

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARİFİYE ÜSTGEÇİT KÖPRÜSÜNÜN  
MARMARA DEPREMİ ÖNCESİ  
DİNAMİK ANALİZLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş.Müh. Serhat KAYA**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**  
**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR**

**Mayıs 2007**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARİFİYE ÜSTGEÇİT KÖPRÜSÜNÜN  
MARMARA DEPREMİ ÖNCESİ  
DİNAMİK ANALİZLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş.Müh. Serhat KAYA**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**

**Bu tez 21 / 06 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Prof.Dr. Muzaffer ELMAS  
Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR  
Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK  
Üye**

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde yıkılan Arifiye üstgeçit köprüsünün, deprem öncesi dinamik analizleri yapılmış ve yıkılma nedenleri araştırılmıştır. Köprü modeli SAP 2000 paket programında kurularak doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yapılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince çok değerli bilgileri, görüşleri ve tecrübelerinden faydalandığım, tezimin konusunun belirlenmesinde ve kurgusunun oluşturulmasında yönlendiriciliği ile beni destekleyen , lisansüstü eğitimim boyunca bana sabır gösteren ve hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca akademik görüşleri ve yüksek bilgilerinden faydalandığım Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri ve Araştırma Görevlilerine teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan, arkadaşlıklarıyla bana destek veren Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Sayın Çağlar KOTAOĞLU'na, İnş. Müh. Hüseyin AKYILDIZ'a ve Tahsin ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi destekleri, gösterdikleri hoşgörü ve anlayış için çok değerli aileme minnet ve şükranlarımı sunarım.

Serhat KAYA

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
BÖLÜM 2.	
17 AĞUSTOS 1999 MARMARA DEPREMİ.....	4
2.1. Deprem.....	7
2.2. Deprem Oluş Nedenleri ve Türleri.....	8
2.2.1. Faylar.....	9
2.2.2. Deprem dalgaları.....	10
2.2.3. Deprem büyüklüğü ve şiddeti.....	11
2.3. Deprem Türleri.....	11
2.3.1. Derinliklerine göre deprem sınıflaması.....	11
2.3.2. Uzaklıklarına göre deprem sınıflaması.....	12
2.3.3. Büyüklüklerine göre deprem sınıflaması.....	12
2.3.4. Kökenlerine göre deprem sınıflaması.....	13
2.4. Türkiye'nin Depremselliği.....	14
2.5. Kuzey Anadolu Fay Hattı.....	16

2.6. Türkiye’deki Depremlerde Meydana Gelen Hasarların Nedenleri.	25
2.7. 17 Ağustos 1999 Marmara Depreminin Sismik Özellikleri.....	26
2.8. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi.....	26
2.9. Kuvvetli Yer Hareketi Özellikleri.....	34
2.9.1. 17 Ağustos 1999 marmara depremi kuvvetli yer hareketleri	34
2.10. Adapazarı’nın Genel Yapısı.....	45
2.10.1. Ülke ve bölge içindeki konumu.....	48
2.10.2. Doğal yapı.....	49
2.10.3. Nüfus.....	50
2.10.4. Ekonomik yapı.....	52
BÖLÜM 3.	
YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ.....	54
3.1.Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışının Nedenleri.....	54
3.2. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Teoriye Göre Hesabı.....	54
3.3. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Teoriye Göre Analizinde Plastik Mafsallık (Plastik Kesit) Hipotezi.....	56
3.4. Yapı Sistemlerinin Kapasitesini Belirlemede Doğrusal Olmayan Statik Artımsal İtme Analizi (Pushover Analizi) Yöntemi.....	62
BÖLÜM 4.	
17 AĞUSTOS 1999 MARMARA DEPREMİNDE HASAR GÖREN ARIFIYE ÜSTGEÇİT KÖPRÜSÜ.....	64
4.1. Köprülerde Depremden Dolayı Gözlenen Hasar Türleri.....	65
4.2. Arifiye Üstgeçit Köprüsü.....	66
BÖLÜM 5.	
SAYISAL UYGULAMALAR.....	77
5.1.Deprem Öncesi Köprünün Pushover ve Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi.....	77
5.2 Köprünün Performans Noktasının Belirlenmesi .....	80

5.3 Deprem Öncesi Köprünün Doğrusal Olmayan Statik Artımsal İtme Analizi İle Bulunan Kapasitelerine Bağlı Performans Seviyesinin Belirlenmesi.....	81
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	84
KAYNAKLAR .....	86
ÖZGEÇMİŞ.....	88

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: Modal İvme
BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
CG	: Can Güvenliği
d	: Modal Yerdeğiştirme
E	: Elastisite Modülü
EPA	: Etkili yer ivmesi
FD	: Faya olan en kısa mesafe
HK	: Hemen Kullanım
I	: Atalet Momenti
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
KAF	: Kuzey Anadolu Fay Hattı
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
MN	: Minimum Hasar Sınırı
PGV	: Maksimum yer hızı
PGA	: Maksimum yer ivmesi
R	: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
TEM	: Trans European Motorway
u	: Yer Değiştirme
Z	: Deprem Bölge Katsayısı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Yer kabuğu hareketinin şematik anlatımı.....	8
Şekil 2.2.	Deprem kuşakları.....	9
Şekil 2.3.	Fay türleri.....	10
Şekil 2.4	Anadolu levhasının batıya kayışının mekanizması.....	18
Şekil 2.5.	Türkiye'nin neo-tektonik haritası, aktif faylar ve levha hareketleri.....	18
Şekil 2.6.	Türkiye deprem bölgeleri haritası.....	20
Şekil 2.7.	Türkiye'nin sismo teknik haritası (1900-1999 $M \geq 4.0$ ),.....	22
Şekil 2.8.	Marmara Bölgesi Depremleri (1900-1999 $M \geq 4.0$ ),.....	22
Şekil 2.9.	KAF hattı.....	24
Şekil 2.10.	İzmit Körfezinin doğu ucunda fayın boş arazideki izi.....	29
Şekil 2.11.	Kullar civarında Kavaklıktan geçen fayın yer değiştiren ağaç sıralarından ölçülen atımı yaklaşık 2.5 metredir.....	29
Şekil 2.12.	Gölcük Deniz Üssü'nün batı duvarı fay tarafından iki bölümde kesilmiştir.....	30
Şekil 2.13.	Gölcük Deniz Üssü'nün batı duvarı fay tarafından iki bölümde kesilmiştir.....	30
Şekil 2.14.	Fay kırığı Gölcük Deniz Üssünde bir binayı yırtarak geçiyor.....	31
Şekil 2.15.	Fay kırığı Gölcük Deniz Üssünden çıkarak Yüzbaşılar Mahallesinde yoğun yerleşim bölgesine giriyor.....	31
Şekil 2.16.	Fayın İzmit Körfezi doğu ucunda denize girdiği bölge.....	32



Şekil 2.17.	Fayın izi üzerine rastlayan kavak sırası.....	32
Şekil 2.18.	Arifiye'de fay kırığının ve atımının demir yolunda yaptığı deformasyon.....	33
Şekil 2.19.	Yer hareketi istasyonları.....	36
Şekil 2.20	17.08.1999 Marmara depremi İzmit istasyonu yer hareketi ivme kaydı.....	41
Şekil 2.21.	17.08.1999 Marmara depremi Sakarya istasyonu yer hareketi ivme kaydı.....	41
Şekil 2.22.	Marmara depreminde maksimum ivme,etkili ivme ve maksimum hızın uzaklık ile azalım ilişkileri.....	42
Şekil 2.23	Marmara depreminde kırılan faya yakın istasyonların Kuzey-Güney ivme spektrumlarının 1.deprem bölgesi tasarım spektrumu ile karşılaştırılması.....	43
Şekil 2.24.	Marmara depreminde kırılan faya yakın istasyonların Doğu-Batı enerji spektrumlarının karşılaştırılması.....	44
Şekil 2.25.	Marmara depreminde kırılan faya yakın istasyonların Doğu-Batı süneklik spektrumlarının 1.deprem bölgesi azaltılmış tasarım spektrumu(R=4) ile karşılaştırılması.....	44
Şekil 2.26.	1999 Doğu Marmara Depremi sonrası Adapazarı kentinde yıkılan ve hasarlı duruma geçen binalar.....	45
Şekil 2.27.	Marmara Bölgesi'nden deprem sonrası kaldırılan enkaz miktarları	46
Şekil 2.28.	Deprem sonrası Adapazarı kentinde bir cadde ve eski hali.....	47
Şekil 2.29.	Sakarya ili'nin ülke içindeki yeri.....	48
Şekil 2.30.	Sakarya ilinin nüfus artışı.....	51
Şekil 2.31.	Sakarya'da ekonomik faaliyete göre istihdam edilen nüfus.....	52
Şekil 3.1.	Eğilme momenti – eğrilik diyagramı.....	57

Şekil 3.2.	İdealleştirilmiş bünye bağıntısı.....	58
Şekil 3.3.	Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler.....	59
Şekil 3.4.	Plastik mafsalsal boyu.....	61
Şekil 3.5.	Doğrusal olmayan statik analizden elde edilen tipik performans eğrisi.....	63
Şekil 4.1.	Depremde hasar gören bölgenin haritası.....	66
Şekil 4.2.	Depremde hasar gören 46 km'lik bölge.....	67
Şekil 4.3.	Arifiye Köprüsü'nün depremden sonraki fotoğrafı.....	67
Şekil 4.4.	TEM otoyolundaki kabarma ve çökmeler.....	68
Şekil 4.5.	Hasar gören sanat yapıları ve KAF Hattı.....	68
Şekil 4.6.	Sapanca Gölü çevresindeki hasar haritası.....	69
Şekil 4.7.	Arifiye üstgeçidine çarpan yolcu otobüsünün görüntüsü.....	69
Şekil 4.8.	Köprü en kesiti, perde duvarı.....	71
Şekil 4.9.	Arifiye üstgeçidi planı.....	71
Şekil 4.10.	Fay hareketi bağlı olarak yanal hareketler.....	72
Şekil 4.11.	Arifiye üstgeçidi boy kesit ve temel durumu.....	72
Şekil 4.12.	Arifiye üstgeçidi ayak detayları.....	73
Şekil 4.13.	Arifiye üstgeçidi kirişi en kesiti.....	74
Şekil 4.14.	1992 AASHTO öncesi, basit mesnetli köprülerde uygulanması gereken ayak oturma mesafesi kriterleri.....	74
Şekil 4.15.	Arifiye üstgeçidi fotoğrafları.....	75
Şekil 4.16.	Arifiye üstgeçidi fotoğrafları.....	75
Şekil 4.17.	Arifiye üstgeçidi deprem takozları ve elastomerleri.....	75
Şekil 4.18.	Arifiye üstgeçidi orta ayağı , hasar gören diğer bir köprü.....	76
Şekil 5.1.	Bilgisayar modellemesi genel görünümü.....	77
Şekil 5.2.	Deprem öncesi köprünün X doğrultusundaki Pushover eğrisi.....	78
Şekil 5.3.	Deprem öncesi köprünün Y doğrultusundaki Pushover eğrisi.....	78
Şekil 5.4.	Deprem öncesi köprünün X doğrultusundaki kapasite eğrisi.....	79
Şekil 5.5.	Deprem öncesi köprünün Y doğrultusundaki kapasite eğrisi.....	79
Şekil 5.6.	Deprem öncesi Köprünün X doğrultusundaki performans noktasının belirlenmesi.....	80
Şekil 5.7.	Deprem öncesi köprünün Y doğrultusundaki performans noktasının belirlenmesi.....	81

Şekil 5.8.	Deprem öncesi köprünün X doğrultusundaki plastik mafsalların yerleri.....	82
Şekil 5.9.	Deprem öncesi köprünün Y doğrultusundaki plastik mafsalların yerleri.....	82
Şekil 5.10.	Deprem öncesi köprünün X doğrultusundaki kesit hasar bölgeleri.....	83
Şekil 5.11	Deprem öncesi köprünün Y doğrultusundaki kesit hasar bölgeleri.....	83

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Depremden etkilenmiş illerin deprem bölgeleri haritasındaki yeri, yüzölçümü ve nüfus yoğunluğu.....	16
Tablo 2.2.	Depremden etkilenen illere ait nüfus, ölü ve yaralı durumu.....	16
Tablo 2.3.	İzmit-Adapazarı Bölgesinde Son Yüzyılda Meydana Gelen Büyük Deprem.....	21
Tablo 2.4.	17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Ana Şok Kayıtlarının Özellikleri.....	37
Tablo 2.5.	13 Eylül 1999 Marmara Depremi Artçı Şok Kayıtlarının Özellikleri.....	38
Tablo 2.6.	Sakarya ili nüfus dağılımı.....	50
Tablo 2.7.	Sakarya İli ve İlçeleri Nüfus Artışı (1997-2000).....	51

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi , Arifiye üstgeçit köprüsü, dinamik analiz, marmara depremi

Marmara Depreminde TEM Otoyolu ve üzerindeki sanat yapıları hasar görmüştür. Kuzey Anadolu Fay hattı, (KAF) TEM otoyoluna paralel bir hat üzerinde bulunmakta ve bazı bölgelerde otoyol ile kesişmektedir. Marmara depreminin etkisi sonucunda, TEM otoyolu üzerinde bulunan Arifiye Üstgeçit Köprüsü çökmüştür.

Bu tez çalışmasında; 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde yıkılan Arifiye üstgeçit köprüsünün, yapı modeli kurularak SAP2000 paket programı yardımıyla doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yapılmış, yıkılma nedenleri ve tasarım hataları araştırılmıştır.

# **DYNAMICS ANALYSIS OF THE ARIFIYE OVERPASS DURING THE AUGUST 1999 MARMARA EARTHQUAKE**

## **SUMMARY**

Key Words: Pushover Analysis, Arifiye Overpass, Dynamics Analysis, Marmara Earthquake.

During the Marmara Earthquake, most of the highway in the section of the Trans European Motorway (TEM) has been damaged. North Anatolian Fault was paralel to the Trans European Motorway and some parts of TEM was crossed by fault. Arifiye overpass subjected to Marmara Earthquake has been collapsed.

The finite element model of the Arifiye Overpass has been set by using of SAP2000 software package. The push over analysis of the finite element model has been carried out. The reason of the damage and the design fault have been investigated.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

17 Ağustos 1999 tarihinde saat 3:02'de, Kuzey Anadolu Fay Hattının Adapazarı, Kocaeli, Gölcük segmenti üzerinde, Richter ölçeğine göre  $M_s = 7,4$  manyitudünde ve yaklaşık 45-50 saniye süren bir deprem meydana gelmiştir. Deprem, Marmara Bölgesinin tamamı ile Kuzey Anadolu Fay Hattının doğu yönündeki uzantısında yer alan Düzce ve Bolu gibi şehirleri etkilemiştir. 17 Ağustos Marmara depreminin ülkemizde endüstrinin ve şehirleşmenin en yoğun olduğu Marmara Bölgesinde meydana gelmiş olması, can kaybının ve hasarın da çok büyük olmasına sebep olmuştur. 1967 Adapazarı Depreminden sonra bölgeyi etkileyen en büyük deprem olan 17 Ağustos 1999 depremi, İstanbul'un Avcılar, Küçükçekmece, Tuzla ilçeleri ile İzmit, Adapazarı, Gölcük, Yalova, Düzce ve Bolu şehirlerinde 20000 dolayında can kaybına ve maddi hasara yol açmıştır. İzmit Körfezinin iki tarafında ve İzmit-Adapazarı arasında yer alan sanayi tesislerinde çeşitli boyutlarda hasarlar meydana gelmiş, Tüpraş Rafinerisinde bir bacanın tanklardan birisi üzerine yıkılması nedeniyle başlayan yangın daha sonra yedi tankı etkilemiş ve güçlükle söndürülmüştür. Deprem nedeniyle bölgede bulunan kamuya ve özel sektöre ait endüstri tesislerinde yaklaşık bir hafta süre ile üretime ara verilmiştir. TEM otoyolunun Sapanca-Adapazarı arasındaki kesiminde meydana gelen oturmalar, çekme çatlakları ve Arifiye Üstgeçit Köprüsünde meydana gelen göçme nedeniyle Otoyol üç gün süreyle ulaşıma kapanmış, bu ise deprem bölgelerine ulaşılmasında önemli bir engel oluşturmuştur.

Afet durumlarında ulaşım akslarının kritik önemleri vardır. Afet sonrasında, afet etkisinin olduğu bölgeye yardımların kolay ve hızlı bir şekilde ulaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle afet esnasında ulaşım yapılarının görevlerini tam olarak yerine getirecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Marmara depreminde özellikle TEM otoyolu üzerinde yıkılan Arifiye Üstgeçit Köprüsü, Adapazarı'nın ve diğer deprem bölgelerinin en önemli yol aksındaki trafiğin aksamasına neden olmuş,

bölgeye gelen yardımların sağlıklı ve zamanında ulaşımını olumsuz yönde etkilemiştir. Bu kötü tecrübe göstermiştir ki, ulaşım elemanları olarak yollar, köprüler ve diğer sanat yapıları afet sonralarında hayati önem kazanan yapılardır.

Kuzey Anadolu Fay hattı, (KAF) Türkiye'nin batısından başlayıp, güney doğuya devam eden TEM otoyoluna paralel bir hat üzerinde bulunmakta ve bazı bölgelerde otoyol ile kesişmektedir. Bu kesişme noktalarında ki sanat yapılarında ağır hasarlar ve yıkılmalar meydana gelmiştir. Bu yol üzerinde ki önemli hasarlar İzmit Doğu Çıkışı ile Akyazı Kavşağı arasında kalan 46 Km'lik kesimde meydana gelmiştir.

Marmara Depreminde en büyük hasar TEM otoyolunun 127+401. km de bulunan Arifiye Üstgeçit Köprüsünde oluşmuştur. Üstgeçit'in kirişleri mesnetlerinden düşerek hasar görmüştür. Ayrıca Üstgeçidin civarında otoyolda kabarma ve çökmeler oluşmuştur. Kabarma ve çökmeler fay hattının geçtiği bölgelerde yoğunlaşmıştır[18].

Bu tez çalışmasında; 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde yıkılan Arifiye üstgeçit köprüsünün, deprem öncesi dinamik analizleri yapılmış ve yıkılma nedenleri araştırılmıştır. Köprü modeli SAP 2000 paket programında kurularak doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yapılmıştır [3].

### **1.1 . Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Yapılan bu tez çalışmasında yıkılan üstgeçit köprüsünün yıkılma nedenleri araştırılmış ve doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi sonucu bulunan yer değiştirmeler ve mafsallaşmalar grafikler halinde verilmiştir. Yapılan analizlerin tamamında 1989 yılında yapılan üstgeçit köprüsünün kesitleri ve malzeme tanımlamaları projesine uygun olarak atanmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde konuya kısa bir giriş yapılmış ve konu genel hatlarıyla tanımlanmıştır.



İkinci bölümde 17 Ağustos 1999 Marmara depremi bütün hatlarıyla anlatılmış, deprem ve depremin oluş nedenleri hakkında bilgiler verilmiş, Kuzey Anadolu Fay Hattı hakkında bilgi verilmiş, depremdeki ivme kayıtları hakkında bilgiler verilmiş ve depremin Adapazarı' na olan etkisi anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizi hakkında bilgi verilmiş, plastik mafsal hipotezi ve doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi (Pushover Analizi) hakkında genel bilgiler sunulmuştur.

Dördüncü bölümde köprülerde depremden dolayı oluşan hasar türleri kısaca özetlenmiş ve 17 Ağustos 1999 Marmara Depreminde Ağır hasar gören Arifiye Üstgeçit Köprüsü hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Beşinci bölüm sayısal uygulamalardan oluşmuştur. Bu bölümde doğrusal olmayan analizleri yapılan modeller tanıtılmıştır. Doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilen yapı davranışları , gerilme dağılımları, yer değiştirmeler grafikler halinde sunulmuştur.

Altıncı bölüm sonuçlar ve önerilerden oluşmaktadır.

## **BÖLÜM 2. 17 AĞUSTOS 1999 MARMARA DEPREMİ**

17 Ağustos 1999 Marmara ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri 1939 Erzincan depreminden sonra ülkemizin 20. Yüzyılda yaşadığı en büyük doğal afet olarak tarihimize geçmiştir. Marmara depreminde 17322, Düzce depreminde ise 950 vatandaşımız resmi kayıtlara göre yaşamını yitirmiştir. Depremlerde İzmit, Gölcük, Değirmendere, Derince, Adapazarı, Gölyaka, Düzce ve Kaynaşlı kentleri çok ağır hasar görmüş, bu kentlerin bir bölümü adeta haritadan silinmiştir. İki depremde toplam 75000 konut ağır, 74 000 konut orta derecede hasar görmüştür. Depremin doğrudan maddi zararları 10 milyar ABD doları olarak tahmin edilmektedir. İki depremin önemli etkisi sonucunda Türkiye ekonomisi 1999 yılında %6 oranında küçülmüştür.

1999 yılına kadar 20. yüzyılda ülkemizde meydana gelen büyük depremlerin hiçbirisi Marmara ve Düzce depremleri kadar ülkemizi etkilememiştir. Zira diğer büyük 20. Yüzyıl depremleri yerleşimin ve yapılaşmanın çok yoğun olmadığı bölgeleri etkilemiş, etkileri belirli bölgesel sınırların dışına taşmamıştır. Marmara ve Düzce depremleri gerek yer bilimlari ve deprem mühendisliği özellikleri ile, gerekse depremlerin toplumsal yaşama etkileri ile ülke tarihinde ilk olma özelliğine sahiptir. 1999 depremlerini bu denli önemli ve özgün kılan özelliklerin başlıcalarını sıralamakta yarar vardır.

- a) Kuzey Anadolu Fayı'nda üç ay ara ile büyüklüğü 7' nin üzerinde iki deprem olmuştur. Dünyadaki önemli fay hatları üzerinde böylesi art arda iki büyük deprem son derece nadir beklenen bir olaydır.
- b) Marmara depreminde fay kırılması tek parçadan değil 3 parçadan meydana gelmiş, bu nedenle yer hareketlerinin şiddetleri beklenenden düşük ama süreleri uzun olmuştur. Aynı nedenle Marmara depremi kırılan fay bölümünü içine alan 150 km'lik dar bir koridoru yoğun olarak etkilemiş, koridor dışında etkisi hızla

kaybolmuştur.

- c) İki depremde çok sayıda kuvvetli yer hareketi istasyonu kayıt almıştır. Bu kayıtların 7 adedi faya çok yakında alınmıştır ve bu sayı büyüklüğü 7.0'ın üzerindeki depremlerde dünyada daha önce faya yakında alınan yer hareketi kaydı sayısına eşittir.
- d) Türkiye'de ilk kez yoğun kıyı hasarlarına rastlanmış, Gölcük ve Değirmendere kıyılarının bir kısmı üstündeki yapılarla birlikte deniz sularının altına gömülmüştür. Sapanca gölü kıyısında da kıyı çökmesi olmuştur.
- e) Adapazarı'nda yaygın zemin sıvılaşması ve zemin çökmesi sonucunda yüzlerce binanın temeli zeminin içine gömülmüş veya aşırı dönerek binaların kütle olarak devrilmesine neden olmuştur. Adapazarı'nın bir bölümü adeta bir zemin hasarları müzesine dönüşmüştür.
- f) Marmara depreminde kırılan fay hattı yerleşim ve sanayi bölgelerinin içinden geçtiği için fay atımı doğrudan yırtılma hasarlarına neden olmuştur. Depremden sonra bilinen aktif fayların geçtiği bölgelerde özel yerleşim planlaması yapılması Türkiye'de ilk kez gündeme gelmiştir.
- g) Düzce depreminde kırılan fay hattı üzerine yapılmış olan Bolu viyadüğü ve tünelleri ciddi biçimde hasar görmüştür. Aktif fay hattı üzerinden tünel, köprü ve viyadükle geçmenin çok riskli olduğu anlaşılmıştır.
- h) Yapısal hasarlar eskiden beri bilinen hataların sonucunda meydana gelmiş, bu konuda yeni bir hasar türü gözlenmemiştir. Ancak Türkiye'deki yapı stokunun neredeyse tamamının depreme dayanıksız olduğu ürkütücü biçimde ortaya çıkmıştır.
- i) Düzce üç ay arayla iki büyük depreme maruz kalmıştır. Bu anlamda Düzce belki de dünyadaki tek örnektir.
- j) Marmara depreminden sonra Marmara denizinde meydana gelebilecek ve İstanbul'u tehdit edecek deprem tehlikesi üzerine pek çok tahminler yapılmış, senaryolar üretilmiştir. Bunun sonucunda bölge halkında oluşan panik ve korku psikolojik rahatsızlıklara yol açmıştır. Deprem tahmini yapan yer bilimcilerin çelişkili açıklamaları kamuoyunun tepkisine neden olmuştur.
- k) Türkiye'nin afet yönetimi sisteminin bu boyuttaki depremlere karşı yeterli olmadığı ortaya çıkmıştır.

- 1) "Depremlerle yaşamaya alışmalıyız, hazırlıklı olmalıyız" sözü ilk kez gündelik dilimize yerleşmiştir. Ancak henüz içi doldurulamamıştır.

Depreme karşı hazırlıklı olmanın en önemli unsuru içinde yaşadığımız yapıların deprem güvenliğine sahip olmasıdır. Marmara ve Düzce depremlerinin bu denli büyük bir felakete dönüşmesi mevcut yapılarımızın eseridir. Deprem bölgelerindeki yapılarımızın neredeyse tamamı depreme dayanıksızdır. Nedeni, yapılarda bilinen mühendislik tekniklerinin yeterince kullanılmamış olması ve hiçbir yapı denetim mekanizmasının uygulanmamasıdır. Bunda biz mühendislerin yetersizliklerinin de önemli payı vardır.

