Hareketinin

Belirlenmesi'', Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul

21. Erdik, M., Demircioğlu, M. B., K.Şeşetyan, E. Durukal, Siyahi, B., "Earthquake Hazard in Marmara Region" EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 2003
22. Arıoğlu, E., Arıoğlu, B.M., Girgin, C., "Doğu Marmara depreminin yer ivme değerleri açısından değerlendirilmesi'', Beton Prefabrikasyon Dergisi, Ocak-Nisan 2001
23. Deniz, A., "Estimation of Earthquake Insurance Premium Rates for Turkey'', M.Sc. Thesis, Dept. Of Civil Engineering, METU (continuing), 2005
24. Deniz, A., Yüçemen, M. S., "Antalya Yöresi İçin Deprem Tehlikesinin Stokastik Yöntemlerle Tahmini'', Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt 1, s 540-551, Antalya, 2005
25. Özmen, B., "Kastamonu İlinin Depremselliği ve Deprem Tehlikesi'', 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı 7-10 Mayıs, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, 2001
26. Erdik, M., Eren, K., "Attenuation of intensities for earthquakes associated with the North Anatolian Fault'', 1983
27. İnan, E., Sözlü görüşme, 1998
28. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Laboratuvarlar Şube Müdürlüğü,
http://www.deprem.gov.tr/lab_html/mikrobolgelemefrtr.htm
29. Demirtaş, R., "Diri Faylar Etrafında Tampon Bölge (Emniyetli Kuşak) Oluşturma Esasları-Fay Yasası'', Rapor No:008
<http://sismo.deprem.gov.tr/DEPREM/DEPREMRAPORLARI/rapor.php>

30. Nejat Bayülke, “13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu”, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, Haziran, 1993
31. İnan, E., Güler, H., Çoruh, E., “Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları”, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, Haziran, 1993
32. Demirtaş, R., “17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu”, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, 2000
33. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremin İvme Kaydı
<http://angora.deprem.gov.tr/kocaeli.htm>
34. Sömer, A., “17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Yer Hareketi Doğrultusunun Özellikleri İle Adapazarı Minarelerindeki Yapısal Hasar Arasındaki İlişkiler”, 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Raporu, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, 2000
35. Özmen, B., Bağcı, G., “12 Kasım 1999 Düzce Depremi Raporu”, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, 2000
36. 12 Kasım 1999 Düzce Depremin İvme Kaydı
<http://angora.deprem.gov.tr/duzce.htm>
37. Demirtaş, R., İravul, Y., Yaman, M., “03 Şubat 2002 Eber ve Çay Depremleri”, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı
38. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
http://www.mam.gov.tr/enstituler/ymbe/odak_cozumleri.zip

39. Çağatay, İ. H., Güzeldağ, S., ‘‘Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY-98) SAP2000N Uygulamaları’’, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002
40. Özmen, G., Orakdöğen, E., Darılmaz, K., ‘‘Örneklerle SAP2000-V8’’, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004

EK-1. Deprem Araştırma Dairesi, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi İvme

Kayıtları

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE

PLACE :Sakarya Bay. ve Isk. Mudurlugu

RECORDER TYPE :GSR16 (GeoSys)

RECORDER SERIAL NO :246

COORDINATES :40.737N - 30.384E

NATURAL FREQUENCY(Hz) :

CRITICAL DAMPING :

TRIGGER DATE :17/08/1999 00:01:51 (GMT)

PRE-EVENT TIME(sec) : 30

TIME SYNC STATUS :OK

DIRECTIONS :+L NORTH +T EAST +V UP

NO. OF DATA : 38881

SAMPLE INTERVAL : .01000000

MAX. VALUES(mG) :(L) .2140 (T) 407.0440 (V) 259.0030

EQ DATE :17/08/1999 00:01:37 (GMT)

EQ EPICENTER COORD. :40.76N - 29.97E

EQ MAGNITUDE : 7.4 Mw

EQ DEPTH(km) : 18.0

Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT

GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

EK-2. Deprem Araştırma Dairesi, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi İvme

Kayıtları

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKiYE

PLACE :Bolu Bay. ve Isk. Mudurlugu

RECORDER TYPE :GSR18 (GeoSys)

RECORDER SERIAL NO :682

COORDINATES :40.747N - 31.610E

NATURAL FREQUENCY(Hz) :

CRITICAL DAMPING :

TRIGGER DATE :12/11/1999 16:57:22 (GMT)

PRE-EVENT TIME(sec) : 5

TIME SYNC STATUS :OK

DIRECTIONS :+L NORTH +T EAST +V UP

NO. OF DATA : 5590

SAMPLE INTERVAL : .01000000

MAX. VALUES(mG) :(L) 739.5120 (T) 805.8780 (V) 200.1300

EQ DATE :12/11/1999 16:57:20 (GMT)

EQ EPICENTER COORD. :40.74N - 31.21E

EQ MAGNITUDE : 7.2 Mw

EQ DEPTH(km) : 25.0

Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT

GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

EK-3. Deprem Araştırma Dairesi, 27 Ocak 2003 Pülümür Depremi İvme

Kayıtları

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE

PLACE :ELAZIG BAYINDIRLIK MUD

RECORDER TYPE :SM-2 (SIG)