1999 depremleri büyük bir sorunu Türkiye'nin önüne getirmiştir. Mevcut yapı stokumuzun depreme dayanıklı duruma getirilmesi veya terk edilmesi gereklidir. Bu ulusal bir problemdir. Çözülmedikçe gelecekteki depremlerin de felakete dönüşmesi kaçınılmazdır. Sorunun çözümü kolay değildir. Uzun süreli bir ulusal planlamayla ve sabırla işe koyulmak gereklidir. Etkin bir yapı denetimi sisteminin yürürlüğe konması artık daha fazla geciktirilmemelidir. Bu konularda gelecekte mühendislere önemli sorumluluklar düşeceği muhakkaktır.[18]

Sapanca-İstanbul Koridoru olarak tanımlanan alan, sadece Türkiye'nin değil, Avrupa'nın da sayılı sanayi koridorlarından biridir. Türkiye ekonomisinin bel kemiği olan bu bölge, Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde yer almaktadır. Son olarak 17.Ağustos.1999'da kırılan fay, ortaya getirdiği zararlar, tehlikenin boyutunu fazlasıyla göstermiştir. Binlerce insanın hayatını kaybettiği depremde, birçok sanayi kuruluşu da zarar görmüştür. Adapazarı kentinde toplam 99 570 konuttan 24 588'i tamamen yıkılmış, 18 437 konut orta, 27 197 konut az hasarlı duruma gelmiştir.

7,4 şiddetindeki depremden en çok Adapazarı kenti etkilenmiştir. Kentin alüvyonlu saha üzerinde kurulu olması yaşanan felaketin boyutlarını artırmıştır. Bunun yanında deprem sonrası ayakta kalan binaların da %70'i hasarlı duruma gelmiştir. Yıkılan binaların çoğunun, görüntü açısından mükemmel, ancak bina statığı, kullanılan malzeme ve yapı tekniği açısından zayıf olduğu görülmüştür. Kentte 3 kat ve üstündeki binaların çoğu yıkılmıştır. Bu da alüvyonlu saha üzerinde yapılan bu

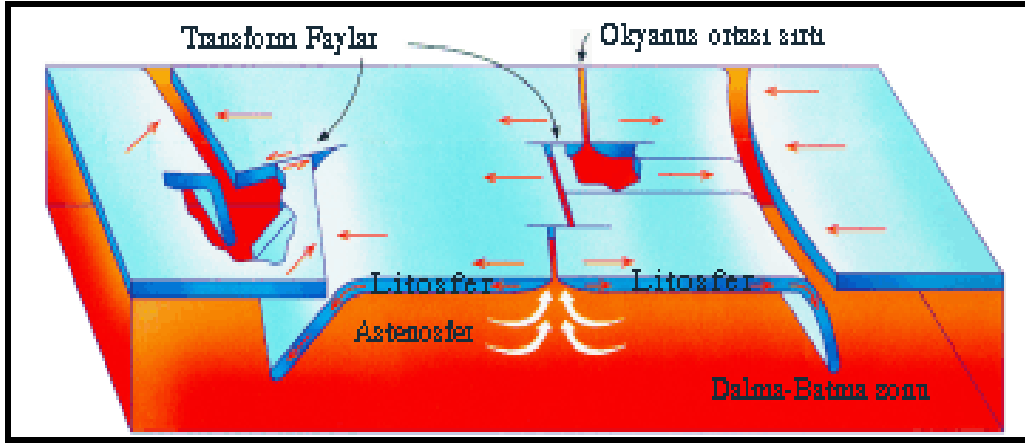
binaların kat yüksekliklerinin çok fazla olduğunu göstermiştir. İmar planlarında 7 kata kadar izin veren yapı şartının ne kadar yanlış olduğu ortaya çıkmıştır.

## 2.1. Deprem

Yerkürenin katı görünen dış kısmı aslında birbirinden bağımsız ve hareketli levhalardan oluşmaktadır. Dünyanın oluşmaya başladığı ilk günden bu yana sürekli hareket halinde oldukları bilinen levhaların birbirlerine yakınlaşmaları, çarpışmaları veya birbirlerinin altına girmeleri durumunda yerkabuğu üzerinde kırılmalar oluşmaktadır. Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına deprem denir.

Başka bir tanımla, fayların oluşmasında yer kabuğundaki sıkışma ve genişleme kuvvetleri en önemli rolü oynamaktadır. Bu tür kuvvetler kırıklar boyunca kaya kütlelerini hareket ettirmektedir. Ancak kaya kütleleri hareket ettirilemediği bazı bölümlerde yoğun bir enerji birikmesine neden olmaktadır. Yerin derinliklerinde biriken enerjinin, sonuçta bir şekilde boşalması gerekmektedir olup, bu enerjinin boşalması sırasında yer sarsıntıları (depremler) olmaktadır. Kısaca deprem yerküre içerisinde fay düzlemi olarak tanımlanan kırıklar üzerinde biriken enerjinin aniden boşalması sonucunda gelişen bir olgudur.

Depremi yer kabuğu üzerinde meydana getirdiği olaylar, yer hareketlerinin değişmesi, yer sarsıntısı, toprak kayması ve yayılması, eğimlerde sağlamlık sorunu, çökme veya sıkışma, kara hareketleri, yüzeysel kırılma ve kırılma kaynaklı zemin kopması, su altında deprem kaynaklı büyük deniz dalgaları, su seviyesinde ritmik değişiklikler, yüksek zemin suyu oluşturmasıdır. Bununla birlikte, deprem sonrasında yangın, yer kaymaları, büyük dalgalar (tsunami) ve endüstriyel tehlikeler de meydana gelme olasılığı bulunmaktadır.



Şekil 2.1. Yer kabuğu hareketinin şematik anlatımı

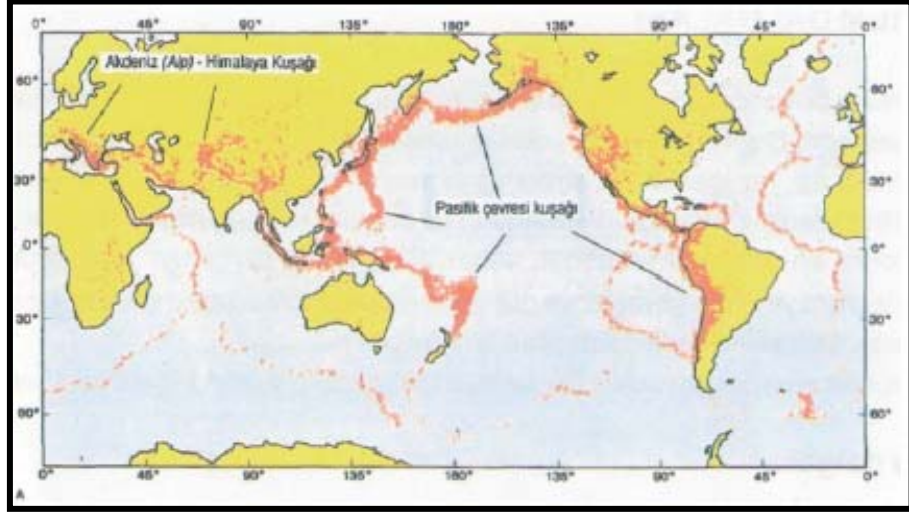
## 2.2. Deprem Oluş Nedenleri ve Türleri

Yerkabuğunu oluşturan levhaların birbirine süttükleri, birbirlerini sıkıştırdıkları, birbirlerinin üstüne çıktıkları ya da altına girdikleri bu levhaların sınırları dünyada depremlerin oldukları yerler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölgelere deprem bölgeleri denmektedir.

Dünyada olan depremlerin büyük çoğunluğunun bu levhaların birbirlerini zorladıkları levha sınırlarında, dar kuşaklar üzerinde yoğunlaştığı gözlenmektedir.

En çok deprem olan bölgeler (deprem kuşakları), kırmızıyla işaretlenmiş bölgelerdir. Bu bölgelerin aynı zamanda levha sınırlarında olduğu da gözlenmektedir(Şekil 2.1).

Yerkabuğunda iki levha arasındaki sınırda, levhaları birbirine göre hareket ettirmeye çalışan zorlanmalar olmaktadır. Ancak ara yüzeylerdeki pürüzler nedeniyle harekete karşı koyan bir sürtünme kuvveti vardır. Bu kuvvet hareketi zorlar. Ancak bu zorlanma altında iki levhanın ara yüzeyine yakın kayalarda şekil değiştirmeler olur. Ara yüzeyin her iki yanındaki levhaları hareket ettirmek için yıllarca biriken zorlanma, bir gün aradaki sürtünme kuvvetini aşan miktarlara ulaştığında, kayalar ara yüzey boyunca birbirlerinden sıyrılıp hareket ederler ve bu ani hareket bir depremi oluşturur.



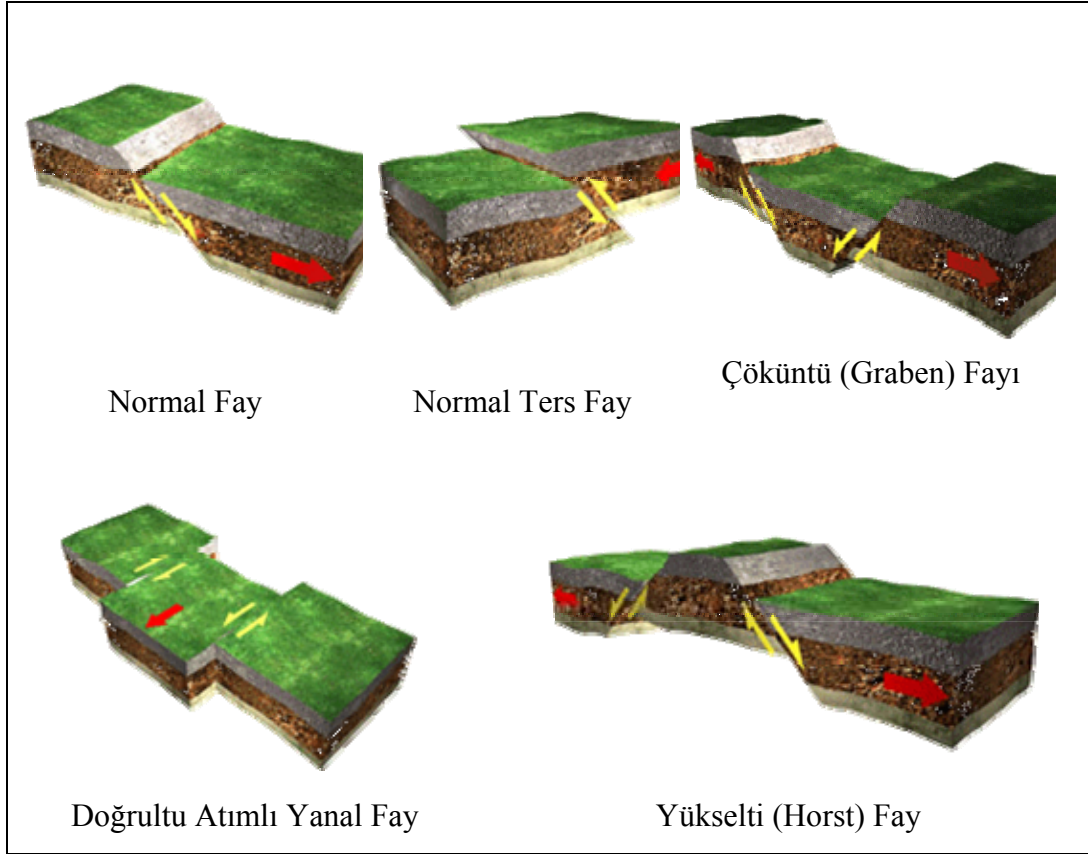
Şekil 2.2. Deprem kuşakları

Bu ani hareket sonucunda ortaya çıkan sarsıntı dalgaları çok uzaklara kadar yayılabilmekte ve geçtikleri ortamı sarsarak yollarına devam etmektedirler. Bu dalgalar depremin oluş yönünden uzaklaştıkça enerjilerini kaybederek yayılım gösterirler. Bu sırada yeryüzünde, bazen gözle görülebilen, kilometrelerce uzanabilen ve fay adı verilen arazi kırıkları oluşabilir.

### 2.2.1. Faylar

Bir deprem sonrasında arazinin kırılma ve yırtılması sonucunda oluşan, genelde yerkabuğu üzerinde gözlenebilen arazi deformasyonları fay olarak isimlendirilir.

Faylar genellikle hareket yönlerine göre adlandırılırlar. Daha çok yatay hareket sonucu meydana gelen faylara Doğrultu Atımlı Fay denir. Fayın oluşturduğu iki ayrı bloğun birbirlerine göreli olarak sağa veya sola hareketlerinden de bahsedilebilir ki bunlar sağ veya sol yönlü doğrultulu atımlı faya bir örnektir(Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Fay türleri

Düşey hareketlerle meydana gelen faylara *Eğim Atımlı Fay* denir. Fayların çoğunda hem yatay, hem de düşey hareket bulunabilir.

### 2.2.2. Deprem dalgaları

Deprem esnasında kırık boyunca biriken enerjinin boşalması sırasında çevreye sismik dalgalar yayılmaktadır. Deprem dalgaları denen bu dalgalar önce hafif şiddette sarsıntılar ve yer altında atılan top seslerini andıran seslerle hissedilirken giderek şiddetini ve gürültüsünü artırır. En yüksek sese ve gürültüye ulaştıktan sonra ise hafifler fakat hemen yok olmaz. Artçı sarsıntılar denen hafif şiddette sarsıntılar oluşturarak uzun dönemler devam eder.



### 2.2.3. Deprem büyüklüğü ve şiddeti

Depremler olduktan belli bir zaman sonrasında depremin büyüklüğü üzerinde farklı birçok değer söylendiği görülmektedir. 17 Ağustos 1999 Deprem'i sonrasında depremin büyüklüğünün 6,7'den 8,1'e kadar birçok değerde olduğu söylenmiştir. Bunun en önemli nedeninin deprem büyüklüğü ve şiddetinin çoğu zaman karıştırılan iki kavram olmalarıdır. Ayrıca büyüklük hesabı yapılırken farklı hesaplama yöntemlerinin kullanılıyor olması da bu duruma sebep olmaktadır. Büyüklük, deprem sırasında boşalan enerji ile ilişkili bir değerdir ve aletsel olarak ölçülür. Şiddet ise deprem bölgesindeki hasara göre belirlenen göreceli bir değerdir.

### 2.3. Deprem Türleri

Depremler, derinliklerine, uzaklıklarına, büyüklüklerine ve kökenlerine göre sınıflandırılırlar.

#### 2.3.1. Derinliklerine göre deprem sınıflaması

Depremde enerjinin boşaldığı yer içindeki noktanın, yeryüzüne olan en kısa uzaklığına, depremin odak derinliği denilir. Depremler odak derinliklerine göre:

- a) Sığ depremler: Odak derinliği 0-70 km.'ye kadar olan depremlerdir. Genelde kıtasal alanlarda meydana gelir. Türkiye bu gruba girmektedir.
- b) Orta derinlikteki depremler: Derinliği 71-300 km. arasında olan depremlerdir. Japonya ve Şili gibi ülkelerde, levhaların birbirinin altına girmesiyle oluşan depremlerdir.
- c) Derin depremler: Derinliği 301-700 km. arasında olan depremlerdir. Levhaların dalan uçlarındaki hareketlerden meydana gelen depremlerdir.

Türkiye'de meydana gelen depremler genellikle sığ odaklı depremlerdir. Derinlikleri çoğu zaman 0-30 km arasında değişmektedir. Öte yandan Ege Bölgesi'nde, Bodrum-Marmaris arasında ve Antalya'nın güney batısında olan bazı depremlerin derinlikleri 100 km. civarında olabilmektedir. Bunlar orta derinlikte depremlerdir.

Sığ depremlerin odak derinliğinin fazla olmaması, dalgaların fazla genişlemesine olanak sağlamamakta, bu da dar alanlarda yoğun etkili depremlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu depremlerde, merkezden az bir mesafe sonrasında yıkıcı etkinin azaldığı gözlenmektedir.

Odak noktası derinde olan orta ve derin depremlerin ise, depremin enerjisi yüzeye çıkarken, gücünden önemli ölçüde yitirdiğinden ve dalgalar daha geniş bir alana dağıldığından, yıkıcılığı daha az olmaktadır. Fakat çok geniş bir alanda hissedilmektedir.

### 2.3.2. Uzaklıklarına göre deprem sınıflaması

Deprem merkezlerinden, deprem istasyonlarına olan uzaklıklarına göre depremler, 4 ana sınıf altında toplanabilir:

- a) Yerel deprem: 100 km. den daha az olan depremler
- b) Yakın deprem: 100 km. ile 1 000 km. arasında olan depremler
- c) Bölgesel deprem: 1 000 km. ile 5 000 km. arasında olan depremler
- d) Uzak deprem: 5 000 km.'den daha çok olan depremler

### 2.3.3. Büyüklüklerine göre deprem sınıflaması

Deprem sınıflamasında enerji eşdeğer birimi olarak Manyitüd kullanılmaktadır. Her bir Manyitüd arasında, yer hareketleri bakımından 10 kat, ortaya çıkan enerji bakımından 33 kat fark vardır. Depremler büyüklüklerine göre 6 grup altında toplanabilir.

- a) Çok büyük depremler:  $M > 8.0$
- b) Büyük depremler:  $7.0 < M < 8.0$
- c) Orta büyüklükte depremler:  $5.0 < M < 7.0$
- d) Küçük depremler:  $3.0 < M < 5.0$

- e) Mikro depremler:  $1.0 < M < 3.0$
- f) Ultra-mikro depremler:  $M < 1.0$  (4).

#### 2.3.4. Kökenlerine göre deprem sınıflaması

Depremler kökenlerine yani oluşum mekanizmalarına göre 5 sınıf altında toplanabilir:

- a) Tektonik kökenli depremler: Levha hareketleri sonucu levha sınırları ya da içlerinde oluşan depremlerin tümü tektonik kökenli depremler olarak adlandırılır.
- b) Volkanik kökenli depremler: Yer kabuğunun derinliklerinde magma odalarında aşırı gaz basıncı sonucu magmanın hareket etmesi sonucu olan depremler volkanik depremler olarak isimlendirilir.
- c) Çöküntü depremleri: Yeraltı mağara ve boşlukların çökmesi sonucu çöküntü depremleri oluşur.
- d) İnsanların neden oldukları depremler: Baraj ve yapay göller, maden ocakları vb. alanlarda ortaya çıkan yeni oluşumlar nedeni ile meydana gelen küçük depremlerdir.
- e) Doğal olmayan depremler: Nükleer patlatmalar bu sınıfın içine girmektedir .

#### 2.4. Türkiye'nin Depremselliği

Türkiye'de tarihsel depremlerin çoğunun yeterli ve güvenilir kaydı yoktur. Bununla birlikte 1168 ve 1784 yılları arasında oluşan 6 yıkıcı depremdeki toplam can kaybı 82 000 dolayındadır.

Türkiye'nin depremselliği üzerine yapılan incelemelerden, her yıl en az bir defa hasar yapan şiddetli bir depremin ve ortalama olarak 5 yılda bir defa büyük depremlerin meydana geldiği görülmektedir.

Meksika, Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Japonya, Filipinler, Endonezya, Hindistan, Pakistan, İran, Yunanistan, İtalya gibi ülkeler de aynı sorunu

yaşamaktadır. Ancak bu ülkelerden Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Japonya ve İtalya'da, depremin yıkıcı etkilerini en aza indirmek için yapılan çalışmalar ve bu konuya yönelik yapılaşma ve kurumlaşmalar göz önüne alındığında, Türkiye'nin bu konuda eksiklikleri bulunmaktadır.

Genel olarak depremlerin yol açtığı can kaybı ve hasarın derecesi şu etkenlere bağlıdır:

1. Depremin büyüklüğü
2. Depremin odak derinliği
3. Depremin süresi
4. Deprem odağına olan uzaklık
5. Depremin oluş zamanı (gece, gündüz, tatil ya da çalışma saatleri)
6. Nüfus yoğunluğu
7. Yapı tekniği, kullanılan malzeme türü ve kalitesi
8. Deprem alanının jeolojisi
9. Deprem bölgesindeki toplumun deprem konusundaki bilinci
10. Deprem konusunda kurumlaşma ve yönetim

Türkiye, yeryüzünün en önemli deprem kuşaklarından biri olan Akdeniz, Alp Himalaya Deprem Kuşağı'nın üzerinde yer almaktadır. Bu tektonik yapısı itibariyle ülkemizde can ve mal kaybına neden olan depremlere sıkça rastlanmaktadır.

Son iki bin yıllık istatistiklere göre, Türkiye yaklaşık 1,1 yılda yıkıcı bir depremin meydana geldiği bir ülke olarak risk sıralamasında dünyada ilk sırada yer almaktadır. Türkiye'nin % 96'sı, nüfusun % 95'i deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır. 1903-1990 yılları arasında ülkemiz 54 yıkıcı depremle sarsılmıştır.

Deprem tehlikesi ve yıkımları açısından ülkenin büyük bir kısmı depremle iç içe yaşamak zorundadır. Doğu Anadolu'daki depremlerin çoğunun, seyrek oluşmasına rağmen yıkıcı oldukları gözlenmektedir(1939 Erzincan, 1966 Varto, 1971 Bingöl, 1976 Çaldıran, 1983 Narman-Horasan, 1992 Erzincan). Doğu Anadolu Bölgesi ve çevresi geçmişte ve günümüzde oldukça yıkıcı depremlerin odaklandığı bir takım fay

kuşaklarının çevrelediği, etkinliğin yoğunlaştığı bir kuşak içerisinde yer almaktadır. Kuzey Anadolu Fayı (Doğu Marmara ve Düzce Depremleri 1999), Doğu Anadolu Fayı ve diğer bazı küçük ölçekli fayların bulunduğu bölgeler risk altındadır.

Türkiye'deki nüfus değişim hızı incelendiğinde, risk altında bulunan bölgelerdeki nüfusun oransal olarak daha hızlı arttığı görülmektedir. Marmara ve Ege Bölgesi'nin nüfus artışı, hızlı kentleşme ve sanayileşmeden dolayı diğer bölgelere göre daha fazla olmaktadır. Bu bölgelerde depremlerin meydana getirdiği can ve mal kayıpları, her geçen yıl biraz daha artmaktadır. Her geçen gün daha fazla insanın deprem riski altında kaldığı söylenebilir.

Marmara ve Ege Bölgeleri'nin % 95'i 1. Derece Deprem Bölgesi'nde yer almakta ve nüfus yoğunluğu da oldukça yüksektir. Bu veriler ışığında Marmara ve Ege Bölgesi'nin deprem açısından en riskli bölgeler olduğu ortaya çıkmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi ise en fazla 1. ve 2. dereceli bölgeye sahiptir. Fakat nüfus yoğunluğu bu bölgede çok düşük olduğundan burası ikinci riskli bölge olmaktadır. En az risk altında bulunan bölge ise Güney Doğu Anadolu Bölgesi'dir.

Türkiye'de sanayi tesislerinin ve barajların deprem bölgelerindeki dağılımı incelendiğinde, önemli sanayi merkezlerinin % 98,3'ünün ve barajların % 91,6'sının ilk dört deprem bölgesinde yerleştiği görülür.

Jeolojik yapı, tektonik durum ve sismisite özellikleri dikkate alınarak, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından 1996 yılında hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri çalışmasında Türkiye, sismik risk açısından 5 bölgeye ayrılmıştır. Bunlardan 1., 2., 3. ve 4. Derece Deprem Bölgeleri sismik açıdan en riskli bölgeler olarak kabul edilmiştir. Bu çalışmaya ve 1997 nüfus sayımı sonuçlarına göre Türkiye'nin toplam yüzey alanının % 96'sı riskli bölgede yer almakta ve toplam nüfusunun % 95'i ise deprem tehlikesi altında yaşamaktadır. 17.Ağustos.1999 Doğu Marmara Depreminde çeşitli şekillerde hasara ve kayıplara uğrayan illerin çoğunluğu, deprem bölgesi olarak 1. derece deprem bölgesi içinde yer almakta ve toplam 60 000 km.<sup>2</sup> alanın bu depremden etkilendiği belirtilmektedir.

Tablo 2.1. Depremden etkilenmiş illerin deprem bölgeleri haritasındaki yeri, yüzölçümü ve nüfus yoğunluğu

İl	Deprem Bölgeleri(km <sup>2</sup> )				Yüzölçümü (km <sup>2</sup> )	Nüfus Yoğunluğu(km <sup>2</sup> )
	1. Derece	2. Derece	3. Derece	4. Derece		
Kocaeli	3 255	376	0	0	3 631	324
Sakarya	4 738	141	0	0	4 879	150
Yalova	828	0	0	0	828	198
İstanbul	965	2 193	1 630	565	5 353	1 718
Bolu	10 453	457	0	0	10 910	51
Bursa	8 011	2 884	0	0	10 895	180
Eskişehir	0	6 264	6 014	1 646	13 924	47
Zonguldak	1 876	1 428	0	0	3 304	185
Tekirdağ	1 171	1 723	2190	1 246	6 330	90
Toplam	31 297	15 466	9834	3 457	60 054	

Tablo 2.2. Depremden etkilenen illere ait nüfus, ölü ve yaralı durumu

Ölü ve yaralı durumu			
İl	Ölü sayısı	Yaralı sayısı	Toplam
Kocaeli	9 476	19 447	28 923
Sakarya	3 890	7 284	11 174
Yalova	2 504	6 042	8 546
İstanbul	961	7 204	8 185
Bolu	271	1 165	1 436
Bursa	268	2 375	2 643
Eskişehir	86	375	461
Zonguldak	3	26	29
Tekirdağ		35	35
Toplam	17 479	43 953	61 432

## 2.5. Kuzey Anadolu Fay Hattı

Türkiye tarihinin her evresinde büyük depremlere sahne olmuştur. Bu depremler nedeni ile çok büyük acı ve yıkımlar yaşanmıştır. Konumu itibariyle Türkiye, önemli ve büyük levhaların kesişim noktasında yer almasının yanında, oluşan depremlerin odak noktalarının da sığ olması, yıkıcılığı arttırmaktadır.

Dünya üzerindeki dağılımı incelendiğinde, depremlerin %95'inin iki kuşakta yoğunlaştığı görülür. Bunlardan birincisi, depremlerin % 80'inin olduğu Pasifik

Çevresi Deprem Kuşağı, ikincisi ise depremlerin % 15'inin olduğu Akdeniz-Alp-Himalaya Deprem Kuşağı'dır.

Türkiye, Akdeniz'den Asya'ya uzanan Alp-Himalaya Sistemi'nin Akdeniz'deki bir parçasıdır. AlpSistemi, Avrupa ve Asya arasındaki sıkışma hareketinin, Himalaya Sistemi ise Hindistan-Asya çarpışmasının birer sonucudur.

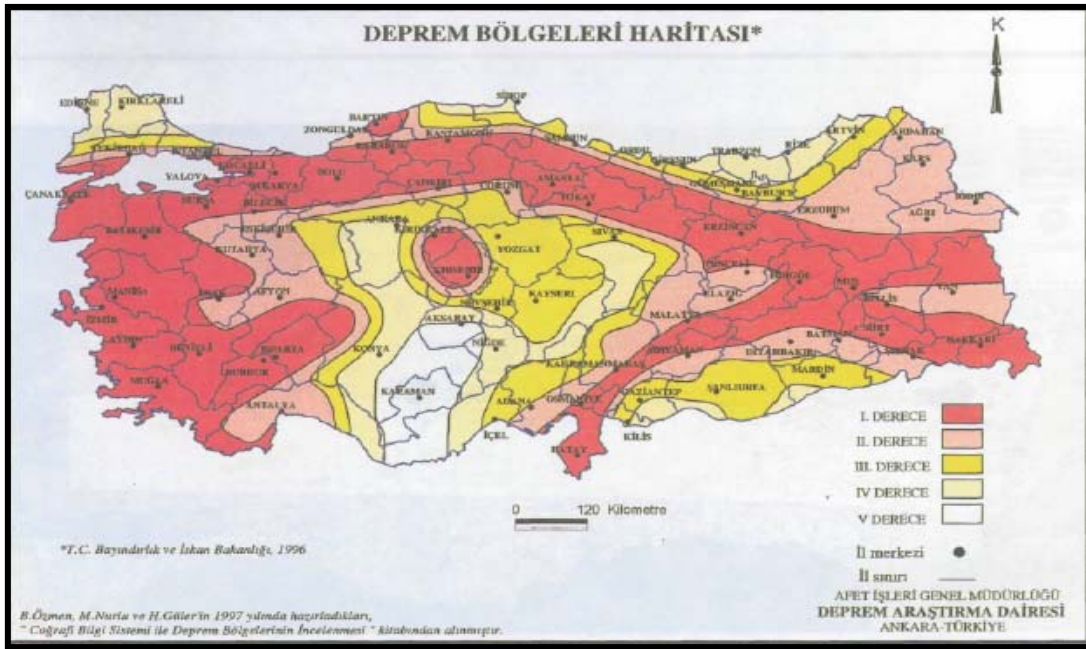
Alp-Himalaya Deprem Kuşağı'nda yer alan Türkiye'de olan depremler, Atlantik Okyanus ortası sırtının iki tarafa doğru yayılmasına bağlı olarak Afrika-Arabistan levhalarının kuzey-kuzeydoğuya doğru hareket etmeleriyle ilişkilidir. Ayrıca, Kızıldeniz'in uzun eksenini boyunca bugün de devam eden deniz tabanı yayılması nedeni ile Arabistan levhası kuzeye doğru itilmekte ve Avrasya levhasının altına doğru dalmaya zorlanmaktadır. Bu zorlanma ile Arabistan levhası ile Avrasya kıtası arasında kalan Doğu Anadolu Bölgesi'nde, yoğun sıkışma etkisi oluşmaktadır. Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı gibi belli başlı büyük kırıkları harekete geçiren bu sıkışma, milyonlarca yıldır devam etmektedir. Günümüzde yaşadığımız depremlerin ana nedenini bu durum oluşturmaktadır.

Arap plakasının Afrika plakasına göre kuzeye doğru devam eden göreceli hareketi, Avrasya plakasının güney bölümünde kısalma ve daralmaya neden olmuş ve Doğu Anadolu plakasının gelişmesine yol açmıştır. Bu hareketin yarattığı kısalıp-daralma, Avrasya plakasının güney kesiminin Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) olmak üzere iki büyük kırık boyunca parçalanarak Anadolu plakasının oluşmasına neden olmuştur. Anadolu plakacığı, yaklaşık 4 milyon yıldır KAFZ ve DAFZ boyunca 1-3 cm./yıl'lık bir hızla güneybatıya doğru hareketini sürdürmektedir(Şekil 2.7). Dolayısıyla bu iki fay zonu, günümüze kadar Türkiye'de meydana gelen birçok deprem için birer deprem kuşağı olarak rol oynamıştır. Dünyanın üç büyük deprem kuşağından biri olan Alp-Himalaya Deprem Kuşağı üzerinde yer alan ve yüzölçümünün yaklaşık %96'sı deprem bölgesi olan Türkiye'de, sadece geçtiğimiz 20 yüzyılda toplam 130 büyük ( $M > 5.0$ ) deprem olmuş ve yaklaşık 100 000 kişi yaşamını yitirmiştir. Tüm bu depremlerde meydana gelen maddi hasar ise, rakamlarla ifade edilemeyecek kadar büyüktür.





doğudan batıya doğru bir düzen içinde kıran 1939 Erzincan (7.9), 1942 Erbaa-Niksar (7.3), 1943 Tosya-Ilgaz (7.3), 1944 Bolu-Gerede (7.3), 1957 Abant (7.1) ve 1967 Mudurnu Vadisi (6.8) depremleridir. Doğudan batıya adeta bir göç halinde ilerleyen büyük depremler KAF'ın toplam 800 km'lik bir kısmını kırmışlar ve toplam 8 m'den fazla yatay atıma neden olmuşlardır. Sadece 1939 Erzincan depremi 360 km uzunluğunda yüzey kırığında ortalama 4.5 m atım yaratmıştır. 1967 Mudurnu Vadisi depreminden sonra KAF'ın Sapanca'nın batısında kalan bölümünde bir deprem beklentisi oluşmuş, ancak 1992 Erzincan depreminde ( $M_s=6.9$ ) tekrar doğu ucu kırılmıştır. Dewey (1976) ve Barka (1996) batıya göç eden deprem serisinin, 1992 Erzincan depremini bir anomali olarak kabul ederek, batıya göç eğilimini sürdürdüğünü öne sürmüşlerdir. Toksöz ve diğerleri (1979) KAF'ın batısında 1963 Çınarcık ve 1967 Adapazarı depremleri arasında kalan bölümün bir sismik boşluk olduğunu öne sürerek burada büyüklüğü 6'nın üzerinde bir deprem olabileceğini belirtmişlerdir. 1999 Marmara depremi, eğer 1992 Erzincan depremi sayılmazsa KAF üzerinde batıya göç eden depremlerin sonuncusu sayılabilir. Bu hipotez, KAF üzerinde meydana gelecek bir sonraki depremin Marmara Denizi tabanında olması halinde doğrulanmış olacaktır. Ne var ki 12 Kasım 1999 Düzce depremi kırılma yönünü tekrar doğuya çevirmiştir. Düzce-Bolu bölgesinde yakın tarihte artık kırılabilir başka fay kalmadığı sanılmaktadır. Ancak kırılan fayın batı ucu hakkında kesin bir fikir yoktur. Eğer fay kırığı Hersek Deltasının batısına geçmediyse KAF üzerinde bir sonraki depremin Yalova yönünde meydana gelmesi sismik göç hipotezi ile tutarlı olacaktır. KAF'a oldukça benzer özellikler gösteren ABD'nin batısındaki San Andreas fayında böyle bir sismik göç olayına rastlanmamıştır.



Şekil 2.6. Türkiye deprem bölgeleri haritası

İzmit Körfezi civarında tarihsel dönemde (1500-1900) üç büyük depremin kaydına rastlanmaktadır [15]. Bunlardan birincisi 25 Mayıs 1719 tarihinde Marmara'nın doğusunda meydana gelmiş ve 6000 kişinin ölümüne neden olmuştur. Yalova, Karamürsel, İzmit ve Körfez kıyısındaki diğer kasabalarda ve köylerde ağır hasar meydana gelmiş, depremin etkisi İstanbul, Trakya ve Düzce'ye kadar ulaşarak yıkıma neden olmuştur.

İzmit'in beşte dördünün harab olduğu Osmanlı kayıtlarına geçmiştir. 2 Eylül 1754'de İzmit Körfezi'nde meydana gelen ve dakikalar süren büyük deprem ise öncü depremlerle başlamıştır.

Depremin İstanbul'da etkisi şiddetli olmuş, yaklaşık bin kişi ölmüş, binlerce kişi yaralanmıştır. Surlarda ve önemli yapılarda da hasar meydana gelmiş, pek çok yığma ev yıkılmıştır.

Deprem Edirne, İzmir ve muhtemelen Ankara'da hissedilmiştir. 22 Mayıs 1766'da Marmara Denizi'nin doğusunda meydana gelen deprem İzmit-Tekirdağ arasında kalan geniş sahil kesiminde ve Marmara Denizi'nin güneyinde büyük hasar neden

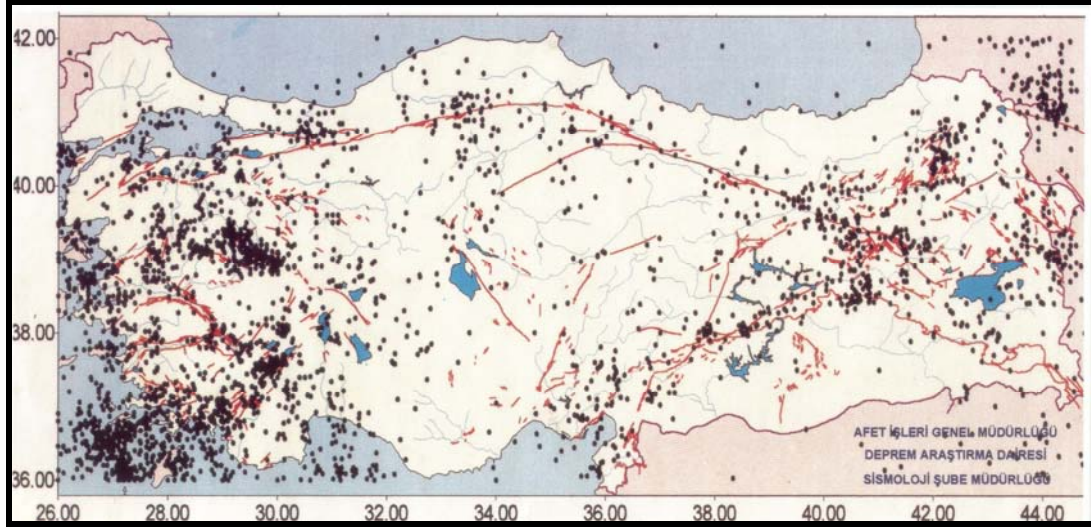
olmuştur. İstanbul'da pek çok bina yıkılmış, 5000 kişi hayatını kaybetmiştir. Depremden en fazla İstanbul'un batısı etkilenmiştir. Aynı yılın Ağustos ayında meydana gelen ikinci büyük deprem ise Marmara'nın batı sahillerini yoğun olarak etkilemiştir.

KAF'ın batısında ölçülen kayma hızları yılda 10-15 mm arasındadır [11]. Marmara depreminde meydana gelen depremde ortalama atımın 2.5 metre olduğu göz önüne alınırsa bu depremin 200-250 yıllık bir gerilme birikimi sonucunda olduğu hesaplanabilir.

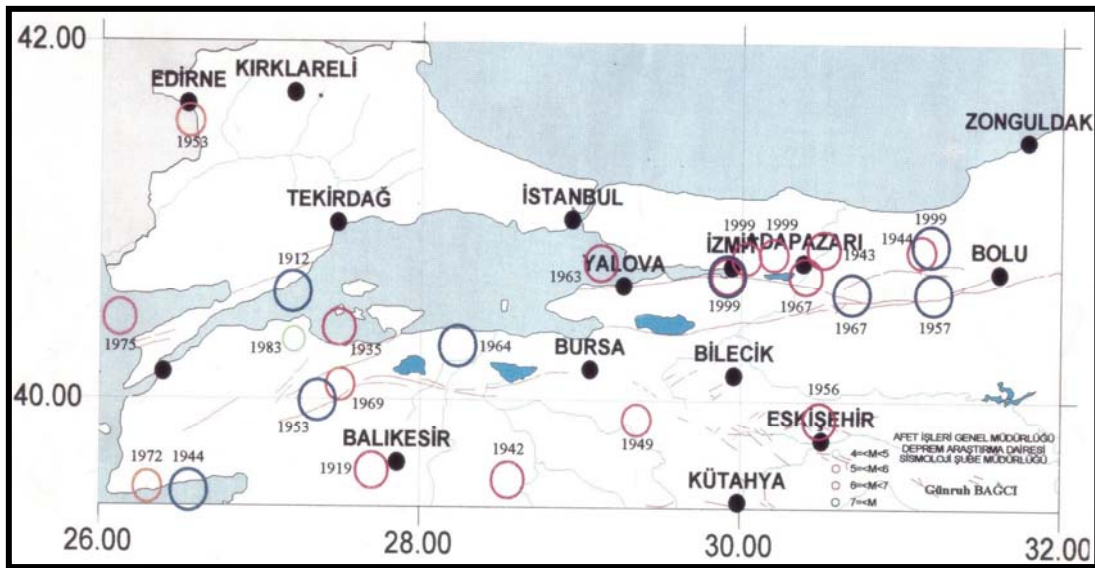
Bu durumda 1719, 1754 ve 1766 tarihli depremlerin KAF'ın aynı bölgesinde, yani Sapanca Gölü'nün batısında 1999'dan önce meydana gelen son yıkıcı depremler olduğu sonucuna varılabilir.

Tablo 2.3 İzmit-Adapazarı Bölgesinde Son Yüzyılda Meydana Gelen Büyük Deprem

Tarih	Yer	Enlem	Boylam	Magnitüd ( $M_L$ )
20.06.1943	Adapazarı	40.85	30.51	6.6
01.02.1944	Bolu-Gerede	40.80	32.20	7.4
20.02.1956	Eskişehir	39.89	30.49	6.4
26.05.1957	Abant-Bolu	40.67	31.00	7.1
18.09.1963	Çınarcık	40.77	29.12	6.3
22.07.1964	Manyas	40.30	28.23	7.0
06.10.1967	Adapazarı	40.67	30.69	6.8



Şekil 2.7. Türkiye'nin sismo teknik haritası (1900-1999  $M \geq 4.0$ ),



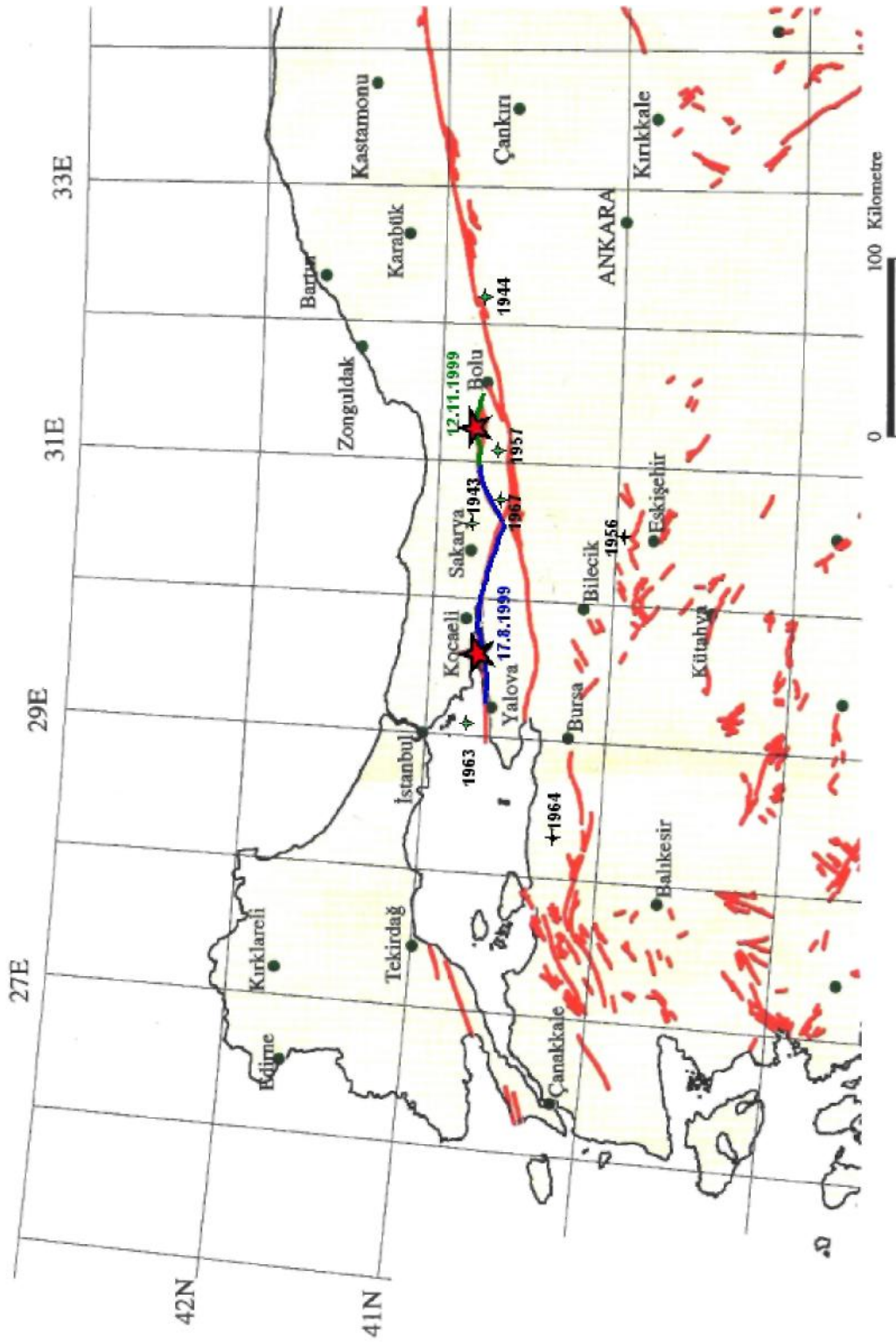
Şekil 2.8. Marmara Bölgesi Depremleri (1900-1999  $M \geq 4.0$ ),

17 Ağustos 1999 Marmara depreminin etkilediği bölgelerde son yüzyılda meydana gelen ve magnitudü 6'dan büyük depremler Şekil 2.7'de gösterilmektedir. Bu depremlerin makro sismik özellikleri Tablo 2.3'de sunulmuştur. İzmit-Adapazarı bölgesinin genel yapısıyla her zaman büyük deprem riski taşıdığı bu bilgilerden açıkça anlaşılmaktadır.

1963 Çınarcık depremi ve ardından 1967 Adapazarı depreminde KAF'ın birbirine yakın iki bölümü kırılmış, arada İzmit Körfezinin güneyi ile Sapanca Gölü arasındaki kısmı bir sismik boşluk olarak kalmıştır. 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde bu kısmın kırılmış olması sismik boşluk hipotezlerini haklı çıkarmıştır [16].

17 Ağustos depreminde kırılan fay bölümlerinin doğu ve batı uzantılarında gerilmelerin arttığı düşünülmektedir [11]. Bu durumda doğuda Düzce fayında ve batıda Marmara içindeki faylarda deprem riskinin arttığı varsayılabilir. Nitekim 12 Kasım 1999 Düzce depremi, 17 Ağustos Marmara depremi tarafından tetiklenen bir fay kırılmasıdır. Marmara içindeki fayların belirsizliği ise burada bir tahmin yapmayı zorlaştırmaktadır. Marmara içindeki fayların belirsizliğine rağmen burada olabilecek bir depremin İstanbul'da tehlike yaratması bu hususu güncel kılmıştır.

17 Ağustos depreminden sonra sıranın Marmara faylarına, dolayısıyla İstanbul'a yakın bir depreme gelmiş olma ihtimali spekülasyonlara yol açmıştır. Pek çok yer bilimci Marmara faylarındaki veri eksikliğini ve sismoloji bilimindeki belirsizlikleri göz önüne almadan geleceğe yönelik deprem tahminlerinde bulunmaya başlamışlardır. Çoğunlukla birbiriyle çelişen ve kaba hipotezlerden öteye geçmeyen bu varsayımlar İstanbul ve Marmara civarında yaşayan halkta sürekli endişe oluşmasına neden olmuştur.



Şekil 2.9. KAF hattı

## 2.6. Türkiye'deki Depremlerde Meydana Gelen Hasarların Nedensellikleri

Türkiye, deprem kuşağında olmasına ve her 30 senede bir büyük, yıkıcı depremler meydana gelmesine rağmen gereken önlemler alınmamaktadır. Türkiye'deki depremlerde meydana gelen yıkım ve hasarların ortak nedenleri şunlardır:

- a) Hasara uğrayan yerleşim alanlarının ortak özelliği, su tablasının sığ olduğu zayıf alüvyal zeminler üzerinde kurulmuş olmalarıdır. Bu tür ortamlarda deprem dalgaları zemin tarafından büyütülerek yapılara iletilmiş, ayrıca sıvılaşma, yanıl yayılma vb. gibi olumsuz zemin davranışları da gelişmiştir. Dolayısıyla en önemli faktörlerin başında, jeolojik özelliklerin ve zemin koşullarının göz ardı edilerek yerleşime gidilmesi gelmektedir,
- b) Jeolojik yapı, diğer bir ifadeyle depremin kaynağı olan çok sayıdaki diri fayların konumları dikkate alınmadan ve gerekli önlemlerden yoksun şekilde bu faylar üzerinde ya da bu fayları da içeren kuşaklar boyunca yoğun bir yapılaşmaya gidilmesi, depremlerdeki yıkım ve hasarların artması üzerinde rol oynayan önemli bir faktördür,
- c) İnşaatlarda düşük kaliteli yapı malzemesi (deniz kumu) kullanılması ve kötü işçilik,
- d) Depreme duyarlı bölgelerde temel tipinin zemin türü ve zemin davranışı dikkate alınmaksızın seçilmesi,
- e) Yapıların taşıyıcı sistemlerinin bağlantılarının, yapı yönetmeliklerine uygun olmaması,
- f) Binaların giriş veya zemin katlarında yer kazanmak amacıyla bazı kolonların kesilerek yumuşak katların oluşturulması.

Sayılan bu nedenselliklerden de anlaşılacağı gibi, aslında depremlerin veya jeolojik nedenli afetlerin oluşturdukları risklerin yanında, bunlara dikkat edilmeden meydana gelen yapılaşmalar tehlikeyi daha fazla arttırmaktadır. 1900 yılından bu yana Türkiye'de meydana gelen depremlerde yaklaşık, 500 000 yapı yıkılmıştır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerin ekonomilerine önemli darbeler indiren deprem afeti, birçok sosyal ve ekonomik sorunları da birlikte getirmektedir.



## 2.7. 17 Ağustos 1999 Marmara Depreminin Sismik özellikleri

Kuzey Anadolu Fayının batı kesiminde 17 Ağustos 1999 ve 12 Kasım 1999 tarihlerinde büyüklüğü 7'nin üzerinde iki deprem meydana gelmiştir. İlk deprem Marmara bölgesinde olmuş ve Yalova-Düzce arasında kalan geniş bir kesimi etkilemiştir. İkinci deprem Düzce bölgesinde olmuş ve ilk depremin etkisi ile meydana gelmiştir. Ancak ikinci deprem ilk depremin artçı şoku değildir, zira ilk depremde kırılmayan bir bölümde, yeni bir fay kırılmasıyla olmuştur. Her iki depremde kırılan faylar bölgenin uzay fotoğrafı üzerine işlenmiştir. Kuzey Anadolu Fayında tarihte bu kadar yakın arayla büyüklüğü 7 'nin üzerinde iki deprem arkaya meydana gelmemiştir. İki depremin sismolojik özellikleri ayrı bölümler halinde irdelenecektir.

## 2.8 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi

Marmara depremi 17 Ağustos 1999 tarihinde, yerel saatle 03.02'de (00:01:38.56 GMT) meydana gelmiştir. Depremin dışmerkez koordinatları 40.70 N ve 29.99 E'dir. Deprem dış merkezi İzmit Körfezi'nin doğu ucunda, Gölcük yakınlarındadır. Deprem merkezinin derinliği 17 km'dir.

Depremin büyüklüğü farklı ölçüm teknikleri kullanarak hesaplanmıştır.

Bünye dalgası büyüklüğü :  $m_b = 6.3$

Yüzey dalgası büyüklüğü :  $M_s = 7.8$

Moment büyüklüğü :  $M_w = 7.4$

Bu ölçüm teknikleri içinde Marmara depremi büyüklüğüne en uygun olanı moment büyüklüğüdür. Dolayısıyla depremin büyüklüğü 7.4 olarak kesinlik kazanmıştır. Marmara depremi Kuzey Anadolu Fayı üzerinde 1939 Erzincan depreminden sonraki ikinci büyük deprem olarak kabul edilebilir. Depremin sismik momenti USGS tarafından  $1.4 \times 10^{20}$  olarak açıklanmıştır.