RECORDER SERIAL NO :00280

COORDINATES :38.672N - 39.193E

NATURAL FREQUENCY(Hz) :

CRITICAL DAMPING :

TRIGGER DATE :27/01/2003 05:26:30.58 (GMT)

PRE-EVENT TIME(sec) : 20

TIME SYNC STATUS :NO

DIRECTIONS :+L NORTH +T EAST +V UP

NO. OF DATA : 13813

SAMPLE INTERVAL : 0.00781250

MAX. VALUES(mG) :(L) 9.5000 (T) 11.0000 (V) 6.5000

EQ DATE :27/01/2003 05:26:22.0 (GMT)

EQ EPICENTER COORD. :39.456N - 39.773E

EQ MAGNITUDE : 6.2 Md

EQ DEPTH(km) : 10.0

Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT

GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

EK-4. Deprem Araştırma Dairesi, 01 Mayıs 2003 Bingöl Depremi İvme

Kayıtları

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKiYE
PLACE :BINGOL BINGOL BAY. VE ISKAN MUD.GU
RECORDER TYPE :GSR16 (GeoSys)
RECORDER SERIAL NO :02299
COORDINATES :38.897N - 40.503E
NATURAL FREQUENCY(Hz) :
CRITICAL DAMPING :
TRIGGER DATE :01/05/2003 00:27:08.12 (GMT)
PRE-EVENT TIME(sec) : 20
TIME SYNC STATUS :OK
DIRECTIONS :+L NORTH +T EAST +V UP
NO. OF DATA : 6474
SAMPLE INTERVAL : .01000000
MAX. VALUES(mG) :(L) 545.5326 (T) 276.8251 (V) 472.2599
EQ DATE :2003.05.01 00:27:04
EQ EPICENTER COORD. :38.94N - 40.51E
EQ MAGNITUDE :6.1Md
EQ DEPTH(km) :6.0KM
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

EK-5. Deprem Araştırma Dairesi, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi İvme

Kayıtları

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE :ERZINCAN METEOROLOJI MUDURLUGU
COORDINATES :39.752N- 39.487E
DATE :13/03/1992 17:18:39 (GMT)
DIRECTION :+L WEST
NO. OF DATA : 5592
SAMPLE INTERVAL : .005000
MAX. VALUE(mG) : 470.915200
EQ EPICENTER COORD. :39.72N - 39.63E
EQ MAGNITUDE : 6.10 ML
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE :ERZINCAN METEOROLOJI MUDURLUGU
COORDINATES :39.752N- 39.487E
DATE :13/03/1992 17:18:39 (GMT)
DIRECTION :+T SOUTH
NO. OF DATA : 5585
SAMPLE INTERVAL : .005000
MAX. VALUE(mG) : 404.971000
EQ EPICENTER COORD. :39.72N - 39.63E
EQ MAGNITUDE : 6.10 ML
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE :ERZINCAN METEOROLOJI MUDURLUGU
COORDINATES :39.752N- 39.487E
DATE :13/03/1992 17:18:39 (GMT)
DIRECTION :+V UP
NO. OF DATA : 5590
SAMPLE INTERVAL : .005000
MAX. VALUE(mG) : 238.551300
EQ EPICENTER COORD. :39.72N - 39.63E
EQ MAGNITUDE : 6.10 ML
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

EK-6. Deprem Araştırma Dairesi, 30 Eylül 1983 Erzurum Depremi İvme

Kayıtları

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE :HORASAN METEOROLOJI MUDURLUGU
COORDINATES :40.040N- 42.170E
DATE :30/10/1983 04:12:28 (GMT)
DIRECTION :+L EAST
NO. OF DATA : 6275
SAMPLE INTERVAL : .005000
MAX. VALUE(mG) : 173.295700
EQ EPICENTER COORD. :40.35N - 42.18E
EQ MAGNITUDE : 6.00 ML
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE :HORASAN METEOROLOJI MUDURLUGU
COORDINATES :40.040N- 42.170E
DATE :30/10/1983 04:12:28 (GMT)
DIRECTION :+T NORTH
NO. OF DATA : 6276
SAMPLE INTERVAL : .005000
MAX. VALUE(mG) : 150.264200
EQ EPICENTER COORD. :40.35N - 42.18E
EQ MAGNITUDE : 6.00 ML
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE :HORASAN METEOROLOJI MUDURLUGU
COORDINATES :40.040N- 42.170E
DATE :30/10/1983 04:12:28 (GMT)
DIRECTION :+V UP
NO. OF DATA : 6276
SAMPLE INTERVAL : .005000
MAX. VALUE(mG) : 87.924990
EQ EPICENTER COORD. :40.35N - 42.18E
EQ MAGNITUDE : 6.00 ML
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

EK-7. Deprem Araştırma Dairesi, 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi

İvme Kayıtları

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE :CEYHAN TARIM ILCE MUDURLUGU
COORDINATES :37.050N- 35.810E
DATE :27/06/1998 13:55:53 (GMT)
DIRECTION :+L SOUTH
NO. OF DATA : 5843
SAMPLE INTERVAL : .005000
MAX. VALUE(mG) : 223.276600
EQ EPICENTER COORD. :36.85N - 35.55E
EQ MAGNITUDE : 5.90 ML
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE :CEYHAN TARIM ILCE MUDURLUGU
COORDINATES :37.050N- 35.810E
DATE :27/06/1998 13:55:53 (GMT)
DIRECTION :+T EAST
NO. OF DATA : 5840
SAMPLE INTERVAL : .005000
MAX. VALUE(mG) : 273.552300
EQ EPICENTER COORD. :36.85N - 35.55E
EQ MAGNITUDE : 5.90 ML
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE :CEYHAN TARIM ILCE MUDURLUGU
COORDINATES :37.050N- 35.810E
DATE :27/06/1998 13:55:53 (GMT)
DIRECTION :+V UP
NO. OF DATA : 5843
SAMPLE INTERVAL : .005000
MAX. VALUE(mG) : 86.474590
EQ EPICENTER COORD. :36.85N - 35.55E
EQ MAGNITUDE : 5.90 ML
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

EK-8. Deprem Araştırma Dairesi, 06 Haziran 2000 ankırı-erkeş Depremi

İvme Kayıtları

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKiYE

PLACE :erkes Meteoroloji Mudurlugu

RECORDER TYPE :GSR18 (GeoSys)

RECORDER SERIAL NO :684

COORDINATES :40.814N - 32.883E

NATURAL FREQUENCY(Hz) :

CRITICAL DAMPING :

TRIGGER DATE :06/06/2000 02:41:40 (GMT)

PRE-EVENT TIME(sec) : 15

TIME SYNC STATUS :OK

DIRECTIONS :+L NORTH +T EAST +V UP

NO. OF DATA : 10318

SAMPLE INTERVAL : .00800000

MAX. VALUES(mG) :(L) 62.4570 (T) 63.1620 (V) 40.2520

EQ DATE :06/06/2000 02:41:51.1 (GMT)

EQ EPICENTER COORD. :40.720N - 32.870E

EQ MAGNITUDE : 5.9 Md

EQ DEPTH(km) : 10.0

Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT

GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

EK-9. Deprem Araştırma Dairesi, 01 Eylöl 1995 Dinar Depremi İvme Kayıtları

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE :DINAR METEOROLOJI MUDURLUGU
COORDINATES :38.060N- 30.155E
DATE :01/10/1995 15:57:13 (GMT)
DIRECTION :+L SOUTH
NO. OF DATA : 5599
SAMPLE INTERVAL : .005000
MAX. VALUE(mG) : 281.628200
EQ EPICENTER COORD. :38.11N - 30.05E
EQ MAGNITUDE : 6.00 ML
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE :DINAR METEOROLOJI MUDURLUGU
COORDINATES :38.060N- 30.155E
DATE :01/10/1995 15:57:13 (GMT)
DIRECTION :+T EAST
NO. OF DATA : 5593
SAMPLE INTERVAL : .005000
MAX. VALUE(mG) : 329.723500
EQ EPICENTER COORD. :38.11N - 30.05E
EQ MAGNITUDE : 6.00 ML
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE :DINAR METEOROLOJI MUDURLUGU
COORDINATES :38.060N- 30.155E
DATE :01/10/1995 15:57:13 (GMT)
DIRECTION :+V UP
NO. OF DATA : 5595
SAMPLE INTERVAL : .005000
MAX. VALUE(mG) : 150.678100
EQ EPICENTER COORD. :38.11N - 30.05E
EQ MAGNITUDE : 6.00 ML
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

EK-10. Deprem Araştırma Dairesi, 03 Şubat 2002 Afyon-Eber Depremi İvme

Kayıtları

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKiYE

PLACE :AFYON BAYINDIRLIK VE ISK

RECORDER TYPE :SM-2 (SIG)

RECORDER SERIAL NO :00284

COORDINATES :38.792N - 30.561E

NATURAL FREQUENCY(Hz) :

CRITICAL DAMPING :

TRIGGER DATE :03/02/2002 07:10:23.9

PRE-EVENT TIME(sec) : 20

TIME SYNC STATUS :NO

DIRECTIONS :+L NORTH +T EAST +V UP

NO. OF DATA : 18383

SAMPLE INTERVAL : 0.00781250

MAX. VALUES(mG) :(L) 113.5000 (T) 94.0000 (V) 35.5000

EQ DATE :03/02/2002 07:11:29 (GMT)