Deprem kaynak mekanizması çözümü fay kırılmasının yanal atımlı olduğunu göstermektedir. USGS tarafından hesaplanan nodal düzlem parametreleri şöyledir:

$$\begin{array}{lll} \text{NP1: Strike} = 91 & \text{Dip} = 76 & \text{Slip} = 179 \\ \text{NP2: Strike} = 182 & \text{Dip} = 89 & \text{Slip} = 14 \end{array}$$

Depremde Kuzey Anadolu Fayının Yalova-Akyazı-Gölyaka arasında kalan kırılan bölümü Şekil 2.9'da gösterilmektedir. Ana şok ve 25 Ağustos 1999 tarihine kadar meydana gelen artçı şoklar ( $M \geq 3$ ) aynı şekil üzerinde işaretlenmiştir. Artçı şokların dağılımı KAF'ın Karamürsel-Akyazı ve Karamürsel-Gölyaka arasında kalan bölümün kırıldığı göstermektedir. Bu segmentlerden Yalova-Akyazı arası 100 km, Akyazı-Gölyaka arası ise 30 km uzunluğundadır. Arazide yapılan çalışmalarda (Koçyiğit, 1999) kırılan fayın karada kalan Değirmendere-Gölyaka arasındaki 113 km' lik kısmında yüzey kırıkları belirgin şekilde izlenmiştir[16].

Kuzey Anadolu Fayı depremleri için kırılma uzunluğu ile deprem büyüklüğü arasında aşağıdaki ifadeyi hesaplamışlardır.

$$\log L = 0.78 M_s - 3.62 \quad (2.1)$$

Marmara depreminde  $M_s=7.8$  olduğu göz önüne alınırsa Denklem (2.1) kırılan fay uzunluğu olarak  $L=291$  km değerini verir. Bu değer arazi gözlemleri ile uyumlu değildir. Eğer denklemde  $M_s = 7.8$  yerine  $M_w=7.4$  kullanılırsa  $L=142$  km hesaplanır. Arazideki gözlemler ve artçı şokların dağılımı bu uzunluk ile çok daha uyumludur.

Gölcük ile Sapanca arasında kalan bölümde fay kırılmasının yüzeydeki izleri çok belirgindir. Arazi üzerinde yapılan gözlemlerde fay atımının ortalama 2.5-3.0 metre civarında olduğu ölçülebilmektedir. Gölcük'te ve Arifiye'de fay atımı 4 metreyi bulmaktadır. Fay kırılmasının İzmit Körfezi'nin doğu ucunda başladığı gözönüne alınırsa, yırtılmanın iki yönlü olarak doğu ve batı yönünde ilerlediği düşünülebilir. Fay kırılmasının yüzeyde yarattığı izler ve atım izleyen fotoğraflarda görülmektedir (Şekil 2.10-2.18). Fay kırığının yerleşim bölgesinin içinden geçmesi nadiren görülen bir olaydır. Gölcük'te doğrudan fay atımı nedeniyle ağır hasara uğrayan pek çok bina

vardır. KAF gibi güzergahı oldukça iyi belirlenmiş ve haritalanmış bir aktif fay hattı üzerinde yoğun yerleşim bölgelerinin ve sanayi bölgelerinin kurulmasına bölge imar planları dahilinde izin verilmiş olması çok ciddi bir planlama hatasıdır.

Koçyiğit ve diğerleri (1999)[22] tarafından yapılan arazi çalışmalarında fay kırılmasının üç parçadan meydana geldiği belirtilmektedir. Bunlar Sapanca'nın batısındaki birinci kırılma, Sapanca'nın doğusunda Arifiye ile Akyazı arasındaki ikinci kırılma, ve Çamlıca-Gölyaka arasındaki üçüncü kırılmadır. Aynı çalışmada ilk kırılmanın Gölcük-merkezli bir depremden, ikinci kırılmanın Arifiye merkezli ikinci bir depremden, kaynaklandığı, üçüncü kırılmanın ise ikinci kırılma tarafından aktif hale gelen fay segmentinde olduğu öne sürülmektedir. İzleyen bölümde irdelenen kuvvetli yer hareketi kayıtlarında da farklı zamanlarda iki ayrı enerji gelişimi gözlenmektedir. Ayrıca hasarın en fazla Gölcük ve Arifiye yakınında Adapazarı'nda yoğunlaşmış olması iki farklı merkezli kırılmayı akla getirmektedir. Ancak bu verilerin sismolojik verilerle desteklenmesi ve ikinci depremin merkezinin de sismik kayıtlarla kanıtlanması, büyüklüğünün hesaplanması gerekir. Henüz bu yönde güvenilir bir çözümlenmeye ulaşılmamıştır.



Şekil 2.10. İzmit Körfezinin doğu ucunda fayın boş arazideki izi.



Şekil 2.11. Kullar civarında Kavaklıktan geçen fayın yer değiştiren ağaç sıralarından ölçülen atımı yaklaşık 2.5 metredir.



Şekil 2.12. Gölcük Deniz Üssü'nün batı duvarı fay tarafından iki bölümde kesilmiştir. Ön parçanın atımı 1.25 metre, arka parçanın ise 2.75 metredir. Toplam atım 4 metre olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.13. İki fay segmenti arasında kalan duvar parçası ve 2.75 metre atım ölçülen segmentin yakın plan görünümü.





Şekil 2.14. Fay kırığı Gölcük Deniz Üssünde bir binayı yırtarak geçiyor. Şekilde farkedilen düşey atım fay hareketinden değil, yakın plandaki zeminin denize doğru kaymasından ve oturmasından kaynaklanıyor.



Şekil 2.15. Fay kırığı Gölcük Deniz Üssünden çıkarak Yüzbaşılar Mahallesinde yoğun yerleşim bölgesine giriyor ve önüne çıkan binaları adeta parçalayarak ilerliyor. Fay kırığının tam üzerinde depreme dayanıklı yapı yapmak mümkün değildir. Bu özellikteki bölgelerin hassas şekilde belirlenerek iskana kapalı tutulması gereklidir.



Şekil 2.16. Fayın İzmit Körfezi doğu ucunda denize girdiği bölge ve fay atımının sahildeki direk sırasında meydana getirdiği yaklaşık 2.5 metrelik yanıl yer değiştirme.



Şekil 2.17. Fayın izi üzerine rastlayan kavak sırasının tamamı depremde sonra kurumuştur. Bunun nedeni deprem sırasında fayın iki yüzünün sürtünmesi nedeniyle oluşan ısının kavakların köklerini yakmasıdır. Aynı nedenle bu bölgedeki artezyen suları depremde hemen sonra ısınıp daha sonra soğumuştur.



Şekil 2.18. Arifiye'de fay kırığının ve atımının demir yolunda yaptığı deformasyon.

Marmara depremi eş şiddet haritası Şekil 2.7'de sunulmaktadır [1]. İzmit Körfezinin güneyinde Yalova ve Gölcük'te ve Adapazarı ile Gölyaka bölgesinde MSK ölçeğine göre depremin şiddeti X olarak saptanmıştır. Bu şiddet derecesinde çerçeveli ve yığma yapıların büyük kısmının tahrip olması, yüzeyde büyük çatlamların ve zeminde sıvılaşmanın olması, dik yamaçlarda toprak kayması meydana gelmesi gerekmektedir. Bu unsurların tümü X olarak haritada tanımlanan bölgede gözlenmemiştir. Şiddetin IX olduğu bölgelerde ise depreme dayanıklı tasarlanmış yapılarda önemli hasar olması gerekir. Ne var ki IX şiddet bölgesinde kalan Düzce ve Körfez'de bu düzeyde hasar yoktur. İyi yapılmış binalar çok az hasarlıdır. MSK şiddet derecelerinin Şekil 2.7'deki haritada birer derece fazla verildiği öne sürülebilir.

17 Ağustos 1999 depreminden sonra bölgede çok sayıda artçı şok meydana gelmiştir (Şekil 2.7). Bunlardan iki tanesinin büyüklüğü 5.0 in üzerindedir ve hasarlı yapılarda hasarın artmasına, hatta bazı binaların yıkılmasına ve ölüme sebep olmuştur. İlk büyük artçı şok ana şoktan iki gün sonra Gemlik'te 5.1 büyüklüğünde, ikinci ve en büyük artçı şok ise depremden yaklaşık bir ay sonra 13 Eylül 1999'da Kocaeli'nde

5.7 büyüklüğünde ölçülmüştür. Ancak Gemlik'te kaydedilen deprem kırılan fayın dışında olduğundan bağımsız bir deprem olarak da tanımlanabilir.

## 2.9 Kuvvetli Yer Hareketi Özellikleri

17 Ağustos 1999 Marmara depremi ana şoku sırasında Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen 24, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi tarafından işletilen 10 kuvvetli yer hareketi istasyonu kayıt almışlardır[1]. 12 Kasım 1999 Düzce depremi sırasında ise 20 istasyon kayıt almıştır[1]. İlk defa bu depremde ülkemizde bu kadar çok kuvvetli yer hareketi verisi toplanmıştır.

1999 yılında ülkemizde meydana gelen Marmara ve Düzce depremlerine kadar dünyada büyüklüğü 7'nin üzerindeki depremlerde kaydedilmiş sadece 8 adet faya yakın (yakın alan) kuvvetli yer hareketi kaydı bulunmakta idi. Bu sayıya 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde 5, 12 Kasım 1999 Düzce depreminde ise 2 kayıt daha eklenmiş ve bu tarihe kadar olana eşit sayıda kuvvetli yer hareketi verisi elde edilmiştir.

Bunlara ilave olarak Türkiye'deki iki depremin arasındaki bir tarihte, 20 Eylül 1999'da Tayvan'da meydana gelen 7.6 büyüklüğündeki Chi-chi depreminde ise 60 civarında yakın alan istasyonu kuvvetli yer hareketi kaydetmiştir. Ancak Türkiye depremlerinin yanal atımlı, Tayvan depreminin ise ters atımlı olduğu göz önüne alınırsa Türkiye'de elde edilen 7 adet kaydın önemini koruduğu anlaşılabilir. Marmara ve Düzce depremlerinin yer hareketleri izleyen bölümlerde sırasıyla irdelenecektir.

### 2.9.1. 17 Ağustos 1999 Marmara depremi kuvvetli yer hareketleri

Marmara depremi sırasında mühendislik açısından yapıları etkileme gücüne sahip olan 31 adet istasyona ait kayıtların yatay bileşenlerinin özellikleri Tablo 2.4'de verilmektedir. Tabloda kullanılan parametrelerden EPA, etkin yer ivmesidir ve 0.1-0.5 saniye periyodlu sistemleri etkileyen maksimum yer ivmesi olarak tanımlanır. Genel olarak EPA/PGA oranı 0.80 civarındadır. Etkili süre  $t_{eff}$  ise yer hareketinin bir

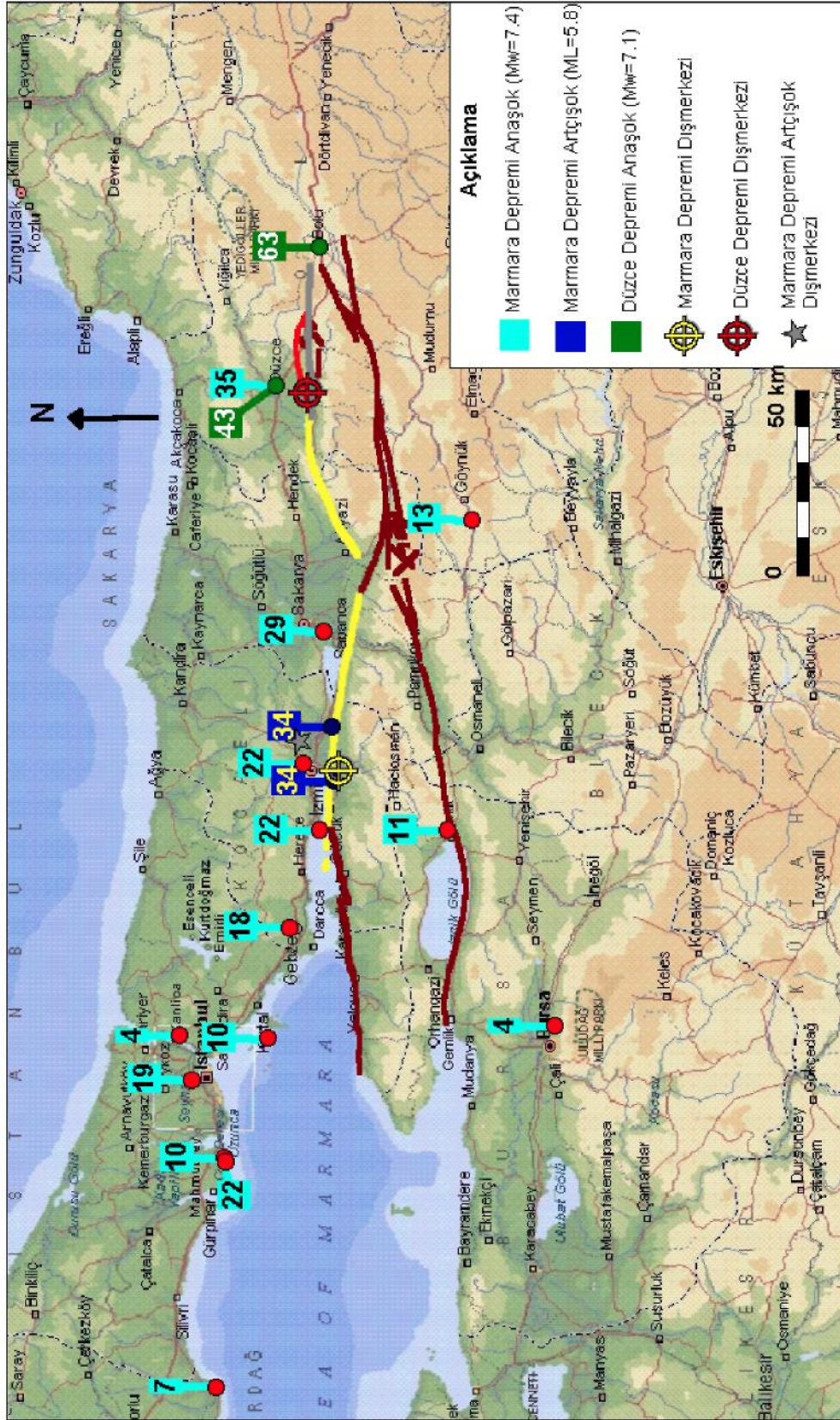


yer partikülü üzerinde yaptığı toplam işin %5'den %95'e kadar arttığı süreyi gösterir. Etkili sürenin artması yapılarda hasar birikmesine neden olur, dolayısıyla yer hareketinin şiddetini ifade eden bir diğer parametredir.

En kuvvetli hareketlerin kaydedildiği İzmit, Sakarya, Düzce, Gebze ve Yarımca istasyonları yer hareketlerinin iki yatay ve düşey ivme bileşenleri kayıtları Şekil 4.2 (a-e)'de gösterilmektedir. Sakarya İstasyonunun bir yatay bileşeni alet hatası nedeniyle kaydedilememiştir. Şekil 2.7'de kayıtları verilen ve Şekil 2.19'da gösterilen istasyonlar kırılan faya oldukça yakındır. Batıdan doğuya doğru dizilmişlerdir. En doğudaki Düzce İstasyonu haricinde diğer dördünde yaklaşık 30 saniye arayla iki ayrı kaynaktan enerji geldiği görülmektedir.

Depremi merkezi bu dört istasyonunun ortasındadır. İkinci kaynak etkisi Yarımca ve İzmit İstasyonlarında en belirgindir. Ancak yer hızı zaman değişiminde bu etki kaybolmaktadır. Muhtemelen deprem merkezinden başlayan fay yırtılması 30 saniye boyunca fayın Karamürsel-Akyazı arasındaki bölümünü kırdıktan sonra Gölcük civarında ilk yırtılmada kırılmayan büyük bir asperite kırılarak ikincil enerji kaynağı oluşturmuştur.

İkinci kırılmanın etkisi Gölcük'ten yaklaşık 100 km uzaktaki Düzce İstasyonu ivme kaydında görülmemektedir. Bu uzaklıkta ikincil kaynak etkisinin tamamen sönümlendiği anlaşılmaktadır.



Şekil 2.19. Yer hareketi istasyonları

Tablo 2.4. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi Ana Şok Kayıtlarının Özellikleri

İSTASYON	BİLEŞEN	ZEMİN	ED (km)	FD (km)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	EPA (cm/s <sup>2</sup> )	PGV (cm/s)	V/A (s)	t <sub>eff</sub> (s)
Ambarlı	NS	R	107	61	247.70	220.11	52.25	0.211	29.64
Ambarlı	EW	R	107	61	182.44	184.29	56.11	0.308	26.62
Balıkesir	L	S	205	160	17.46	15.54	7.02	0.402	31.07
Balıkesir	T	S	205	160	17.85	14.76	7.50	0.420	26.78
Bursa	L SOUTH	S	87	55	53.43	40.76	9.03	0.169	34.06
Bursa	T EAST	S	87	55	44.41	44.16	7.90	0.178	34.21
Çanakkale	L	S	300	250	24.13	18.71	9.13	0.378	40.22
Çanakkale	T	S	300	250	28.06	18.80	6.65	0.237	44.80
Çekmece	L NORTH	S	106	59	115.27	94.50	12.09	0.105	9.78
Çekmece	T WEST	S	106	59	86.19	83.09	13.97	0.162	8.82
Düzce	T SOUTH	S	107	11	305.82	271.47	56.49	0.185	11.89
Düzce	L WEST	S	107	11	356.52	349.16	58.56	0.164	11.93
Ereğli	L SOUTH	S	166	116	86.39	67.98	15.05	0.174	19.82
Ereğli	T EAST	S	166	116	99.92	77.25	11.55	0.116	14.86
Gebze	L NORTH	S	42	15	255.20	179.83	41.13	0.161	29.60
Gebze	T WEST	S	42	15	140.92	145.18	34.70	0.246	15.64
Göynük	T NORTH	R	78	32	136.25	132.60	12.56	0.092	11.58
Göynük	L EAST	R	78	32	116.59	124.13	13.59	0.117	11.39
İstanbul	L SOUTH	R	79	49	59.07	36.98	8.46	0.143	38.12
İstanbul	T EAST	R	79	49	42.34	39.57	6.84	0.162	37.35
İzmit	L SOUTH	R	11	8	163.24	172.84	28.03	0.172	34.07
İzmit	T EAST	R	11	8	225.93	221.73	38.49	0.170	34.42
İzmit	L SOUTH	S	32	30	89.81	89.07	18.38	0.205	33.24
İzmit	T EAST	S	32	30	121.53	108.29	25.69	0.211	32.45
<del>Kütahya</del>	<del>L</del>	<del>R</del>	<del>140</del>	<del>140</del>	<del>49.05</del>	<del>34.94</del>	<del>10.16</del>	<del>0.207</del>	<del>36.08</del>
Kütahya	T	R	140	140	58.57	39.63	17.08	0.292	38.31
Sakarya	T EAST	R	40	7	396.03	286.86	57.27	0.145	44.41
Tekirdağ	L	S	200	150	31.59	36.82	7.30	0.231	7.93
Tekirdağ	T	S	200	150	32.86	32.30	3.66	0.111	9.56
Yarımca	NS	S	15	3	225.79	217.03	72.07	0.319	30.78
Yarımca	EW	S	15	3	316.02	222.32	74.13	0.235	30.70

### Kısaltmalar

ED : Dışmerkez uzaklığı	EPA : Etkili yer ivmesi	t <sub>eff</sub> : Etkili süre
FD : Faya olan en kısa mesafe	PGV : Maksimum yer hızı	S : Eski dolgu
PGA : Maksimum yer ivmesi	V/A : Hız-ivme oranı	R : Kayalık ve sert zemin

Ana şoktan sonra 13.9.1999'da meydana gelen en büyük artçı şokta ( $M_L=5.8$ ) birçok sabit ve geçici istasyonlarda kuvvetli yer hareketi kaydı alınmıştır. Bu istasyonların 5 tanesinin ve kayıtlarının özellikleri Tablo 2.4.'de verilmektedir. En şiddetli yer hareketleri kırılan fayın üzerine yerleştirilen iki geçici istasyonda, Tepetarla ve Bahçecik' te kaydedilmiştir. İki geçici istasyonda kaydedilen yer hareketi ivme bileşenleri Şekil 2.20 ve şekil 2.21 de gösterilmektedir. İzmit İstasyonunda kaydedilen hareketin şiddeti daha düşüktür (Şekil 2.20). Bu durumda büyük artçı şokun merkezinin İzmit civarında olarak açıklanması çelişkili görülmektedir. Artçı şokun merkezinin ana şokta kırılan fay düzleminde olması beklenmelidir. Ana şokta

kırılan fay üzerindeki Tepetarla ve Bahçecik istasyonlarındaki yer ivmelerinin değerleri oldukça yüksektir, ancak süreleri kısadır. Tepetarla'da kaydedilen  $600 \text{ cm/s}^2$  ivmenin etkili değeri yaklaşık yarısı kadardır. Bu değer diğerleriyle daha tutarlıdır. Artçı şok Gölcük'te bazı ağır hasarlı binaların çökmesine neden olmuştur.

Tablo 2.5. 13 Eylül 1999 Marmara Depremi Artçı Şok Kayıtlarının Özellikleri

İSTASYON	BİLEŞEN	ZEMİN	ED (km)	FD (km)	PGA ( $\text{cm/s}^2$ )	EPA ( $\text{cm/s}^2$ )	PGV (cm/s)	V/A (s)	$t_{gr}$ (s)
Tepetarla	L NORTH	S	9.8	0.8	335.56	297.15	31.78	0.095	12.59
Tepetarla	T EAST	S	9.8	0.8	600.35	331.96	61.72	0.103	12.22
Bahçecik	NS	S	14.5	1.7	382.33	336.15	28.95	0.076	8.47
Bahçecik	EW	S	14.5	1.7	311.26	278.10	38.64	0.124	5.41
İzmit	L SOUTH	S	46.5	30.5	60.08	47.99	4.10	0.068	13.60
İzmit	T EAST	S	46.5	30.5	74.15	61.01	9.39	0.127	10.48
İzmit	L SOUTH	R	6.0	7.7	72.52	68.41	6.13	0.084	6.72
İzmit	T EAST	R	6.0	7.7	312.78	251.86	17.78	0.057	5.90
Gebze	L NORTH	S	49.7	14.5	31.68	22.96	3.46	0.109	7.94
Gebze	T WEST	S	49.7	14.5	27.09	20.86	5.66	0.209	9.36

Ana şok sırasında kaydedilen maksimum yer ivmesi, etkili yer ivmesi ve maksimum yer hızının faydan uzaklık ile azalmaları Şekil 2.22'de grafiksel olarak ifade edilmiştir. Bu şekilde iki yatay bileşenin ortalamasının uzaklık ile azalımı incelenmektedir. Şekil 4.4'de önerilen azalım ilişkileri büyüklüğü 7.4 olan bir deprem için türetilerek işlenmiştir. Kaydedilen maksimum ve etkili ivme değerleri yakın alan istasyonları için önerilen değerlerin altındadır. İstasyon uzaklıkları 50 km'yi aştığında ise her iki ivme değerleri de tahmin edilen değerlerin üzerinde kalmaktadır. Aynı durum maksimum yer hızı için Joyner ve Boore ilişkisi ile karşılaştırıldığında da geçerliliğini korumaktadır. Ne var ki tüm istasyonların yer hızı değerleri Campbell'in önerdiği değerlerden oldukça yüksektir.

Faya en yakın olan beş istasyonda kaydedilen ve Şekil 2.22'de sunulan ivme kayıtlarının yatay bileşenlerinin ivme spektrumları Şekil 2.23'de karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir. Aynı şekilde 1. derece deprem bölgesi için Deprem Yönetmeliği [1] tarafından öngörülen elastik ivme tasarım spektrumları da üç tür zemin için verilmiştir. Yakın istasyonlarda kaydedilen spektral ivme değerlerinin Deprem Yönetmeliği'nde önerilen ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan spektral ivmelerin oldukça altında kaldığı görülmektedir. Sadece Düzce ve Yarımca

istasyonları kaydı hedef değerlere yaklaşmaktadır. Aynı şekilde Şekil 2.25'deki etkili yer ivmesi değerleri de 1. derece deprem bölgesi için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan 0.40 g değerinin oldukça altındadır.

Maksimum yer hızları (PGV) değerlendirildiğinde Şekil 2.25'den görüldüğü gibi sadece Ambarlı, Düzce, Sakarya ve Yarımca istasyonlarında 50 cm/s'nin üzerinde değerler kaydedildiği, ancak depremin büyüklüğüne rağmen 100 cm/s değerine yaklaşmadığı anlaşılmaktadır. Faya yakın alanlarda yüksek hızların oluşmaması fay yırtılma yönü etkisinin belirgin olarak ortaya çıkmadığına işaret etmektedir. Muhtemelen fayın kırılan kısmının iki yönlü olarak ve birden fazla parça halinde kırılması bu etkinin oluşmama nedenidir. Sadece Düzce ve Yarımca istasyonlarındaki kayıta yırtılma yönü etkisi görülmektedir. Düzce'nin kırılan fayın uç kısmında ve deprem merkezinden uzakta olması nedeniyle yırtılma yönü etkisi altında kalması doğaldır. Diğer yandan Tablo 2.25'de verilen etkili yer hareketi sürelerinin Düzce ve bazı uzak istasyonlar haricinde genelde 30 saniyenin üzerinde, yani oldukça uzun olduğu dikkati çekmektedir. Hesaplanan yer hareketi şiddeti değerleri içerisinde depremin büyüklüğünü yansıtan en tutarlı parametrenin yer hareketi süresi olduğu görülmektedir.

Uzun süreli yer hareketleri yapı sistemlerine yüksek miktarda enerji yükleme özelliğine sahiptirler. Şekil 2.24.a'da ivme spektrumları karşılaştırılan yer hareketi bileşenlerinin enerji spektrumları Şekil 2.24.b'de karşılaştırılmaktadır. En yüksek enerji değerleri Yarımca ve Düzce istasyonlarında hesaplanmıştır. Tıpkı ivme spektrumlarında olduğu gibi yakın istasyonların enerji spektrumlarında da önemli farklar vardır.

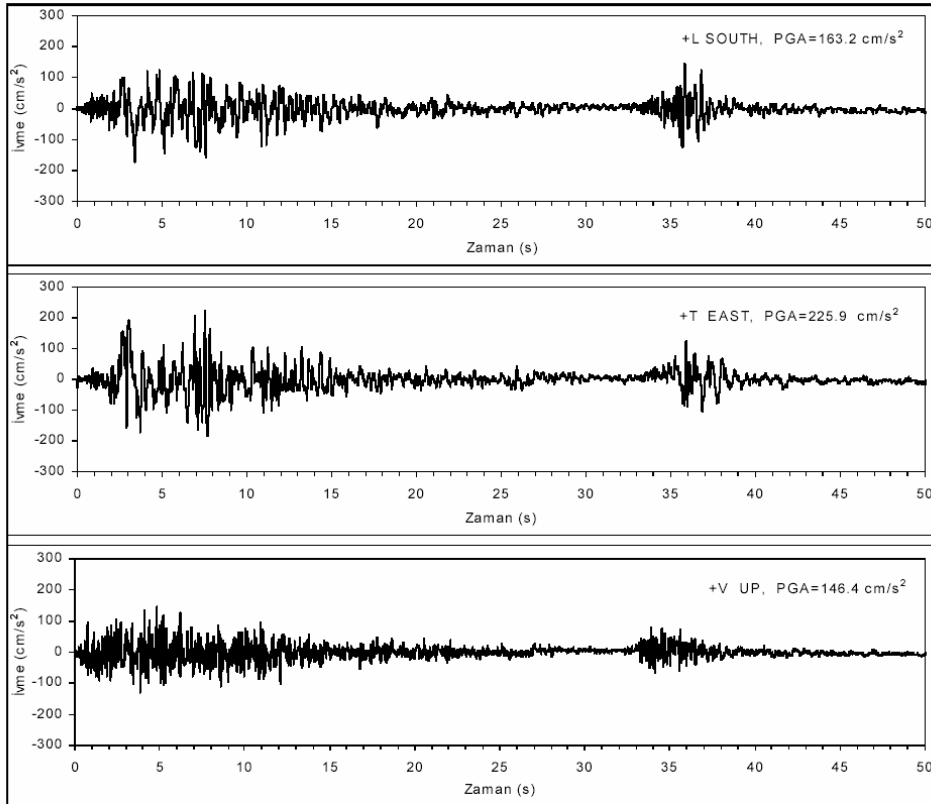
Düzce ve Yarımca istasyonları yer hareketlerinin enerjisi diğerlerinden belirgin şekilde yüksektir. Aynı durum Şekil 2.25'de sunulan azaltılmış tasarım spektrumlarında da gözlenmektedir. Düzce ve Yarımca yer hareketleri orta ve uzun periyotlarda ( $T > 0.5$  saniye) azaltılmış tasarım spektrumunu aşmaktadır. Daha düşük periyotlarda ( $T < 0.5$  saniye) süneklilik ve azaltılmış tasarım spektrumu değerlerini karşılaştırmak doğru değildir, zira kısa periyotlu yapılarda düşey yükün tasarımı kontrol etmesi nedeniyle yatay yüke karşı ilave dayanım sağlanmaktadır.

Yarımcı ve Düzce yer hareketlerinin yapılarda yüksek hasar potansiyeli oluşturduğu analitik bir çalışma ile ortaya konmuştur [23]. Yer hareketine karşı sarsma tablasında yeterli dayanımı gösteren bir deney yapısı analitik olarak Düzce ve Yarımcı yer hareketleri altında yıkılmaktadır.

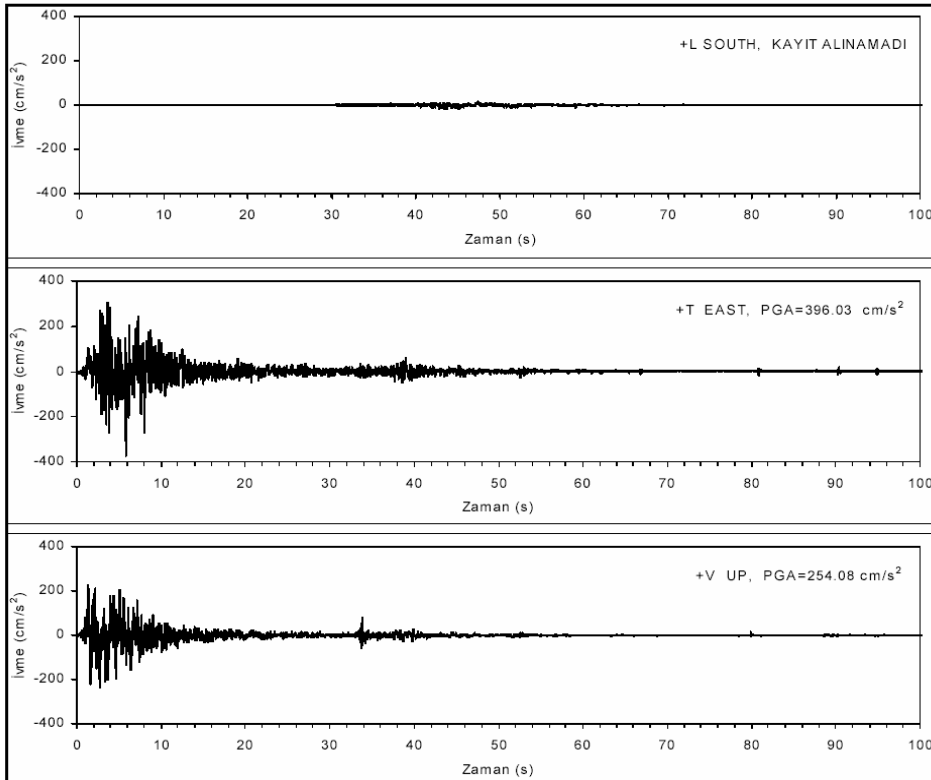
Marmara depreminde faya çok yakın ( $\leq 15$  km) istasyonlarda kaydedilen yer hareketlerinden iki önemli gözlemlenmektedir. Birincisi yer hareketi ivme ve hızları depremin büyüklüğüne göre değerlendirildiğinde beklenenin oldukça altındadır. Gerçi hasarın çok yoğun olduğu Gölcük ve Adapazarı'nın yumuşak alüvyonlu kısmında kayıt alınmamıştır, ancak eldeki kayıtların olduğu istasyonlar da faya yeterince yakındır. İkinci gözlem ise yer hareketi şiddetlerinin yakın istasyonlar arasında bile oldukça değişken olmasıdır.

Yerel zemin koşullarının ve yırtılma yönünün etkisi ile bu değişkenliği açıklamak bir ölçüde mümkündür. İzmit Körfezi-Sapanca arasındaki vadinin özelliklerinin de sismik dalgaların yayılma özelliklerini etkilediği öne sürülebilir. İleride yapılacak ayrıntılı çalışmalara bu değişkenliğe somut açıklama getirilmesi çok aydınlatıcı olacaktır.

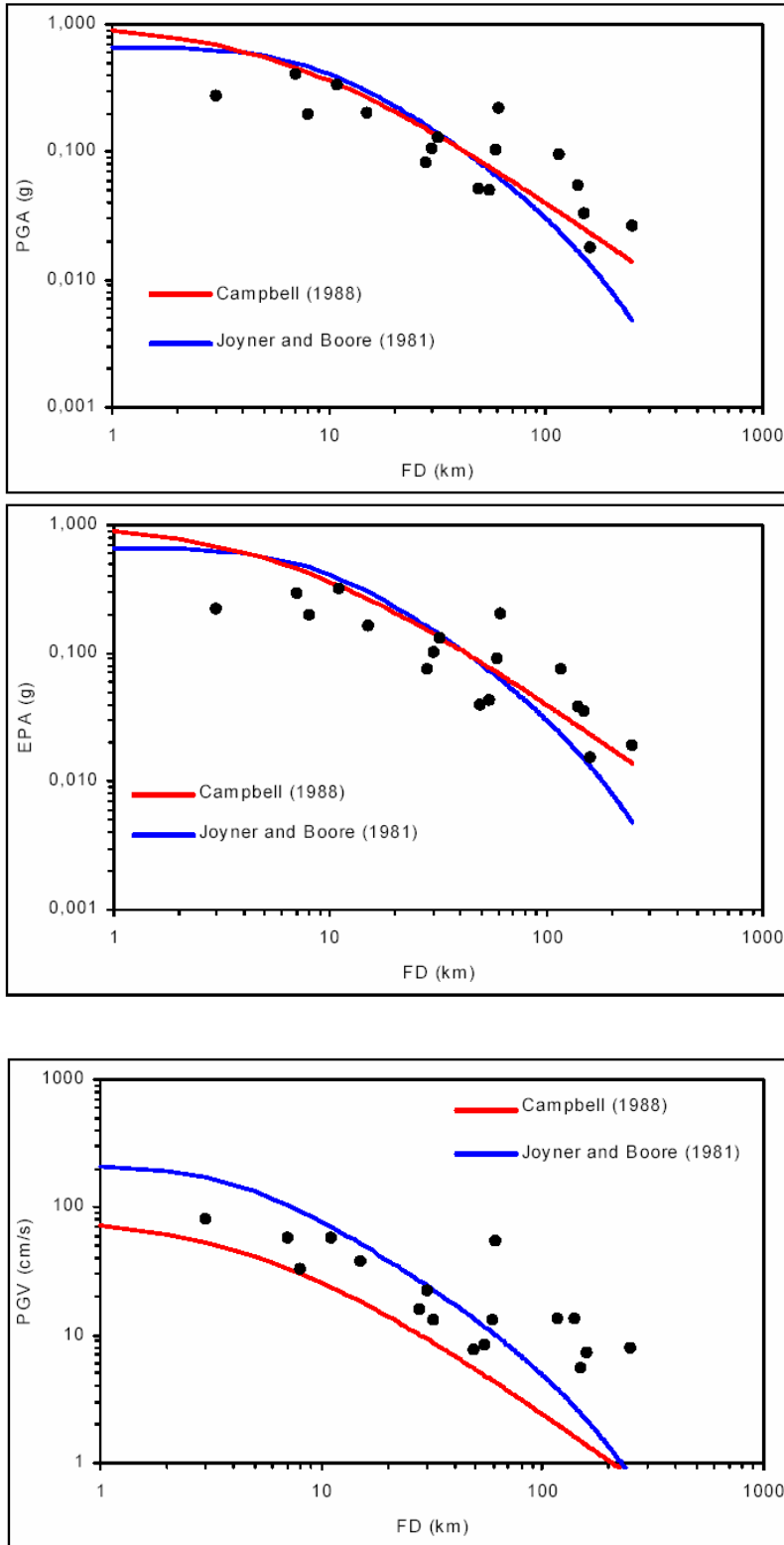
Yer hareketi ivme ve hızlarının düşüklüğüne rağmen yapısal hasarın bu derece yoğun ve yaygın olması yapıların deprem dayanımlarının oldukça düşük olmasının yanında yer hareketi sürelerinin uzun olması ve dolayısıyla enerjilerinin yüksek olması ile açıklanabilir. Yer hareketi başlangıcında hasar görmeye başlayan zayıf yapılar uzun sürede fazla sayıda plastik salınım yapmak zorunda kaldıklarından yorulma etkisine uğramışlar ve gerekli salınım sayısına ulaşmadan çökmüşlerdir. Deprem sırasında çok hasarlı bölgelerde pek çok yapının tamamen hasarsız veya az hasarlı olduğu da göz önünde tutulmalıdır. Bu yapılar yatay dayanım talebi aşırı olmayan yer hareketlerinin en yüksek genlikli titreşimlerine hasarsız veya az hasarlı olarak karşılık vermişler, bu sayede uzun süren yer titreşimi sırasında elastik salınımlarla hasarlarını arttırmayarak depremi tehlikesiz atlatabilmişlerdir.



Şekil 2.20. 17.08.1999 Marmara depremi İzmit İstasyonu yer hareketi ivme kaydı

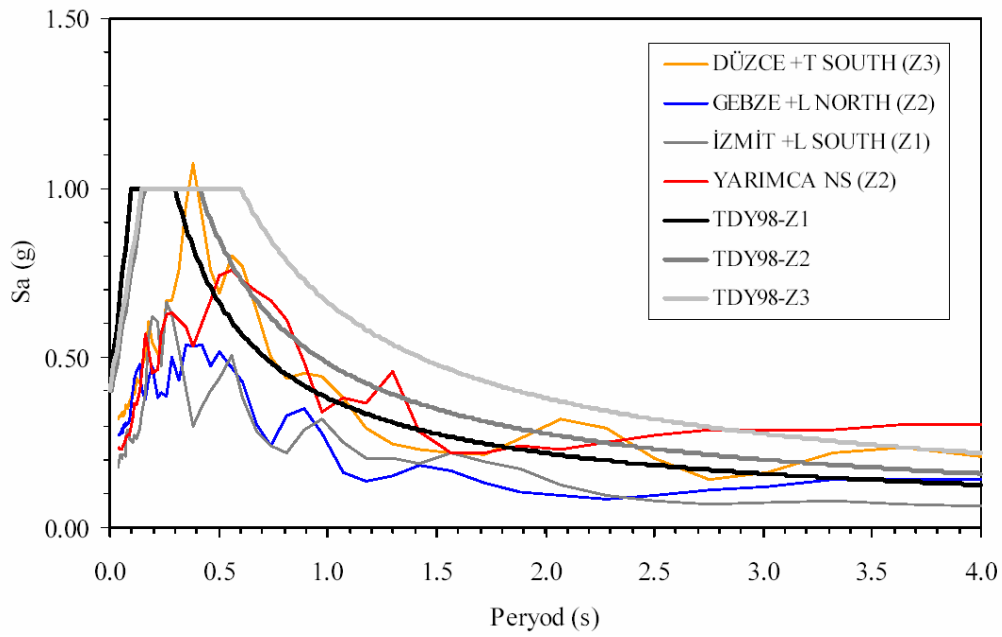


Şekil 2.21. 17.08.1999 Marmara depremi Sakarya İstasyonu yer hareketi ivme kaydı

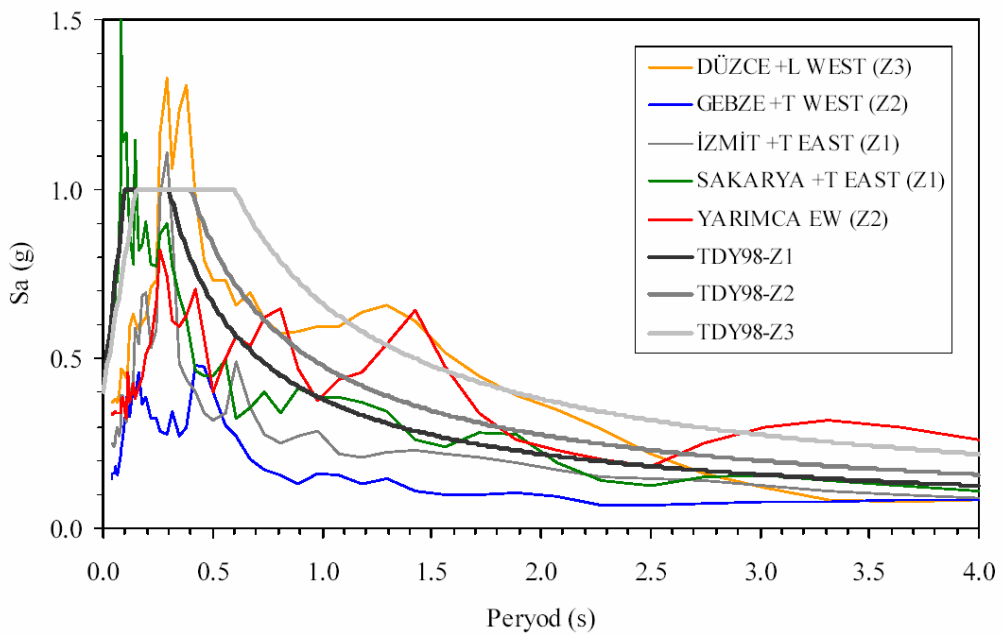


Şekil 2.22. Marmara depreminde maksimum ivme, etkili ivme ve maksimum hızın uzaklık ile azalış ilişkileri

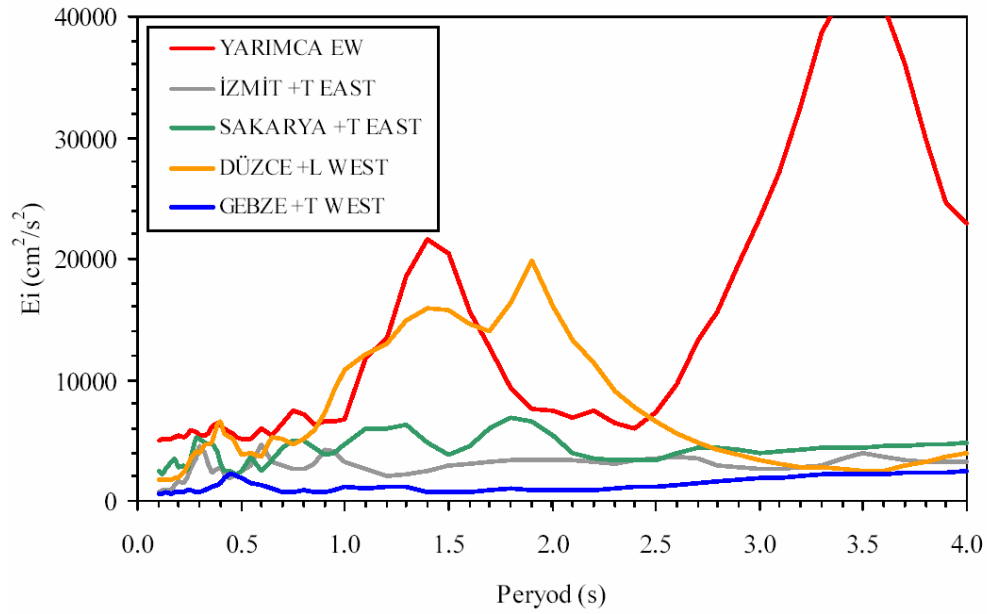




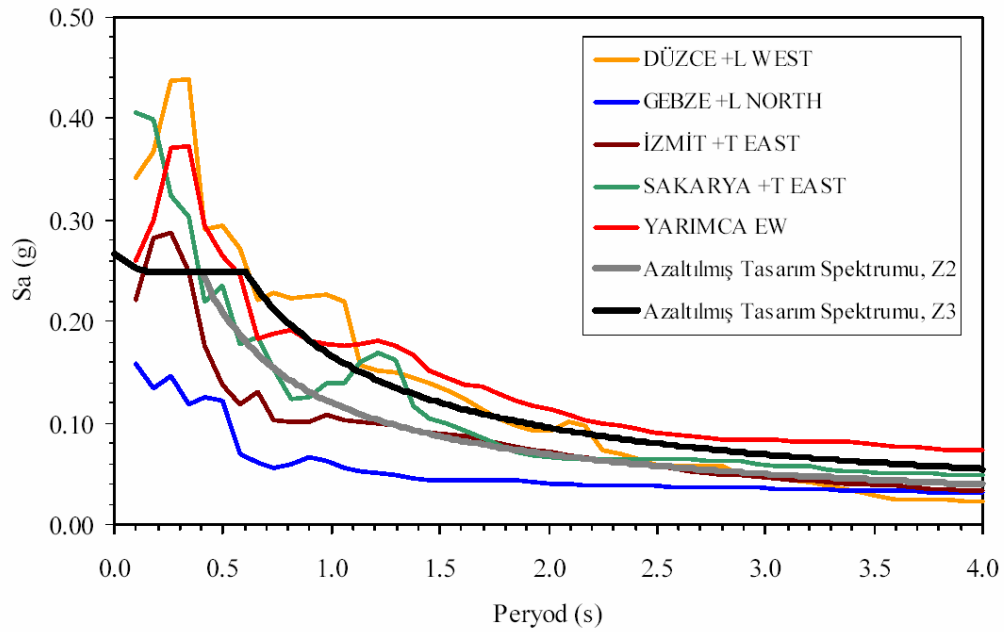
Şekil 2.23. Marmara depreminde kırılan faya yakın istasyonların Kuzey-Güney ivme spektrumlarının 1.deprem bölgesi tasarımı spektrumu ile karşılaştırılması



Şekil 2.24.a. Marmara depreminde kırılan faya yakın istasyonların Doğu-Batı ivme spektrumlarının 1.deprem bölgesi tasarımı spektrumu ile karşılaştırılması



Şekil 2.24.b. Marmara depreminde kırılan faya yakın istasyonların Doğu-Batı enerji spektrumlarının karşılaştırılması



Şekil 2.25. Marmara depreminde kırılan faya yakın istasyonların Doğu-Batı süneklik spektrumlarının 1.deprem bölgesi azaltılmış tasarım spektrumu(R=4) ile karşılaştırılması

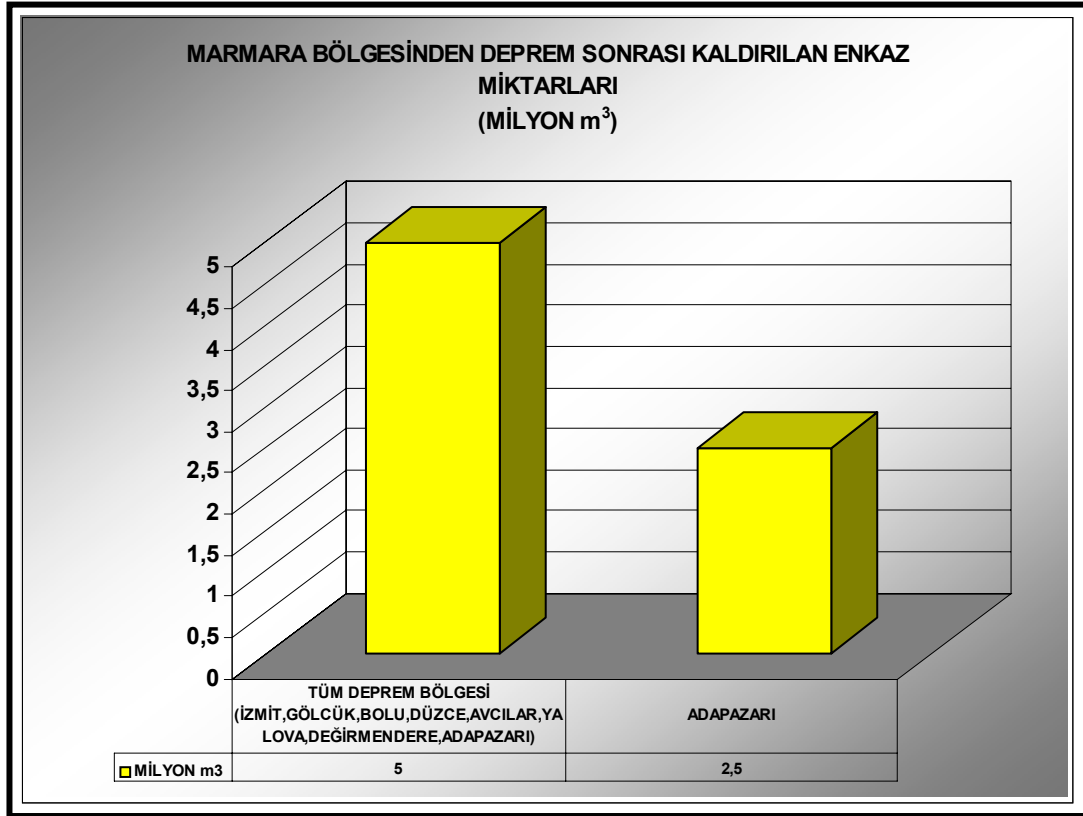
## 2.10. Adapazarı'nın Genel Yapısı

Adapazarı kenti, üçüncü zaman kuşağı üzerinde olduğundan deprem bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle yakın tarihte üç büyük deprem felaketi yaşanmış, büyük can ve mal kayıpları meydana gelmiştir.



Şekil 2.26. 1999 Doğu Marmara Depremi sonrası Adapazarı kentinde yıkılan ve hasarlı duruma geçen binalar

20 Haziran 1943 tarihinde meydana gelen depremde 524 bina tamamen yıkılmış, 227 bina ağır, 298 bina orta ve 575 bina az hasar görmüştür. Bu depremde 318 kişi hayatını kaybetmiştir. Depremde Adapazarı kadar Hendek'te de geniş ölçüde etkilenmiştir. 26 Mayıs 1957 tarihli ve merkezi Bolu yöresi olan depremde, 187 bina ağır, 317 bina hafif hasar görmüş, 3 kişi hayatını kaybetmiştir. 22 Temmuz 1967 depreminde ise, 5 837 bina ağır hasar görmüş, 81 kişi ölmüş, 113 kişi ağır, 111 kişi de hafif yaralanmıştır. Bu deprem Geyve, Sapanca ve Akyazı ilçelerinde de etkili olmuştur .1999 Doğu Marmara Depremi sonrasında ise Adapazarı tarihinin en büyük yıkımına uğramıştır. 15 781 binanın yıkıldığı bu depremde 10 514 bina orta hasarlı, 9.699 bina da az hasarlı duruma gelmiştir.



Şekil 2.27. Marmara Bölgesi'nden deprem sonrası kaldırılan enkaz miktarları

Deprem sonrası yapılan enkaz kaldırma çalışmaları sırasında çok çarpıcı bir gerçek ortaya çıkmıştır. Doğu Marmara Bölgesi'nin tümünü etkisine alan depremde tüm bölgede kaldırılan toplam enkazın yarısı Adapazarı kentinden çıkmıştır (Şekil 2.27).