EQ EPICENTER COORD. :38.5733N - 31.2715E

EQ MAGNITUDE : 6.0Md

EQ DEPTH(km) : 5.0Km

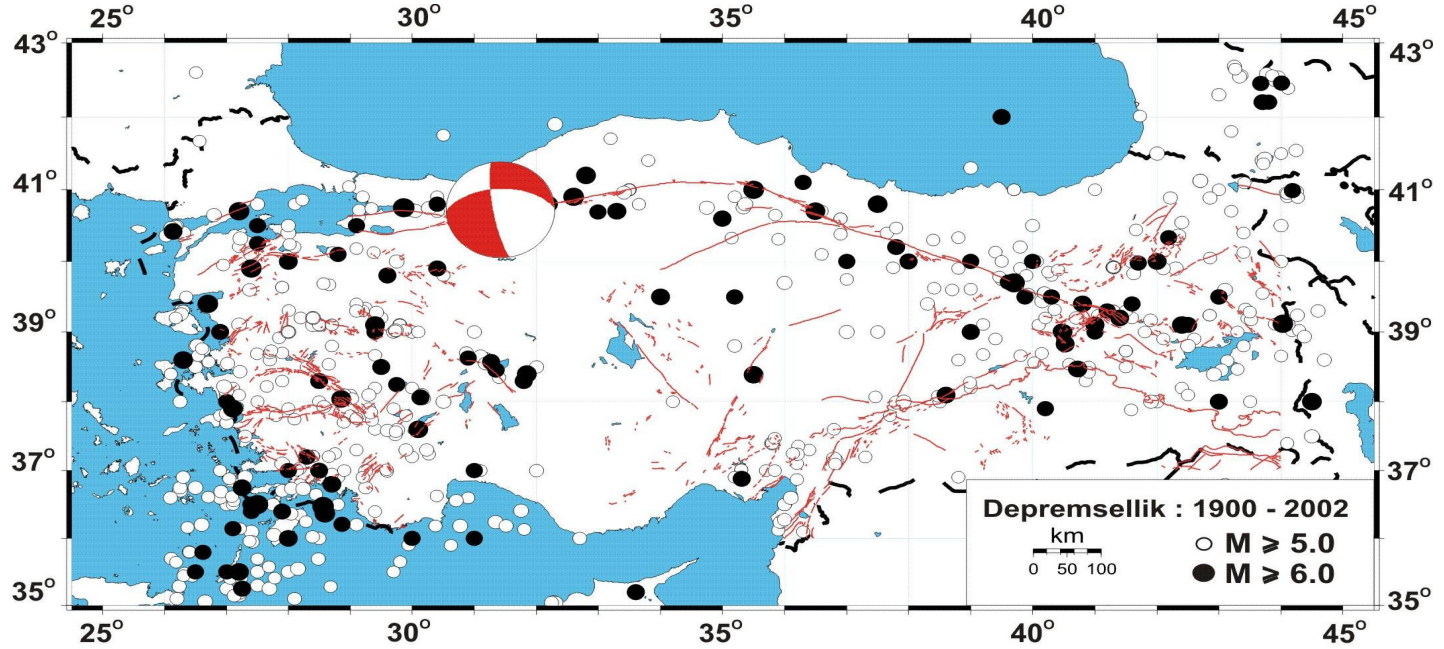
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT

GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

EK-11. Deprem Araştırma Dairesi, 20 Eylöl 2005 İzmir Depremi İvme Kayıtları

STRONG GROUND MOTION RECORDS OF TURKIYE
PLACE :BORNOVA ZIRAAT FAKULTESI DEKANLIGI
RECORDER TYPE :GSR16 (GeoSys)
RECORDER SERIAL NO :237
COORDINATES :38.455N - 27.229E
NATURAL FREQUENCY(Hz) :
CRITICAL DAMPING :
TRIGGER DATE :20/10/2005 21:40:14.78 (GMT)
PRE-EVENT TIME(sec) : 20
TIME SYNC STATUS :OK
DIRECTIONS :N-S E-W U-D
NO. OF DATA : 6877
SAMPLE INTERVAL : .01000000
MAX. VALUES(mG) :(N-S) 23.6511 (E-W) 31.9214 (U-D) 14.0686
EQ DATE :2005/10/20 21:40:02.27
EQ EPICENTER COORD. :38.15N - 26.67E
EQ MAGNITUDE :5.9 Md
EQ DEPTH(km) :3.7 km
Copyright EARTHQUAKE RESEARCH DEPARTMENT
GENERAL DIRECTORATE OF DISASTER AFFAIRS