Sakarya ve yöresi Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın Türkiye deprem bölgeleri haritasında 1. derece deprem kuşağında yer almaktadır (Şekil 2.6). Bölgede depremlerin 39-41 derece kuzey enlemleri ile doğu boylamları arasında yoğunlaştığı, 1900-1999 yılları arasında rihter ölçeğine göre 4 ve daha yüksek ölçekte yaklaşık 200 adet deprem olduğu ( bu sayı içinde 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi, 12 Kasım 1999 Düzce Depremi ve artçı sarsıntıları yer almamaktadır) bilinmektedir.

Sakarya il merkezi olan Adapazarı kenti, 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi'nde İzmit'ten sonra en fazla can kaybı ve hasarın olduğu kent yerleşmesidir. Söz konusu deprem Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolu üzerinde meydana gelmiş ve bu fayın Gölyaka (Bolu) ile Yalova arasında yaklaşık 120 km. uzunluğundaki bölümün kırılması sonucu gerçekleşmiştir.



Şekil 2.28. Deprem sonrası Adapazarı kentinde bir cadde ve eski hali (deprem öncesi (sol-alt)).

Depremde en fazla can kaybı ve hasar, bu fayda yüzey yırtılmasının ( fiziksel deformasyon zonu ) gerçekleştiği alanlar ile jeolojik olarak depreme karşı en dayanıksız zeminler olan Holosen yaşlı çökel toplulukları üzerinde yer alan yapılarda meydana gelmiştir. Yapılaşma kusurları göz önüne alınmadığında, gerçekleşen yüksek can kaybı ve hasar dağılımı doğrudan bölgenin jeolojik özellikleriyle bağlantılıdır.

Aktif jeodinamik karakteri nedeniyle afet bölgesinde ve yakın çevresinde gelecekte de yıkıcı depremlerin olması kaçınılmazdır. Bu nedenle afet bölgesinin restorasyon ve yeniden imarında bölgenin aktif jeodinamik yapısı ve jeolojik birimlerin depremin yol açtığı yer sarsıntılarını karşısında göstereceği zemin davranışlarının iyi bilinmesi, yeniden planlama ve imar çalışmalarının bu temel jeolojik bilgilere dayandırılması gerekmektedir. Son yüzyılda meydana gelen depremler (1943, 1957, 1967, 17 Ağustos 1999) Adapazarı kenti ve yakın çevresinin Türkiye’de deprem afetinden en sık etkilenen bölge olduğunu ortaya koymuştur. Bölge bu depremlerde çok sayıda can kaybına ve büyük hasara uğramıştır. Depremlerin ülkenin diğer kesimlerine oranla çok sık olması bu bölgenin aktif tektonik yapısıyla doğrudan ilişkilidir. Her

depremde can kaybı ve hasarın yüksek oluşunda ise bölgenin yerbilimsel niteliklerinin belirlediği özel zemin koşulları belirleyici rolü vardır.

Son afette ortaya çıkan durum, Adapazarı kentinde yapılacak olan yeniden imar ve planlama çalışmalarında, bölgede gelecekteki deprem riskinin iyi belirlenerek ve planlamaların bu öngörüler doğrultusunda yapılarak sonuca ulaşılması gerektiğidir. Bu amaçla bölgedeki deprem kaynağı olan aktif faylar ve deprem potansiyellerinin, ayrıca kent ve sanayi yapılaşmasındaki uygulamalar için de yerel zemin koşullarının bilinmesine gereksinim vardır.

### 2.10.1 Ülke ve bölge içindeki konumu

Marmara Bölgesi' nin kuzeydoğusunda yer alan Sakarya İli  $29^{\circ} 57'$  ve  $30^{\circ} 53'$  doğu boylamları ile  $40^{\circ} 17'$  ve  $41^{\circ} 13'$  kuzey enlemleri arasında kalmaktadır. Aşağı Sakarya Havzası'nda  $4\ 817\ \text{km}^2$  alan kaplayan ilin merkezi Adapazarı kentinin ortalama yükseltisi  $31\ \text{m.}$ 'dir.



Şekil 2.29. Sakarya ili'nin ülke içindeki yeri

Doğuda Çamdağı, güney ve güneydoğuda Samanlı Dağları, kuzeyde Karadeniz ile sınırlanan Sakarya ilinin, batıda belirgin bir doğal sınırı yoktur. Sakarya Vadisi'nin, Kocaeli Platosu ve İzmit Körfezi'nin doğusunda da süren çöküntü alanı, ilin bu bölümüne girer.

İl toprakları yönetsel açıdan, doğuda Bolu, Göynük, Mudurnu, Düzce ve Akçakoca, güneyde Bilecik'in Gölpazarı ve Osmaneli, batıda ise Kocaeli'nin Kandıra, Merkez ve Gölcük ilçeleriyle çevrilidir.

### 2.10.2. Doğal yapı

Sakarya ilinin yüzey şekilleri sade bir özellik gösterir. Bunları üç bölümde incelemek mümkündür.

- a) Kuzeydeki tepelik alan
- b) Orta Adapazarı Ovası veya Akova düzlüğü
- c) Güneydeki engebeli topraklar

İl alanı, güneyden kuzeye doğru uzanarak Kocaeli pennepleninin yani, yarı ovalarının doğusunda Karadeniz'e açılır. Üçüncü zamanın sonları ile dördüncü zamanın başlarında oluşmuştur.

Bu jeolojik zamanda ortaya çıkan kıvrılma ve kırılma hareketleri nedeniyle Trakya'nın güney, Kocaeli Yarımadası'nın kuzeye doğru farklı yönlerde çarpılmasına neden olmuştur.

Çarpılmanın etkisi Sakarya ilinde daha güçlü olmuş ve il alanı Karadeniz'e doğru eğim kazanmıştır. Sakarya Nehri'nin İç Batı Anadolu Platoları'ndan taşıdığı maddeler, il alanında yığılarak alüvyal ve kolüvyal ovalar oluşturmuştur.

Yüzey şekillerinin başlıca ögesini Adapazarı Ovası oluşturur. Elips biçimli olan ova, doğuya ve güneydoğuya doğru bir körfez gibi sokulur. Batıya doğru Sapanca Gölü'nü içine alan ve İzmit Körfezi'nin doğusundaki ova ile birleşen oluk biçimindeki bir çukurda uzanır. Güneydoğu yönünde ise, Samanlı Dağları'nın dik yamaçlarına dayanır. Sakarya Irmağı, Geyve Boğazı aracılığı ile bu dağlar arasından ovaya çıkar.



İlde platolar önemli bir yer tutar. Dağlar ilin güney yarısında yoğunlaşır. Kuzey Anadolu sistemine bağlı dağlar, ilin alanına yakın kesimlerde alçak platolara dönüşerek doğu-batı yönünde uzanır.

İlin orta ve batı kesimleri Kocaeli platosunun uzantısı durumundadır. Yer yer görülen düşük yükselteli tepeler dışında genellikle alçak ve düz bir yapıdadır.

İl topraklarının yeryüzü şekillerine göre dağılım yüzdeleri:

Dağlar %34

Platolar %44

Ovalar %22 şeklindedir .

### 2.10.3. Nüfus

Sakarya ilinin nüfusu 756 168' dir. Merkez ve diğer ilçelerdeki dağılım ise şöyledir (Tablo 2.6., 2.7):

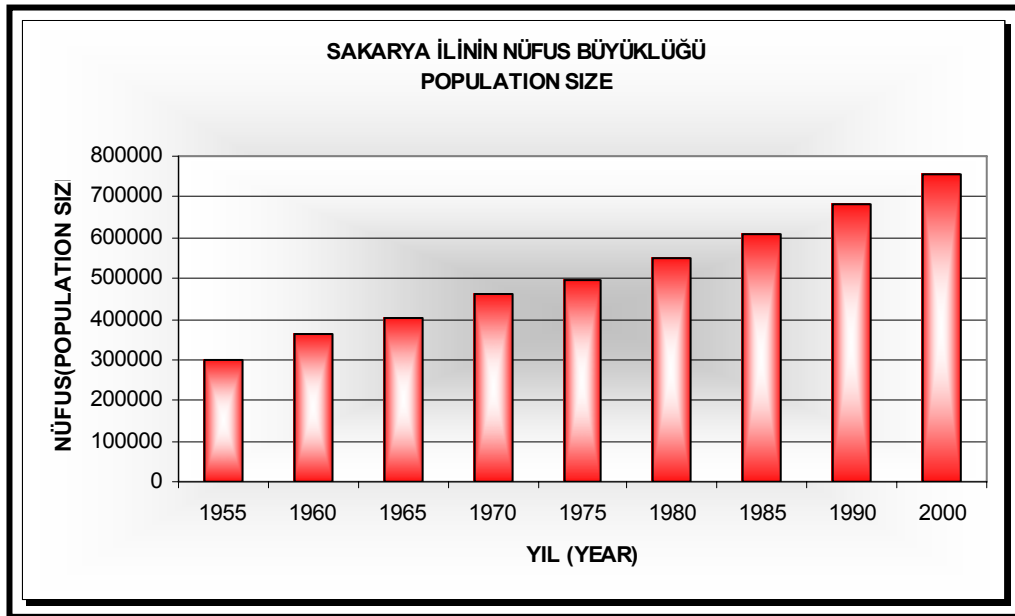
Tablo 2.6. Sakarya ili nüfus dağılımı

İLÇELER	1990			2000		
	NÜFUS	YÜZÖLÇÜMÜ km <sup>2</sup>	YOĞUNLUK (km <sup>2</sup> /kişi)	NÜFUS	YÜZÖLÇÜMÜ km <sup>2</sup>	YOĞUNLUK (km <sup>2</sup> /kişi)
<b>MERKEZ</b>	316 307	646	490	340 825	546	624
<b>FERİZLİ</b>	16 086	158	102	24 383	133	183
<b>SÖĞÜTLÜ</b>	1 361	143	95	14 316	94	152
<b>AKYAZI</b>	63 884	593	108	77 536	617	126
<b>GEYVE</b>	41 331	628	66	44 907	727	62
<b>HENDEK</b>	60 268	590	102	63 703	585	109
<b>KARAPÜRÇEK</b>	13 473	188	72	11 073	170	65
<b>KARASU</b>	47 973	458	105	5 463	477	115
<b>KAYNARCA</b>	44 435	352	69	24 339	363	67
<b>KOCAALİ</b>	28 435	282	101	30 676	315	97
<b>PAMUKOVA</b>	21 023	293	72	24 072	360	67
<b>SAPANCA</b>	25 167	152	166	34 496	119	307
<b>TARAKLI</b>	11 099	334	33	9 212	332	28



Tablo 2.7. Sakarya İli ve İlçeleri Nüfus Artışı (1997-2000)

İLÇELER	1997	2000	%
MERKEZ	316 995	340 825	% 7
FERİZLİ	20 103	24 383	% 21
SÖĞÜTLÜ	13 249	14 316	% 8
AKYAZI	72 574	77 536	% 6
GEYVE	42 208	44 907	% 6
HENDEK	59 172	63 703	% 7
KARAPÜRÇEK	9 968	11 073	% 11
KARASU	46 103	5 463	% 18
KAYNARCA	23 753	24 339	% 2
KOCAALİ	27 521	30 676	% 11
PAMUKOVA	21 023	24 072	% 14
SAPANCA	29 845	36 496	% 22
TARAKLI	10 436	9 212	% -12

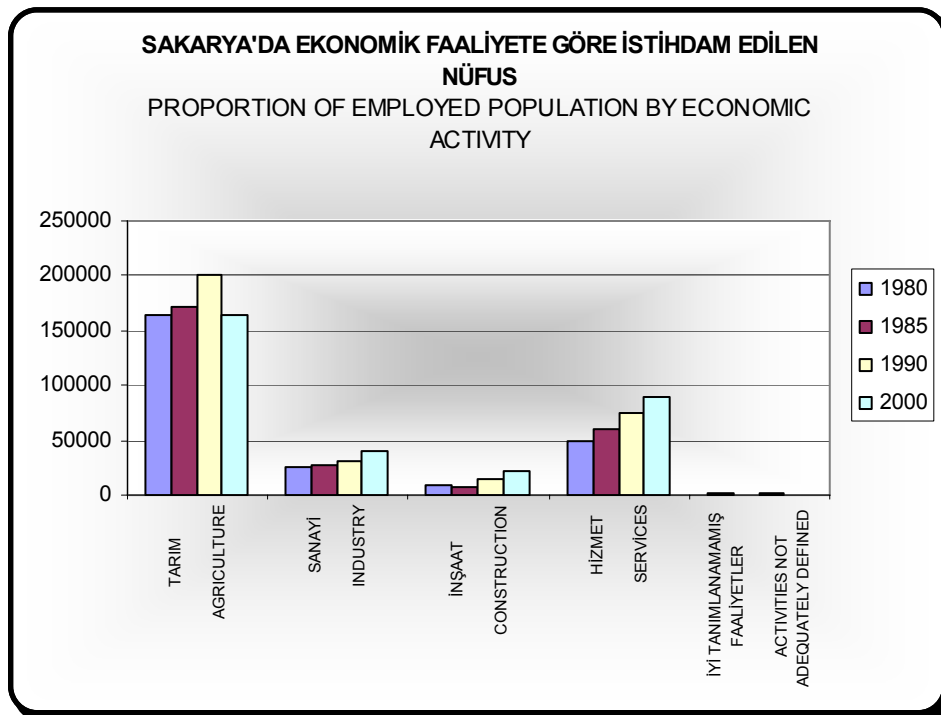


Şekil 2.30. Sakarya ilinin nüfus artışı

#### 2.10.4. Ekonomik yapı

Sakarya, coğrafi konumu itibariyle sanayi ,tarım ve turizm yatırımlarına uygun bir nitelik taşımaktadır. Özellikle İstanbul, İzmit ve Bursa üçgeninde, sanayinin yoğunlaşması ile Sakarya, alternatif yatırım alanı olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. 1994 yılının ikinci yarısında üretime geçen Toyota-Sa otomobil üretim tesisleri , Toprak İlaç gibi büyük firmaların Sakarya'yı tercih etmeleri bunun göstergesidir. Sakarya iline yapılan yatırımların nedeni, ilin E5 Karayolu, TEM Otoyolu, Demiryolu hattı ve büyük il merkezlerine olan yakınlığıdır (İstanbul, İzmit, Ankara).

Tarım ve turizmde, ilin çok iyi değerlendirilmesi gereken mevcut potansiyelleri bulunmaktadır. Özellikle son yıllarda Sakarya Ovaları, tarımda yeni bir ürünle tanışmıştır. Dünyaca ünlü Philip-Morris-Reynold ve Camel gibi sigara üretim firmalarının Türkiye' de yaptıkları uzun süren araştırmalardan sonra Sakarya ovalarının Virginia ve Burley tipi tütün ekimine uygunluğu anlaşılınca, söz konusu firmaların Sakarya'daki tütün ekimi hızla artmaya başlamıştır. Tütün alternatif bir ürün olmaya aday durumuna gelmiştir.



Şekil 2.31. Sakarya'da ekonomik faaliyete göre istihdam edilen nüfus

Sakarya ili, Karadeniz kıyıları boyunca uzanan kumsalların, özellikle romatizmal hastalıkların tedavisi açısından bir tercih nedenidir. Ayrıca Akyazı ilçesinde bulunan kaplıcalar, sağlık turizmi açısından büyük önem taşımaktadır.

Çalışan nüfus ve gayri safi yurt içi hasılaya bakıldığında, Sakarya ilinde baskın sektör olarak sanayi sektörü görülmektedir. Dolayısıyla sanayi alanlarının bu bölgede yoğunlaşması ve beraberinde gelen nüfus hareketleri nedeni ile depremselliği yüksek olan bölge, yaşanılacak olası depremlerde büyük tehlike altında bulunmaktadır.

## **BÖLÜM 3. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ**

### **3.1.Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışının Nedenleri**

Bir yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır:

- 1) Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle, gerilme-şekil değiştirme ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) bağıntılarının (bünye denklemleri) doğrusal olmaması.
- 2) Geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

Yer değiştirmelerin denge denklemlerindeki etkisinin terk edilemeyecek mertebeye ulaştığı sistemlerde, denge denklemleri şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır.

Yer değiştirmelerin geometrik uygunluk koşullarındaki etkisinin terk edilemeyecek mertebeye ulaştığı sistemlerde ise, geometrik süreklilik denklemlerinin de şekil değiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir.

Malzemenin doğrusal olmayan davranışının ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerine etkisinin dikkate alındığı bu teori İkinci Mertebe Elasto plastik Teori olarak adlandırılmaktadır [7].

### **3.2.Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Teoriye Göre Hesabı**

Yapı sistemlerinin yatay kuvvet etkisindeki analizlerinde, genel olarak basitleştirilmiş statik yöntemler kullanılmaktadır. Yönetmeliklerde de yer alan bu

yöntemlere göre yapılan analizler, yapıların deprem etkilerine karşı elastik sınırlar içinde davranacağı esasına dayanmaktadır. Doğrusal davranışı esas alan bu yöntemlerde, malzemeye ait gerilme-şekil değiştirme ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) bağıntıları doğrusal-elastik alınmakta ve yer değiştirmelerin sınırlı olduğu varsayılmaktadır.

Deprem etkilerine göre yapı sistemlerinin analizinde, malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını hesaba katmak üzere, yönetmeliklerde taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir deprem yükü azaltma katsayısı ile küçültülmektedir. Dolayısıyla doğrusal-elastik analiz yöntemleri davranış katsayısına bağlıdır ve hesaplanan katsayıya göre bir davranış beklenmektedir. Gerçekte ise, deprem etkileri yapıyı bu katsayının olmadığı bir davranışa maruz bırakmaktadır.

Elastik analiz yöntemleri, yapının elastik kapasitesinin iyi bir şekilde belirlenmesine ve ilk elastik ötesi davranışın nerede olabileceğini göstermesine karşı, yapının göçme mekanizmasını belirleyemez ve elastik ötesi davranışlar sonucu oluşan kuvvet dağılımlarını da dikkate almamaktadır.

Ayrıca deprem etkilerinin elastik sınırlar içinde karşılanması kabulü ekonomik olmayan çözümlere neden olmaktadır. Yapının ömrü boyunca karşılaşması ihtimali düşük olan deprem yüklerinin, sürekli olarak yapı sistemi üzerinde yer alan düşey yükler gibi elastik sınırlar içinde hesaplanması çok doğru olmamaktadır. Bu durumda deprem etkileri altında yapının elastik ötesi kapasitesinin devreye sokulması gerekmektedir ve bu kapasitenin hesaplanabilmesi için doğrusal olmayan analiz şarttır.

Yapı malzemelerinin doğrusal-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitelerini göz önüne almak, çok küçük olmayan yer değiştirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarını daha yakından izlemek ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik çözümler üretmek mümkündür. Ayrıca doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden faydalanarak, deprem etkileri altında yapı sistemlerinin performansları belirlenebilmektedir.

Yapı sistemlerinin malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan analizinde (ikinci mertebe elasto plastik teoriye göre analizinde) hesap yöntemleri, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin sistem üzerinde sürekli olması durumunun dikkate alındığı yöntemler ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsallık (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davrandığı kabulünün yapıldığı plastik mafsallık (plastik kesit) hipotezine dayanan yöntemler olarak ayrılmaktadır [7].

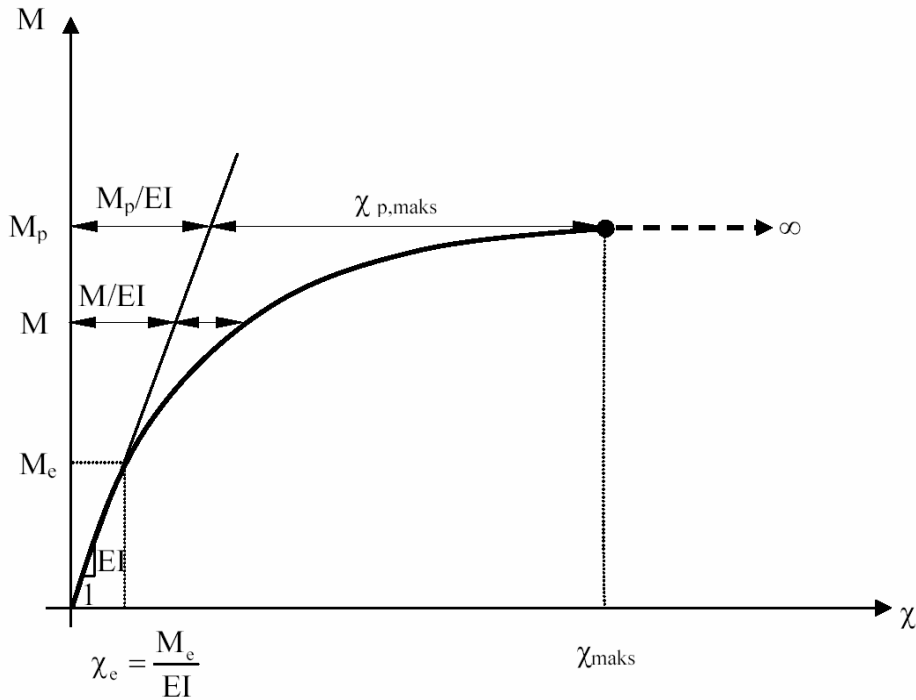
Tez çalışması kapsamında da kabul olarak dikkate alınan plastik mafsallık (plastik kesit) hipotezi, Bölüm 3.3’de ayrıntılarıyla açıklanmıştır.

### **3.3. Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Teoriye Göre Analizinde Plastik Mafsallık (Plastik Kesit) Hipotezi**

Betonarme kesitlerde moment etkisi altında dönme meydana gelmektedir. Yeterli sünekliğe sahip betonarme kesitleri eğilme momenti-eğrilik ( $M-\gamma$ ) ilişkileri incelendiğinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntılarının esas olarak iki farklı bölgeden oluştuğu gözlenmektedir. Birinci bölgede, eğilme momentinin düşük değerleri için, betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik bağıntıları doğrusal-elastik olarak kabul edilebilir. Bu bölgede, kesitteki beton ve beton çeliği de doğrusal davranış bölgesinde kalmaktadır.

Eğilme momentinin artan değerleri için, sırasıyla kesitte çatlama ve donatıda akma meydana gelmektedir. Kesitteki gerilmelerin artmasıyla birlikte, betonda ve beton çeliğinde doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin kesitin davranışında hakim olmaya başlaması, kesitin eğilme momenti-eğrilik bağıntısının doğrusal davranışı terk etmesine neden olmaktadır.

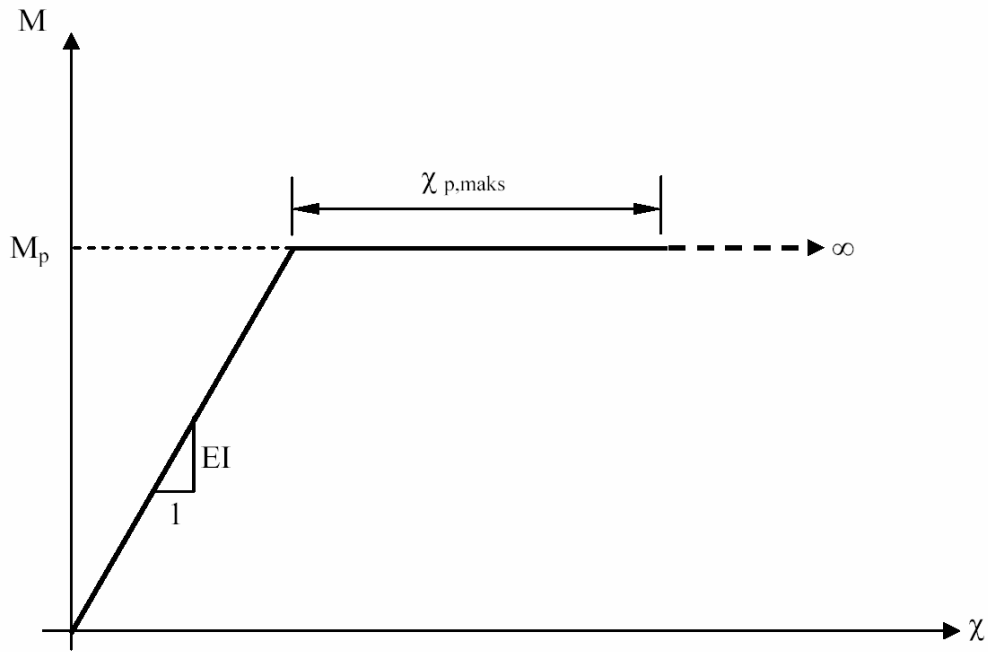
Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde, eğri yataya yakın olmaktadır. Plastik davranışın hakim olduğu bu bölgede, kesite etkiyen eğilme momentinde çok küçük artımlar meydana gelirken kesit dönmeleri ve eğrilik hızlı bir şekilde artmakta ve eğriliğin sınır değerine erişmesi ile kesitte güç tükenmesi meydana gelmektedir[4].



Şekil 3.1. Eğilme momenti – eğrilik diyagramı

Plastik mafsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge, biri yatay olmak üzere iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir. Bu iki nokta kesin bir nokta ile birbirinden ayrılmamasına rağmen, çekme donatısının akmaya erişmesi ve betondaki birim kısalmanın  $\epsilon_{co}$  sınır değerine ulaşması, bu iki doğrusal davranışı birbirinden ayıran nokta olarak kabul edilebilmektedir [7].

Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsal (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davrandığı varsayılabılır. Plastik dönmelerin bu şekilde belirli bir bölgede toplanması plastik mafsal (plastik kesit) olarak adlandırılmaktadır. Plastik mafsalarda kesit dönmeleri eğilme momentinin en büyük değerine ( $M_p$ ) ulaşması ile ortaya çıkmaktadır. Plastik mafsalı adi mafsaldan ayıran en önemli özellik, plastik mafsal bölgelerinde kesitin moment artışı olmaksızın dönmeye devam etmesidir.



Şekil 3.2. İdealleştirilmiş bünye bağıntısı

Plastik mafsall hipotezinin uygulanmasında, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı

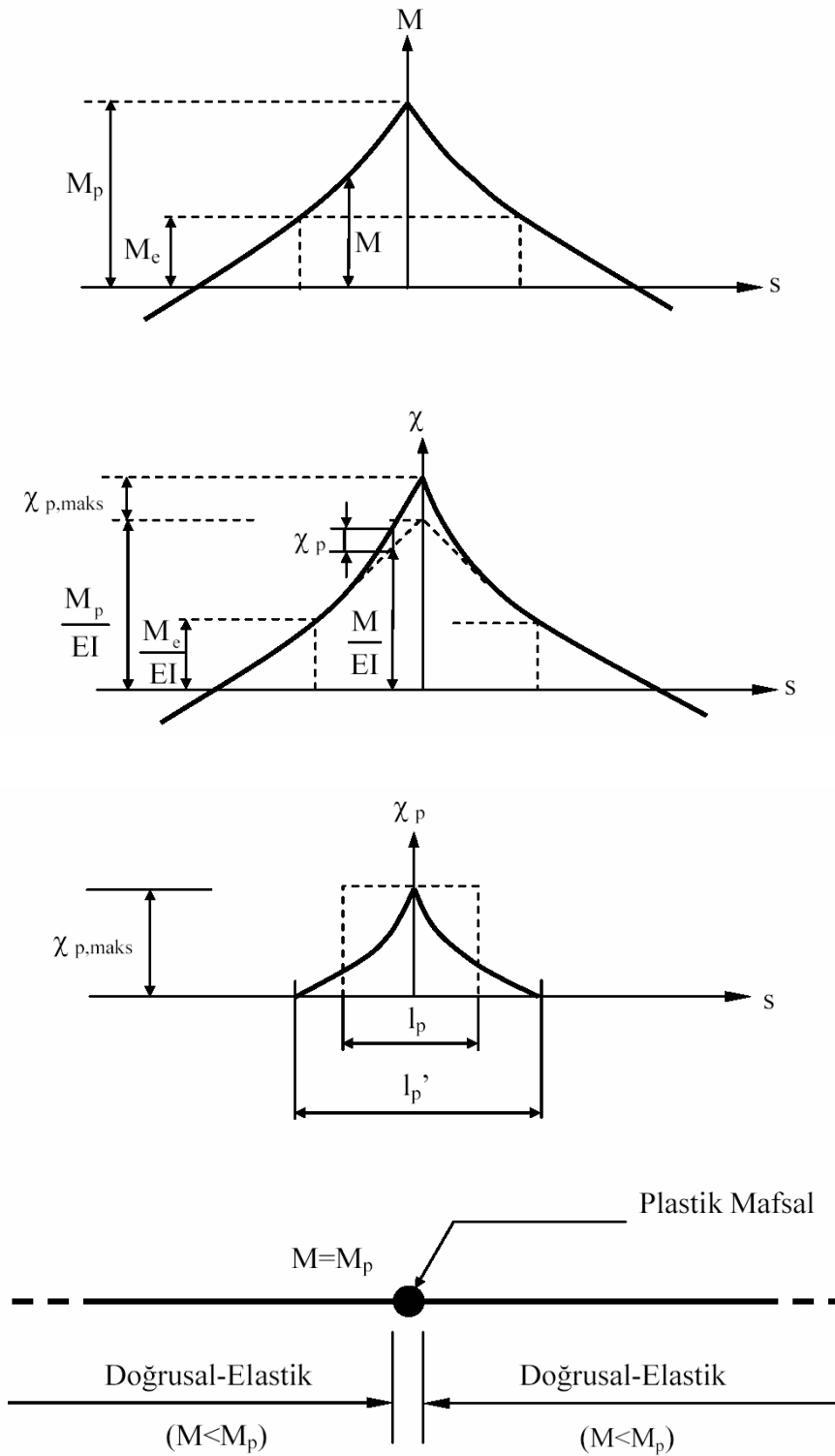
$$M < M_p \quad \text{için} \quad \chi = \frac{M}{EI} \quad (3.1a)$$

$$M = M_p \quad \text{için} \quad \chi \longrightarrow \chi_{p,maks} \quad (3.1b)$$

şeklinde iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir (Şekil 3.2).

Artan dış yükler altında, plastik mafsall dönmelerinin artarak dönme kapasitelerine ulaşması durumunda meydana gelen büyük plastik şekil değiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelmektedir. Sistemin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsall dönmelerinin dönme kapasitelerine erişmesi, yapının kullanılamaz hale gelmesine, fiili olarak göçme meydana gelmese de teknik açıdan yapının göçmesine neden olmaktadır.





Şekil 3.3. Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler

Gerçek eğilme momenti-eğrilik ilişkisi Şekil 3.1’de verilen bir düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekil değiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri Şekil 3.3’de verilmektedir.

Şekil 3.3’de de görüldüğü gibi, plastik şekil değiştirmeler, eleman üzerinde  $l_p$  uzunluğunda bir bölgede toplanmakta ve en büyük eğrilik  $\chi_{p,maks}$  değerine eşit olmaktadır.

Plastik mafsal hipotezinde, çubuk elemanı üzerinde  $l_p$ ’ uzunluğundaki bir bölgede sürekli olarak yayılmış olan plastik şekil değiştirmelerin

$$\theta_p = \chi_p l_p = (\chi - \chi_e) l_p \quad (3.2)$$

şeklinde, plastik mafsal olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır.

Verilen bağıntıda  $\theta_p$  plastik mafsal dönmesini göstermektedir.

Plastik mafsalın dönme kapasitesi ise

$$\theta_{p,maks} = \int_{l_p} \chi_p ds \quad (\chi_p \rightarrow \chi_{p,maks}) \quad (3.3)$$

şeklinde elde edilmektedir.

Maksimum plastik mafsal dönmelerine ait yukarıdaki bağıntıya alternatif olarak, dönme kapasiteleri aşağıda verilen yaklaşık bağıntı ile de elde edilebilmektedir.

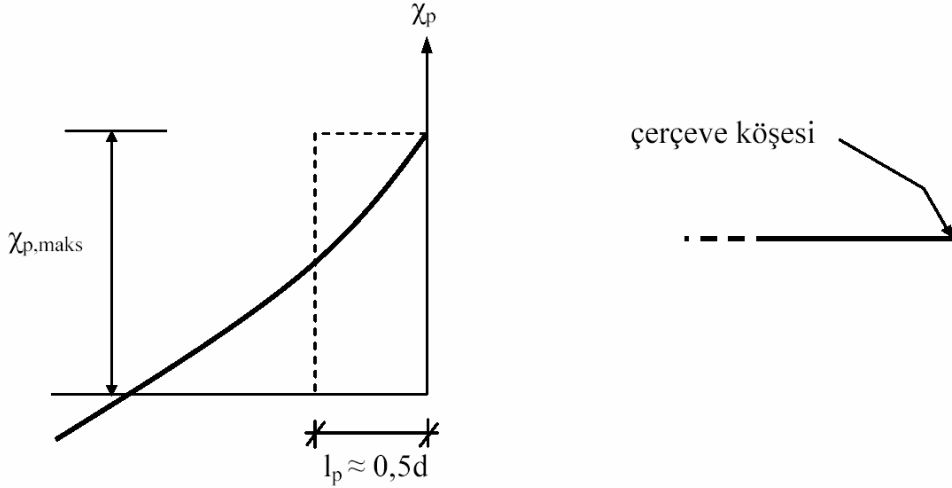
$$\theta_p = l_p \chi_{p,maks} \quad (3.4)$$

Burada  $l_p$  plastik bölge uzunluğunu (plastik mafsal boyunu) göstermekte ve yaklaşık olarak

$$l_p \approx 0,5d \quad (3.5)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Yukarıdaki ifadede,  $d$  enkesit yüksekliğine eşittir. Plastik mafsal bölgesi uzunluğu, moment-eğrilik diyagramına, eleman boyunca eğilme momentinin değişimine, kesit yüksekliğine ve kesitteki normal kuvvete bağlıdır.



Şekil 3.4. Plastik mafsal boyu

Betonarme yapı sistemlerinde, plastik mafsalların dönme kapasiteleri aşağıdaki etkenlere bağlı olarak değişmektedir:

- Betonun ve beton çeliğinin  $\sigma$ - $\epsilon$  diyagramlarını belirleyen  $s_{cu}$  ve  $s_{su}$  sınır birim boy değişimi değerleri
- Betonun  $s_{cu}$  birim kışalmasını etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni
- Plastik bölge uzunluğunu etkileyen enkesit boyutları
- Eleman boyunca eğilme momentinin değişimi
- Kesitteki normal kuvvet değeri

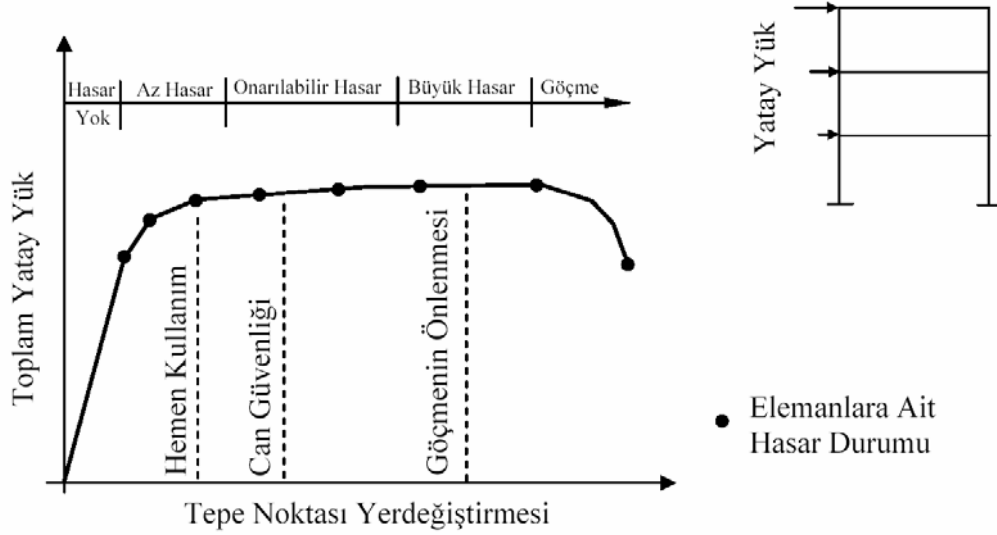
Yukarıda ayrıntılı olarak açıklaması yapılan plastik mafsal hipotezinin esaslarını şu şekilde vermek mümkündür:

- 1) Bir kesitte artan dış yüklerle birlikte, eğilme momenti de artarak  $M_p$  plastik moment değerine erişince, o kesitte plastik mafsall oluşmaktadır. Artmaya devam eden dış yükler altında, plastik mafsal gerçek bir mafsal gibi serbestçe dönmekte ve kesitteki eğilme momenti  $M=M_p$  olarak sabit kalmaktadır. Plastik mafsaldaki  $\theta_p$  plastik dönme değeri artarak  $\theta_{p,max}$  dönme kapasitesine erişince sistem kullanılamaz hale gelmekte, yani göçmektedir.
- 2) Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal elastik davranmaktadır.
- 3) Kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi durumunda,  $M_p$  plastik momenti yerine, kesitteki  $N$  normal kuvvet değerine bağlı olarak akma koşulundan (karşılıklı etki diyagramı) elde edilen indirgenmiş plastik moment ( $M_p$ ) değeri kullanılmaktadır.

### **3.4. Yapı Sistemlerinin Kapasitesini Belirlemede Doğrusal Olmayan Statik Artımsal İtme Analizi (Pushover Analizi) Yöntemi**

Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinde, yapı sistemleri iki veya üç boyutlu analitik modellerle temsil edilmektedir. Yapıların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri, yapının deprem yükleri altındaki dayanımını temsil eden yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirme ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimleri bakımında doğrusal olmayan teoriye (ikinci mertebe elastoplastik teori) göre elde edilmesi ve değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinde, yapı dinamik atalet kuvvetlerini temsil etmek üzere, kat seviyelerine etki eden yatay yükler ile zorlanmaktadır. Yatay yüklerin uygulanması esnasında, yapıda düşey yükler de yer almaktadır. Statik yatay yükler, her adımda aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmakta ve belirli bir yerdeğiştirme veya göçme durumuna erişilinceye kadar yapıya ait yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirme ilişkisi belirlenmektedir. Pushover analizi olarak da bilinen doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi, yapının elastik ötesi deformasyon yeteneği ve hasar durumunu belirlemek üzere, artımsal doğrusal olmayan statik itme analizlerden ibarettir. Yatay yükler aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmaya devam ederken, kesitlerin biri veya birkaçı taşıma kapasitelerine erişmekte ve bu kesitlerde plastik mafsall oluşmaktadır. Plastik mafsall oluşan kesitler,

taşıma güçlerinde değişme olmaksızın dönmeye devam etmektedir. Plastik mafsallar arasında sistem, doğrusal-elastik davranmaktadır. Yatay yükler arttırılmaya devam edilerek, yapının bir bölümünü veya tamamını mekanizma durumuna getiren göçme yüküne (limit yük) ulaşılmaktadır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinden (pushover analizi) elde edilen tipik bir yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 3.5’de verilmektedir.



Şekil 3.5. Doğrusal olmayan statik analizden elde edilen tipik performans eğrisi

Kapasite eğrisi (pushover eğrisi) olarak adlandırılan yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi sayesinde yapıda veya elemanlarda oluşabilecek hasar, kısmi veya toptan göçme durumları elde edilebilmekte; yapının zayıf elemanlar ve bunların oluşma yerleri, yapı sisteminin göçmesine ait limit yük ve göçme anındaki yer değiştirme değeri, yapı sisteminin ve elemanların deformasyon talepleri belirlenebilmektedir. Ayrıca belirli bir deprem tehlike seviyesi için, yapının kendisinden istenen performans seviyesini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilebilmektedir [5].

## **BÖLÜM 4. 17 AĞUSTOS 1999 MARMARA DEPREMİNDE HASAR GÖREN ARİFİYE ÜSTGEÇİT KÖPRÜSÜ**

Her türlü doğal ve insan yapısı engellerin aşılması için kullanılan köprü, tünel ve diğer sanat yapıları, kara ve demiryolu şebekesinin önemli ve kaçınılmaz parçalarıdır. Bir depremden sonra can ve mal güvenliğinin sağlanması acil yardım götüren trafiğin aksamadan akışına bağlı olduğundan, köprü ve tüneller bir şahdamarı olarak görev yapmaktadır.

Son yıllarda karayolu ve demiryolu köprülerinin deprem tesirlerine karşı koyacak şekilde tasarımı için gerçekçi ve geliştirilmiş prosedürlerin elde edilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmış bulunmaktadır. Eskiye kıyasla daha geliştirilmiş prosedürlerin uygulanma ihtiyacı, orta büyüklükte bir deprem olan 1971 San Fernando depreminin merkez üstü bölgesinde bulunan yeni inşa edilmiş bazı köprülerin uğradığı hasar sonucu ortaya çıkmıştır. San Fernando depreminin yol açtığı hasar, köprü ayaklarının duktiliteyi sağlayacak şekilde detaylandırılmamış bulunması ve yaklaşım duvarları ile mafsalardaki mesnetlenme boylarının yetersizliğinden kaynaklanmıştır.

Şiddetli bir deprem yer hareketi sırasında elastik sınırlar içinde davranış gösteren bir yapının uğradığı maksimum ivme sınırı, yerin maksimum ivmesinin birkaç misli olabilir. Bu sınırın kesin değeri yapının kütle ve rijitlik dağılımı, enerji sönümü gibi bazı faktörlere bağlıdır. Çoğu zaman belirli bir yapıyı, o yapının maruz kalabileceği en şiddetli deprem hareketi sırasında elastik sınırlar içinde kalacak şekilde dizayn etmek ekonomik çözüm olmaz. Bunun sonucudur ki şartnamelerde verilen statik eşdeğer yükler şiddetli bir depremde meydana gelebilecek yüklerden çok daha azdır. Görünürdeki bu çelişkinin izahı iyi tasarlanmış ve detaylandırılmış yapıların kontrollü elastik sınır ötesi yer değiştirmeler sayesinde enerjiyi tüketebilme yeteneği

ve rijitlikte meydana gelen azalmalar dolayısıyla peryotta meydana gelen artışlar ile yapılmaktadır.[18]

Köprülerde kütlelerin büyük bir kısmı kirişler, plaklar, diyafram ve kaplama gibi unsurların bulunduğu tabliye yapısında toplanmıştır; dolayısıyla bir deprem yer hareketi sırasında ortaya çıkan atalet kuvvetleri buradan kaynaklanır. Bu kuvvetler sonuçta ayaklar ve yaklaşım mesnetlerindeki bağlantılar vasıtasıyla karşılanır. Tabliyenin kendisi ise genellikle fazla bir zorlamaya maruz kalmaz. Ayaklar, bağlantılar ve temeller dolayısıyla deprem yüklemesi açısından kritik tasarım bölgelerini meydana getirir.

#### **4.1. Köprülerde Depremden Dolayı Gözlenen Hasar Türleri**

Geçmişte deprem etkisine maruz kalmış köprülerin performansı incelendiğinde bazı köprülerin bileşenlerinin diğerlerine nazaran depremden daha fazla etkilendiği gözlenmiştir. Bu elemanlar mesnet taşıyıcıları, kolonlar, orta ve kenar ayaklar ve temeller olarak sıralanabilir. Genelde üst yapıda mesnet hareketlerinin dışında başka bir etki gözlenmemiştir.

##### a) Üst yapı hasarları

En sık rastlanan hasar türü üst yapının mesnetlerindeki yer değiştirmeden dolayı düşmesidir. Bu tür hasara üst yapıda süreksizlik, yetersiz mesnet boyu, mesnetlerin köprü eksenine açılı olması veya köprü ayakları altındaki zemin çökmeleri sebep olabilir.

##### b) Alt yapı hasarları

Alt yapı hasarları, kolonlarda, köprü ayaklarında ve temellerde (pabuç ve kazık temel) olan hasarlar olarak karşımıza çıkar.

Kolonlarda ve köprü orta ayaklarındaki hasar türleri eğilme, kesme veya yetersiz ankraj boyu nedeniyle olan hasarlar olarak sınıflandırılabilir. Özellikle etriyelerin

yeterli miktarda ve gerekli yerlerde kullanılmaması kesme kırılmasının başlıca nedenidir.

Genellikle köprü kenar ayaklarındaki hasarlar köprünün tamamen çökmesine neden teşkil etmez. En çok gözlenen hasar türü ayak arkasındaki dolgunun oturması şeklindedir.

Zeminin fazla deformasyona uğraması veya sıvılaşarak yük taşıyamaz hale gelmesi, temellerde oluşan hasarların başlıca nedenidir (1964 Niigata depremi, 1964 Alaska depremi, 1976 Tangshan depremi, 1971 San Fenando depremi ve 1995 Kobe depremi). Bu tür etkenlerin sebep olduğu oturma, kayma, dönme ve hatta devrilmeden dolayı yapıda ciddi çatlaklar veya yıkılmaya varan hasarlar meydana gelebilir.

#### 4.2. Arifiye Üst Geçit Köprüsü

Deprem bölgesinde ekli haritada görülebileceği gibi devlet yollarına ilaveten Türkiye'nin batısından başlayıp, güney doğuya devam eden ana otoyol bulunmaktadır (Trans European Motorway TEM). Bu yol üzerinde en büyük hasar İzmit Doğu Çıkışı ile Akyazı Kavşağı arasında kalan 46 Km lik kesimde oluşmuştur (Şekil 4.1).

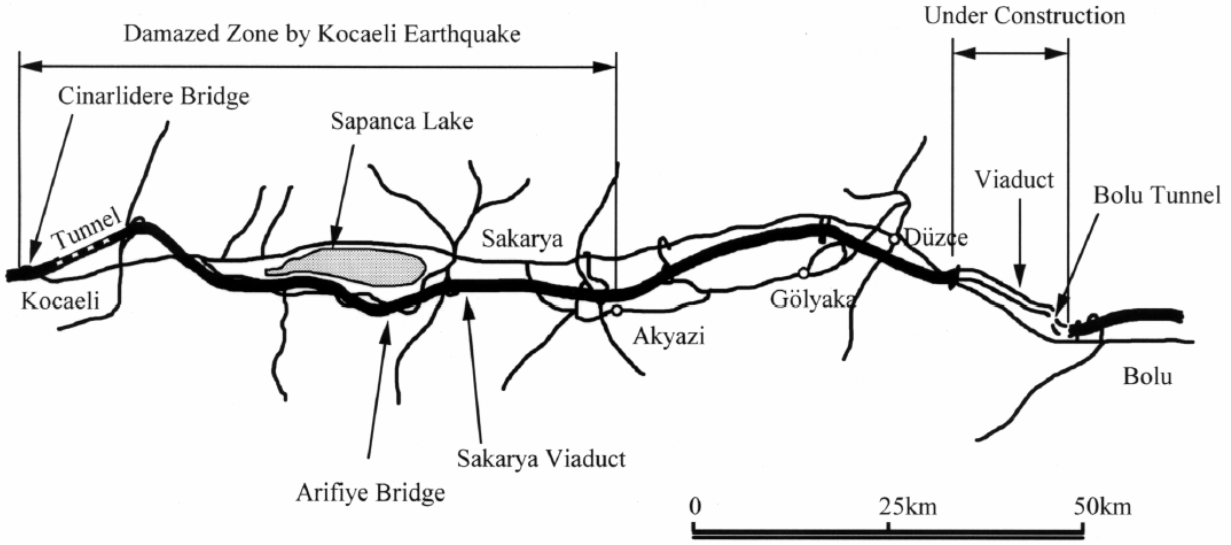


Şekil 4.1. Depremde hasar gören bölgenin haritası

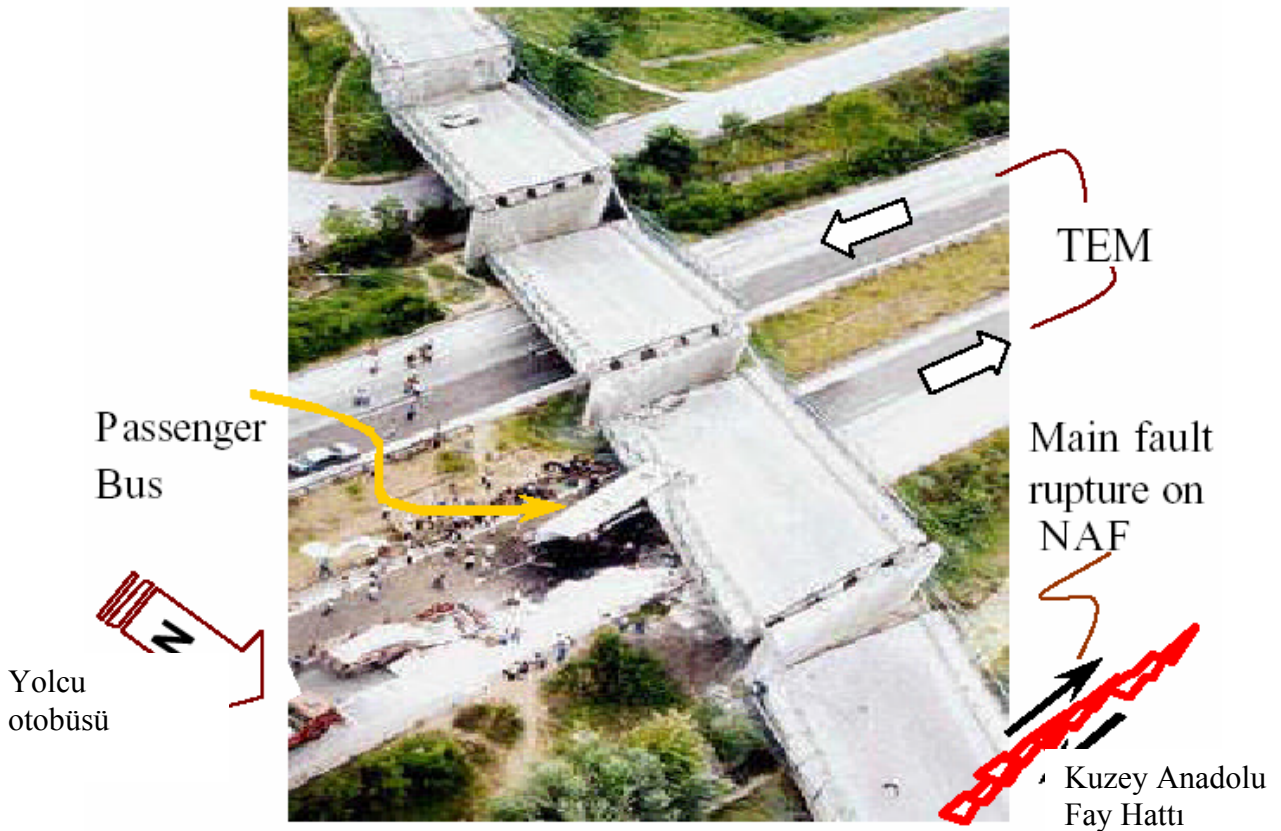
İzmit – Sakarya (Kazancı) Arasındaki otoyol sanat yapıları 1988 yılından sonra ENET-ARUP- DCIL Ortak girişimi tarafından boyutlandırılmıştır. Otoyolun bu kesiminde toplam açıklığı 200 metre ile 808 metre arasında değişen 7 tane viyadük, 9



tane köprü, 4 tane tünel, 27 tane üst geçit, 46 alt geçit, 5 tane yaya üst geçiti ile 3 tane yaya alt geçidi bulunmaktadır.