EK-12. 12 Kasım 1999 Düzce Depreminin Odak Mekanizması Çözümü

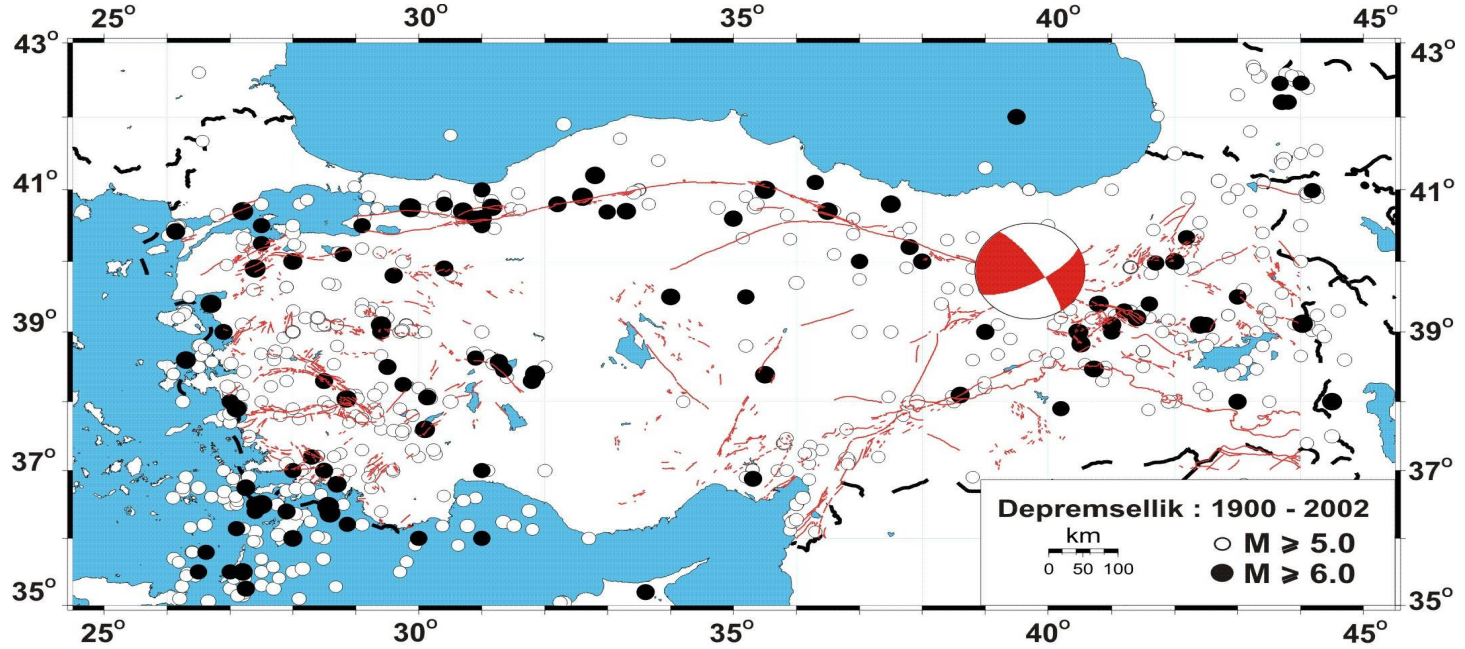


Tarih	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik	M _w	M _o
19991112	16:57:27	40.93	31.25	18.0	7.2	6.7e+19

Düğüm Düzlemi 1			Düğüm Düzlemi 2		
Doğrultu	Eğim	Kayma yönü	Doğrultu	Eğim	Kayma yönü
268	54	-167	170	80	-36

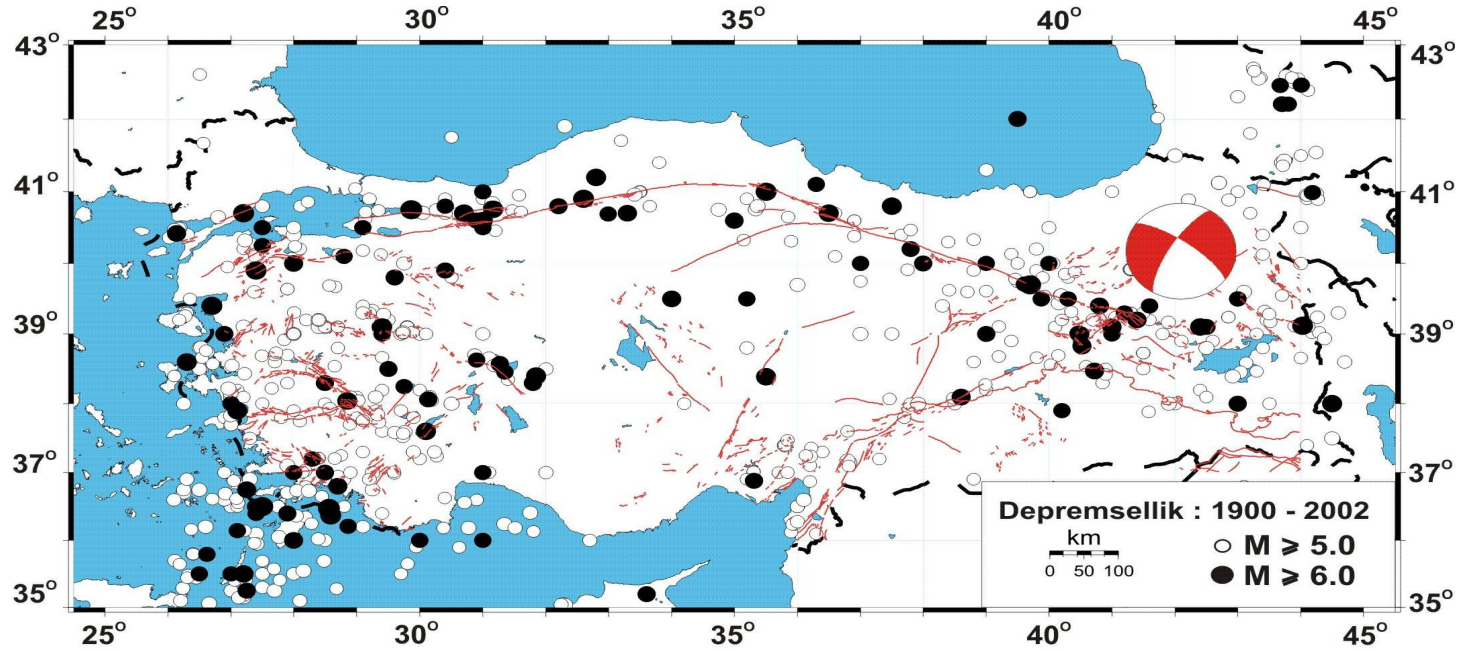
EK-13. 13 Mart 1992 Erzincan Depreminin Odak Mekanizması Çözümü

155



Tarih	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik	Mw	Mo
19920313	17:18:46	39.94	39.57	15.0	6.7	1.2e+19
Düğüm Düzlemi 1			Düğüm Düzlemi 2			
Doğrultu	Eğim	Kayma yönü	Doğrultu	Eğim	Kayma yönü	
213	85	4	123	86	175	

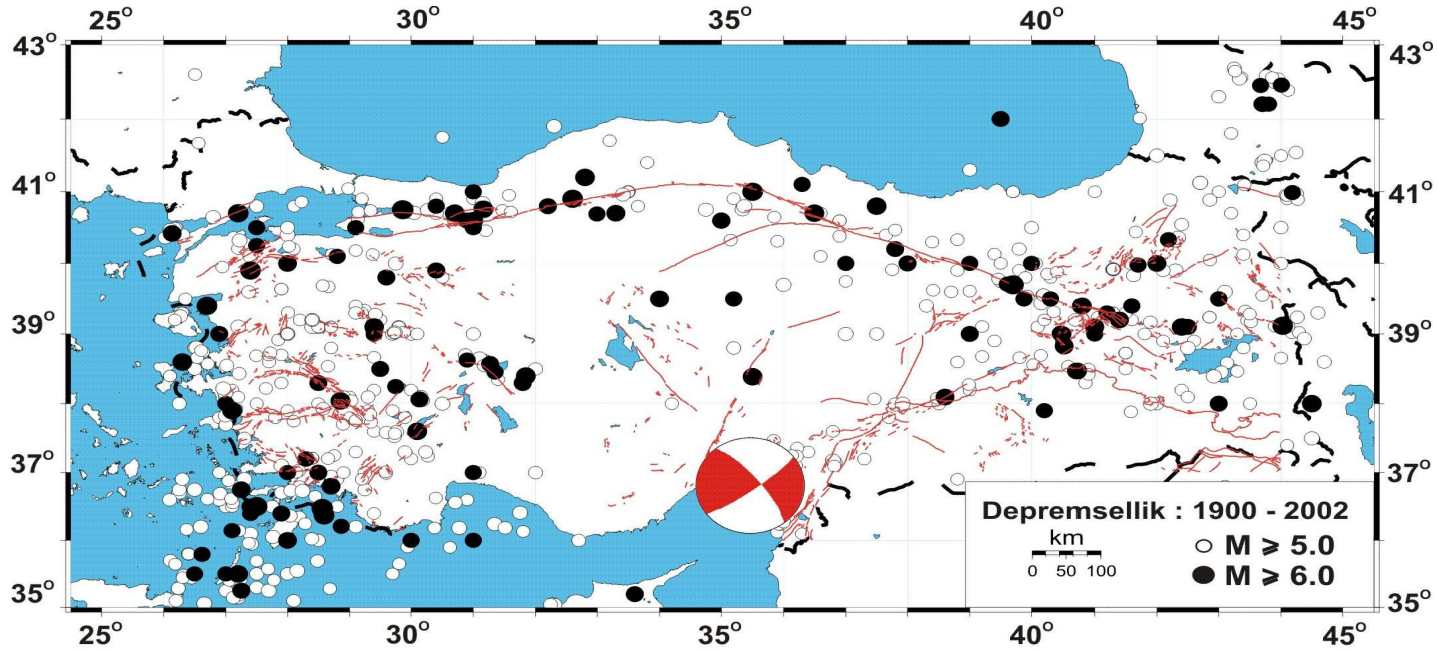
EK-14. 30 Ekim 1983 Erzurum Depreminin Odak Mekanizması Çözümü



Tarih	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik	Mw	Mo
19831030	04:12:37	40.47	42.05	11.6	6.6	0.9e+19

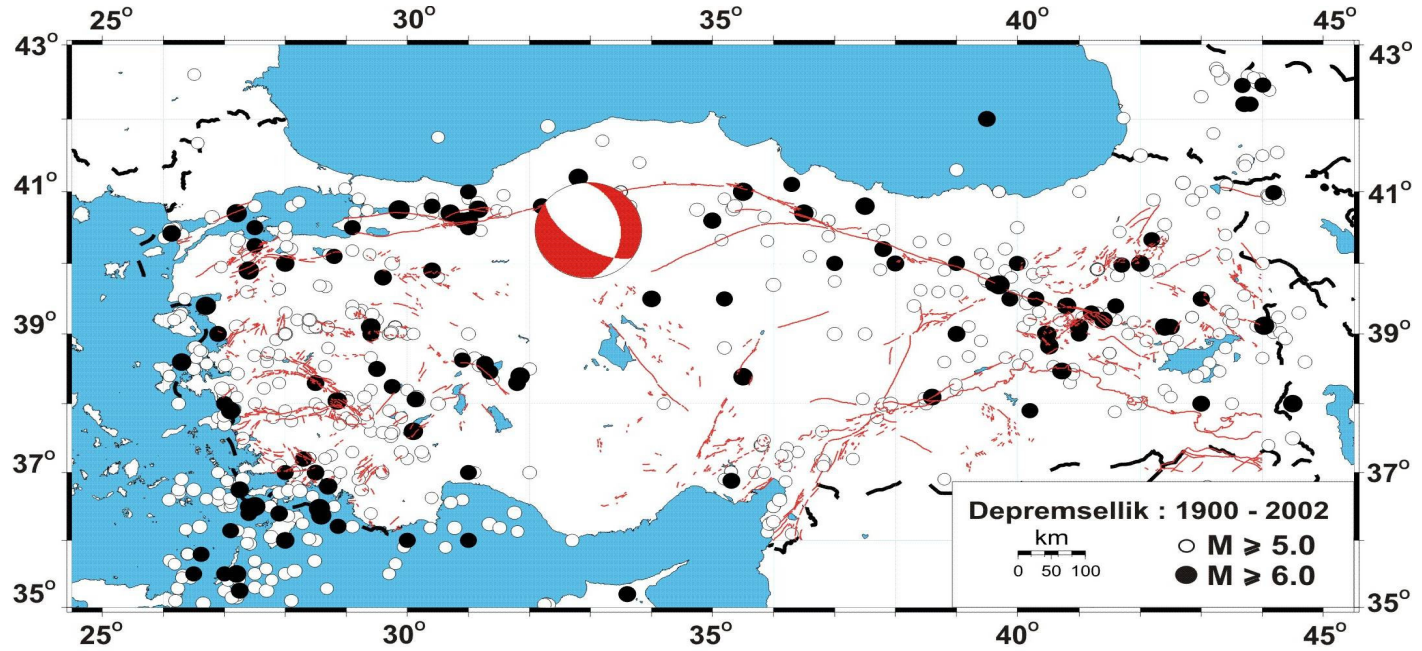
Düğüm Düzlemi 1			Düğüm Düzlemi 2		
Doğrultu	Eğim	Kayma yönü	Doğrultu	Eğim	Kayma yönü
211	73	-17	306	74	-162

EK-15. 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depreminin Odak Mekanizması Çözümü



Tarih	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik	Mw	Mo
19980627	13:55:59	36.87	35.58	29.5	6.3	3.0e+18
Düğüm Düzlemi 1			Düğüm Düzlemi 2			
Doğrultu	Eğim	Kayma yönü	Doğrultu	Eğim	Kayma yönü	
321	75	171	53	81	15	

EK-16. 06 Haziran 2000 Çankırı-Çerkeş Depreminin Odak Mekanizması Çözümü

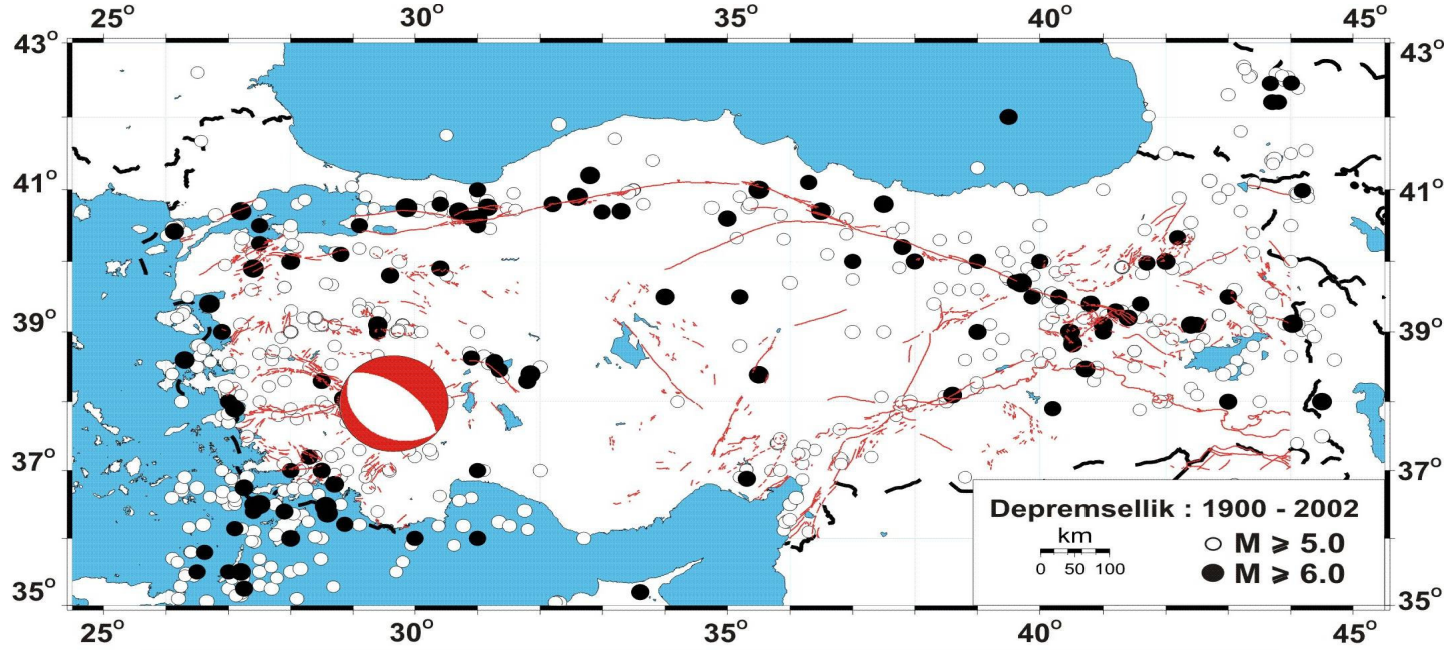


Tarih	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik	Mw	Mo
20000606	02:41:52	40.75	32.70	15.0	6.0	1.1e+18

Düğüm Düzlemi 1			Düğüm Düzlemi 2		
Doğrultu	Eğim	Kayma yönü	Doğrultu	Eğim	Kayma yönü
356	39	-47	126	62	-119

EK-17. 01 Ekim 1995 Dinar Depreminin Odak Mekanizması Çözümü

159

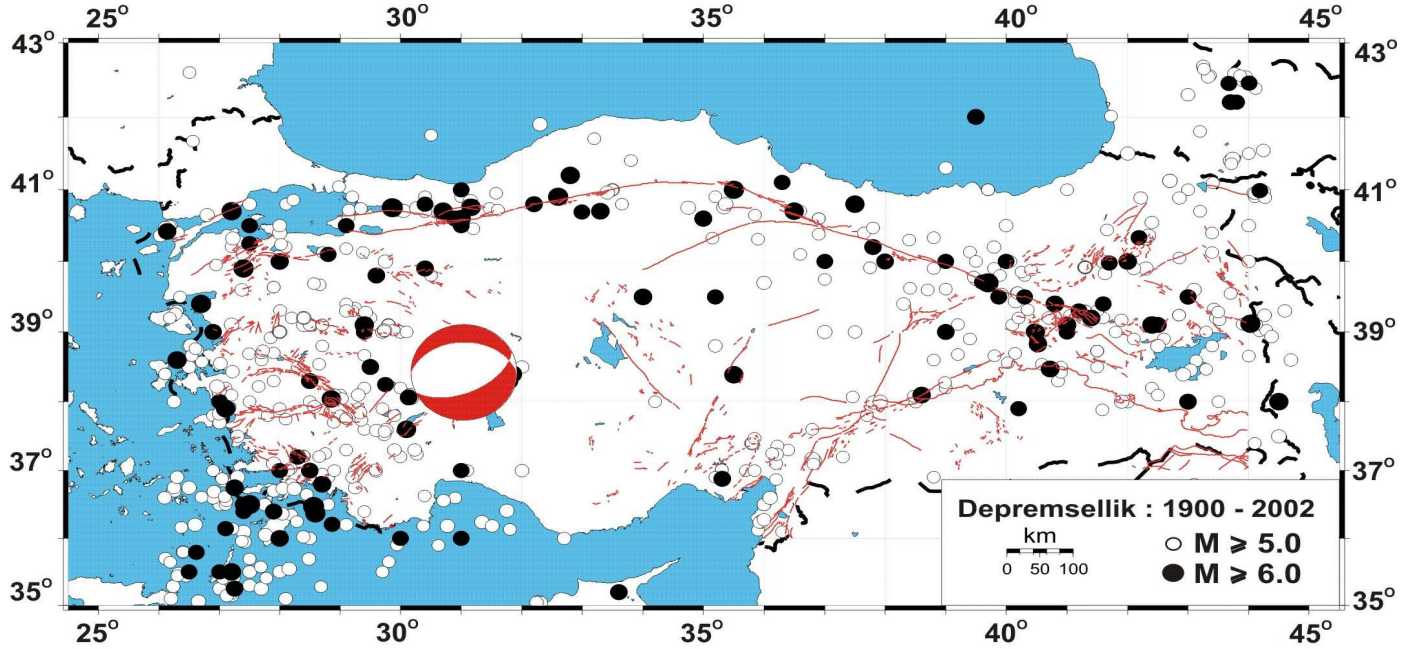


Tarih	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik	Mw	Mo
19951001	15:57:23	38.06	29.68	15.0	6.4	4.7e+18

Düğüm Düzlemi 1		
Doğrultu	Eğim	Kayma yönü
125	30	-94

Düğüm Düzlemi 2		
Doğrultu	Eğim	Kayma yönü
310	60	-88

EK-18. 03 Şubat 2002 Afyon-Eber Depreminin Odak Mekanizması Çözümü



Tarih	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Derinlik	Mw	Mo
20020203	07:11:43	38.62	31.21	15.0	6.5	6.0e+18

Düğüm Düzlemi 1			Düğüm Düzlemi 2		
Doğrultu	Eğim	Kayma yönü	Doğrultu	Eğim	Kayma yönü
269	37	-71	66	55	-104