Şekil 4.2. Depremde hasar gören 46 km'lik bölge

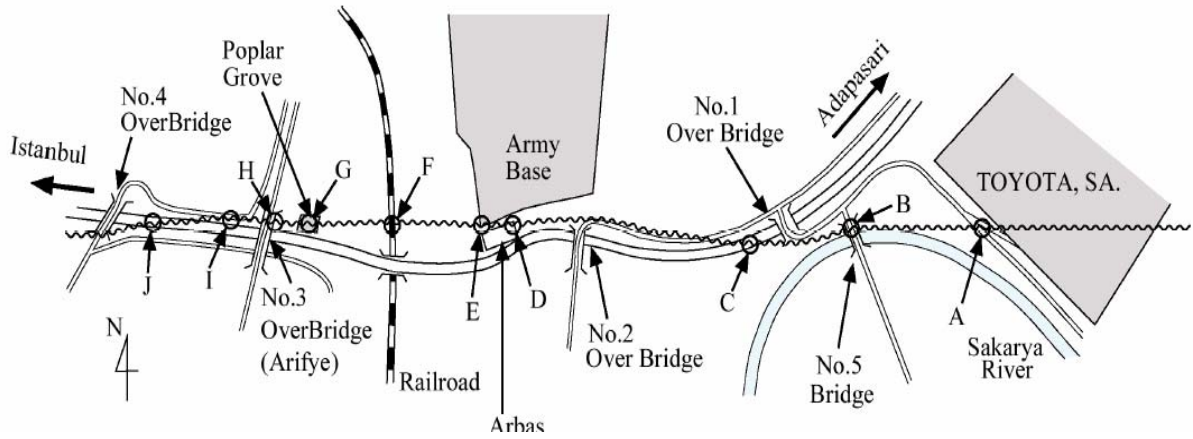


Şekil 4.3. Arifiye Köprüsü'nün depremden sonraki fotoğrafı

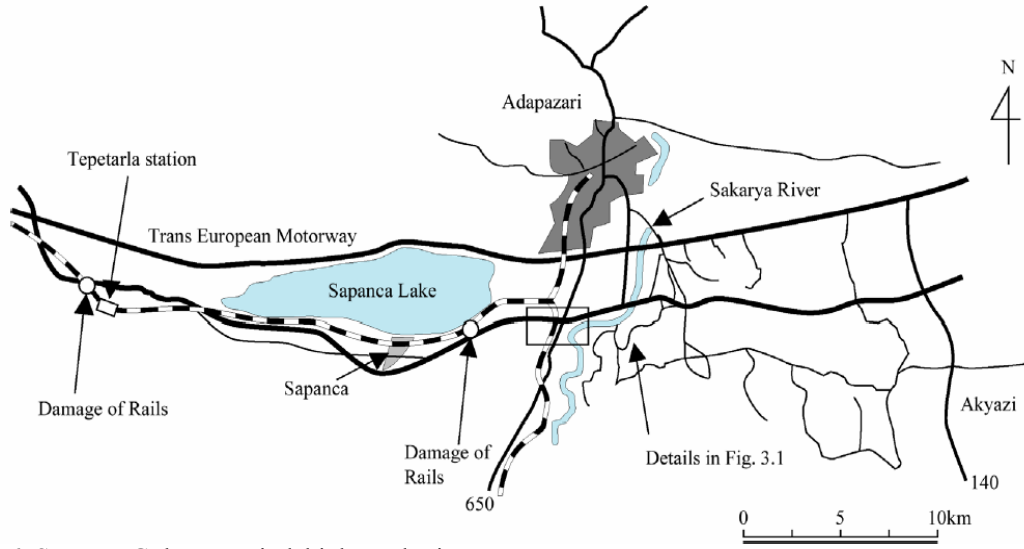
17 Ağustos 1999 Marmara depreminden sonra, özellikle çöken Arifiye üst geçidi civarında otoyolda kabarma ve çökmeler meydana gelmiştir. Kabarma ve çökmeler fay hattının geçtiği bölgede yoğunlaşmıştır. Bunlarla ilgili örnekler Şekil 4.4'te görülebilir. Otoyolun İzmit-Doğu çıkışı ile Akyazı kavşağı arasında kalan köprü ve alt geçiş yaklaşım dolgularında çökmeler meydana gelmiştir.



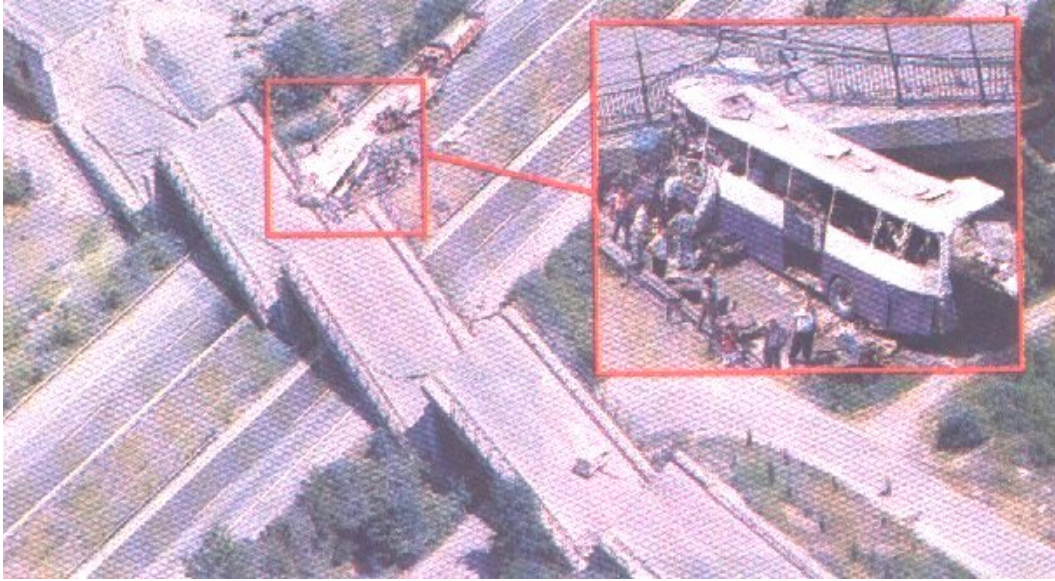
Şekil 4.4 TEM otoyolundaki kabarma ve çökmeler



Şekil 4.5. Hasar gören sanat yapıları ve KAF Hattı



Şekil 4.6. Sapanca Gölü çevresindeki hasar haritası



Şekil 4.7. Arifiye üstgeçidine çarpan yolcu otobüsünün görüntüsü

Arifiye Üstgeçidi otoyolun bu kesimini inşaatını üstlenen IGL-STFA-J.V tarafından muhtemelen 1989-1991 tarihleri arasında inşa edilmiştir. Yapının projeleri İtalyan IN. CO. S p A (Ingegneri Consulenti) mühendislik firmasınınca hesaplanmıştır. Projeler üzerinde en son revizyon tarihi 19.08.89, as built projeler üzerinde ise 4.9.91 tarihi bulunmaktadır.

Üst geçit 4 açıklıklı ve açıkların her biri 26 metredir (Şekil 4.9). Köprü en kesiti Şekil 4.8'de verilmiştir. Toplam en kesit 12.5 metre ve her iki taraf da 1.5 metrelik yaya yolu bulunmaktadır. Üst geçit otoyol eksenini 28.203 Grad lık açı ile kesmektedir. Bu nedenle üst geçidin ayakları otoyol eksenine paralel olarak yerleştirilmişlerdir.

Orta üç ayak 12.50 genişliğinde, 1.00 metre kalınlığında perde duvar şeklindedir. Söz konusu perde duvarlar Şekil 4.8'de gösterildiği gibi 5.30 metre genişliğinde 1.50 metre yüksekliğinde kazık başlığına oturmaktadır. Kazık başlığının altında yaklaşık yerleşimi verilen ve 50 metre derinliğe inen 8 tane 1.20 metre çapında betonarme kazık bulunmaktadır. Ayak yükseklikleri 8.0 metredir. Kenar ayaklarının istinad duvarları altında 14 tane 1.20 çaplı fore kazık kullanılmıştır.

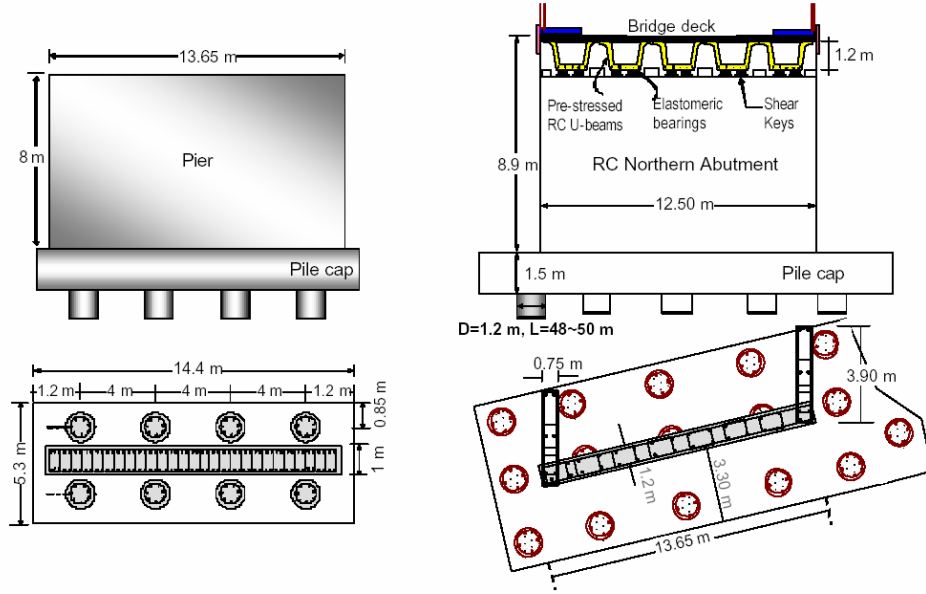
Köprü en kesiti 5 tane U şeklinde öngerilmeli betonarme kirişten oluşmaktadır (Şekil 4.8). Kirişlerde 56 tane 0.6 inch (15.24 mm) çapında her biri 16.75 tona gerilmiş kablo kullanılmıştır.

Köprü mesnetlerinden düşerek hasar görmüştür. Bunun en büyük nedeni fay hattının köprüye çok yakın geçmesidir. Ayaklarda dönmeler meydana gelmiş, mesnet boylarının yetersiz kalması nedeniyle üst geçit çökmüştür. Genel olarak üst yapıda bir hasar meydana gelmemiştir. Depremden sonra otoyolun açılmasında bu köprünün kaldırılması en büyük darboğazı teşkil etmiştir. Üst yapı hasar görmediğinden ve beton kalitesinin iyi olması nedeniyle kırıp kaldırma işlemi güçlükle tamamlanabilmiştir. Yolun bir an evvel trafiğe açılması gerektiğinden, mevcut kirişlerin yeniden kullanılabilmesi araştırılmamıştır.

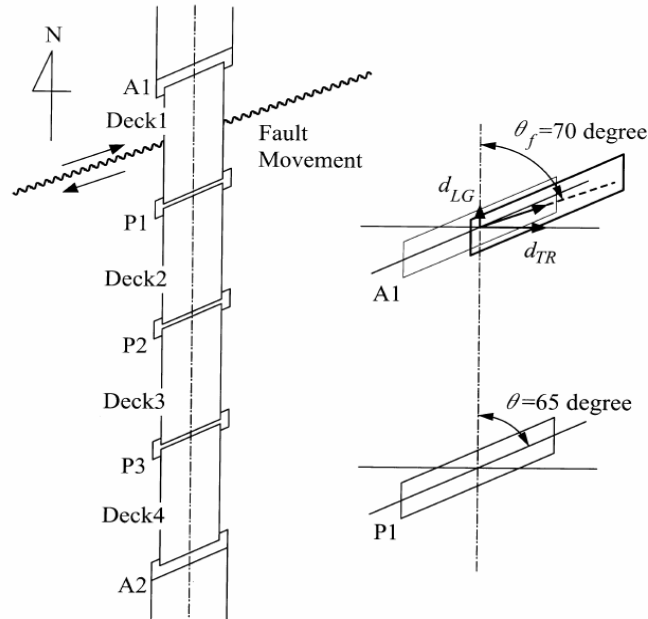
Köprünün boyutlandırıldığı yıllarda basit mesnetli köprüler için öngörülen ayak oturma mesafeleri (mevcut mesafe yaklaşık 50 cm), bu köprü için sağlanmaktadır. Şekil 4.14'de gösterilen N mesafesi 1. Derece deprem bölgelerinde 1992 yılındaki AASHTO'ya kadar

$$N = 305 + 2.5 \times L + 10 \times H \quad (4.1)$$

olarak verilmiştir. Eğer köprü vev ise oturma mesafeleri ( $1+0.000125S^2$ ) faktörü ile artırılması önerilmektedir. S Köprü eksenine ile ayakların arasındaki açının derece cinsinden ifadesidir. Yıkılan köprüde  $L = 26.0$  metre,  $H = 8.0$  metre ve  $S = 25.30$  derecedir. Bu durumda minimum oturma mesafesi 440 mm olmaktadır. Verevlik dikkate alındığında bu değer 475 mm çıkmaktadır. Sağlanan mesafe bu değere eşit veya çok az üzerindedir.

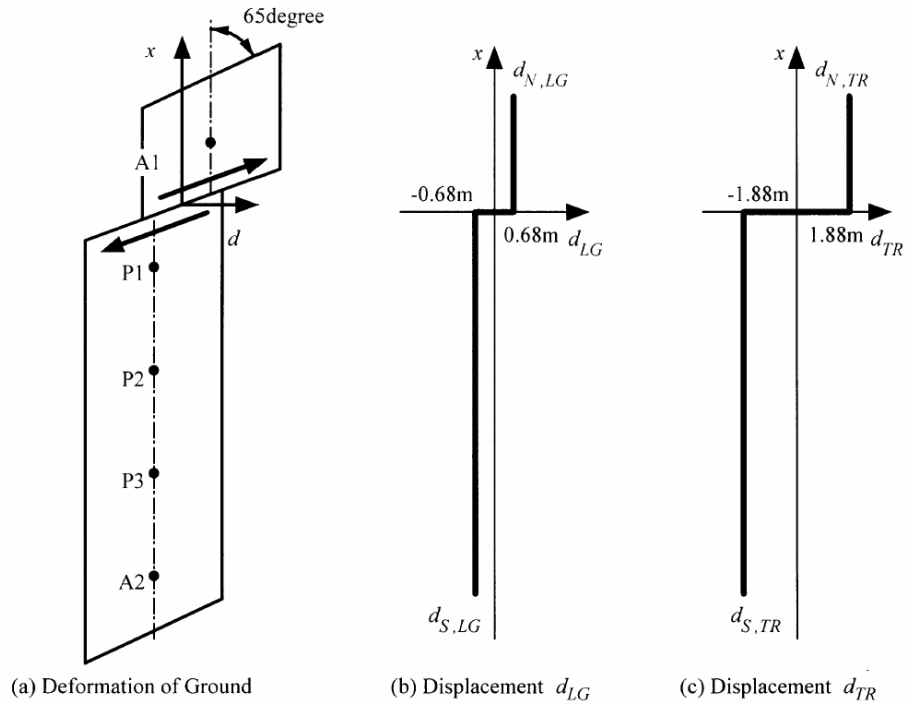


Şekil 4.8. Köprü en kesiti, perde duvarı

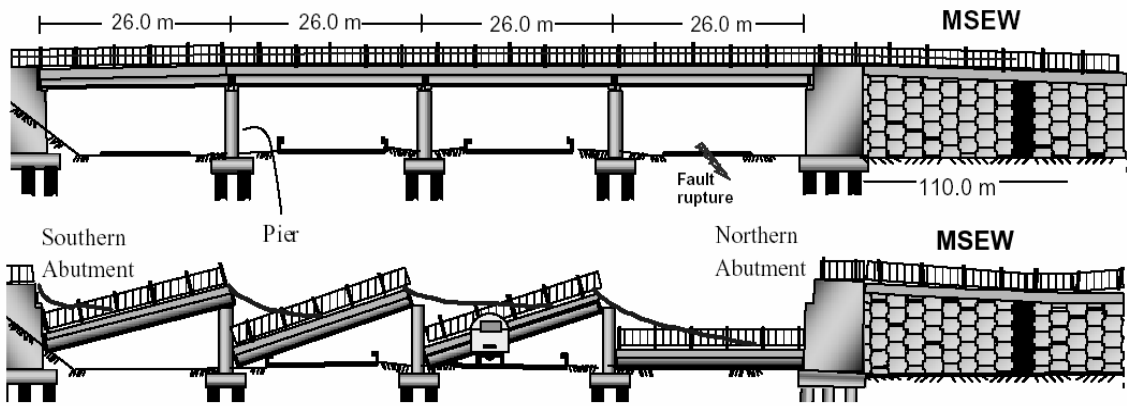


Şekil 4.9. Arifiye üstgeçidi planı





Şekil 4.10. Fay hareketi bağlı olarak yanıl hareketler

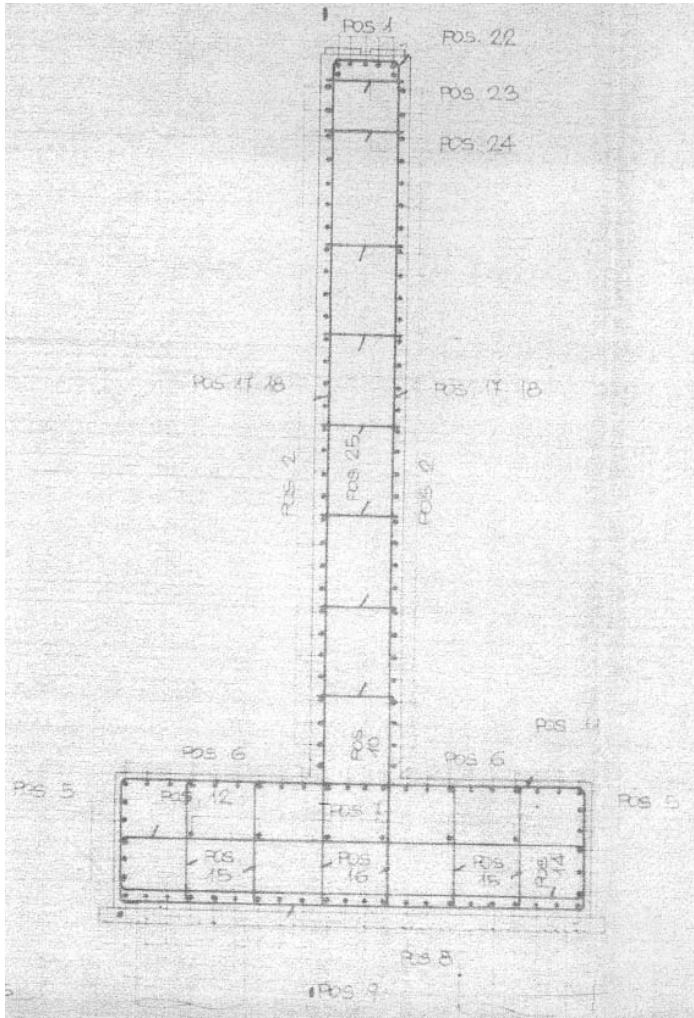


Şekil 4.11. Arifiye üstgeçidi boy kesit ve temel durumu

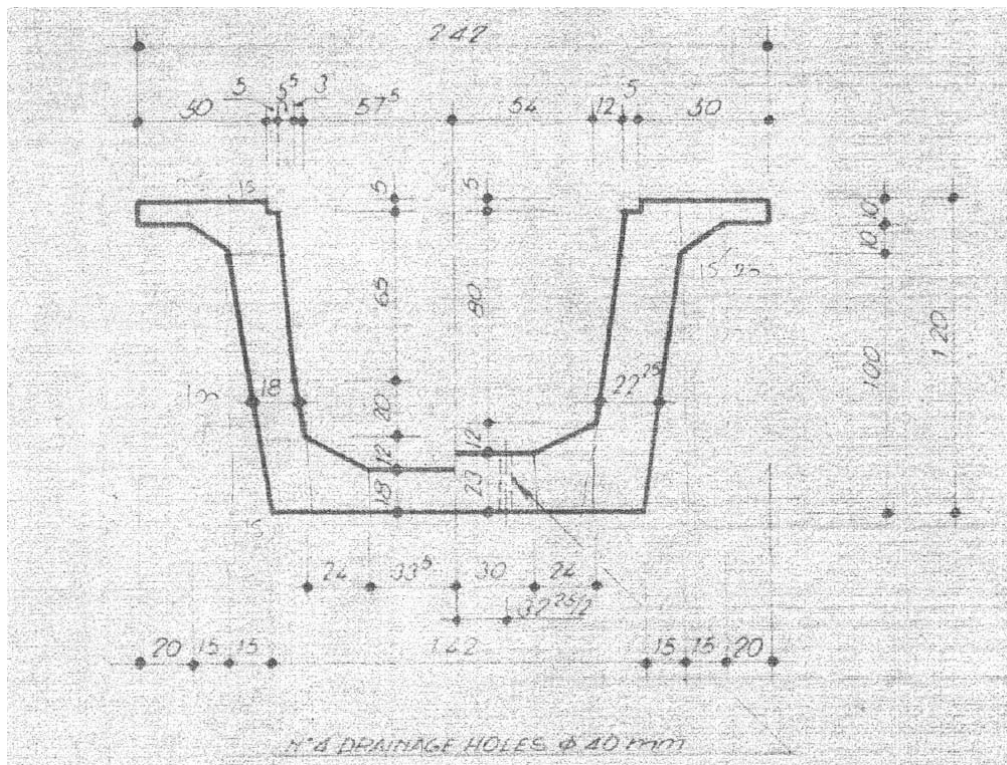
1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde çok sayıda köprü mesnet düşmesi nedeniyle hasar görmüştür. Bu nedenle şartnameler elden geçmiş, köprü mesnet oturma mesafeleri artırılmıştır. Aynı kesimde bulunan üst geçitlerde mesnetlerde oynama (yanıl hareketler) meydana gelmiş, fakat bunlar tamir edilebilir seviyelerde kalmıştır. (Şekil 4.10). Bu köprülerde mesnet oturma mesafeleri kritik olduğundan, bundan sonra yapılacak çalışmalarla, mesnet mesafeleri genişletilmeli veya mesnet bölgesinde güçlendirme ve düzeltmeler yapılmalıdır.

Arifiye üst geçidinin hasar görmesinin diğer bir nedeni verev köprü olmasından kaynaklanmıştır. Köprüde üst döşeme mütemadiliği sağlayacak şekilde birbirine bağlanmamıştır. Bağlantılar genelde konstrüktif olarak yapılmıştır (Şekil 4.9).

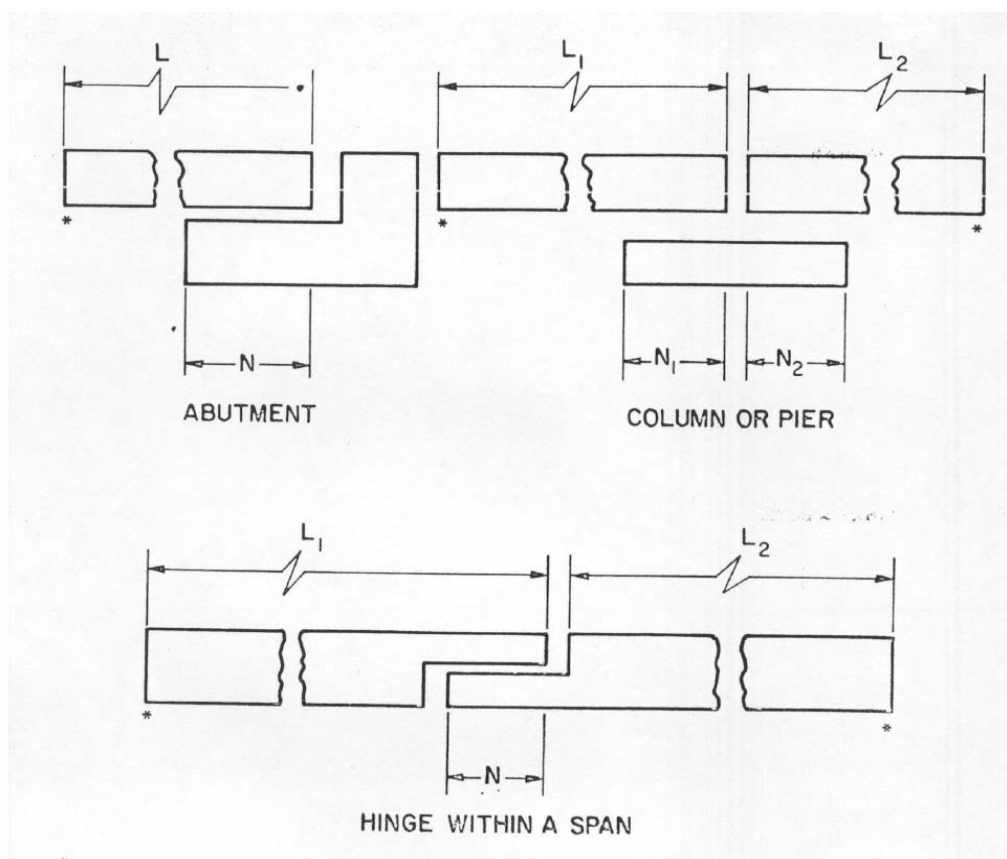
Muhtemelen bu husus projede, köprü basit mesnetli olarak boyutlandırıldığından dikkate alınmamıştır. Köprü üst döşemesinin mütemadi yapılması, kirişlerin mesnetten düşmesini önlemek üzere ilave bir tedbir olarak düşünülebilir.



Şekil 4.12. Arifiye üstgeçidi ayak detayları



Şekil 4.13. Arifiye üstgeçidi kirişi en kesiti



Şekil 4.14. 1992 AASHTO öncesi, basit mesnetli köprülerde uygulanması gereken ayak oturma mesafesi kriterleri





Şekil 4.15. Arifiye üstgeçidi fotoğrafları



Şekil 4.16. Arifiye üstgeçidi fotoğraflar



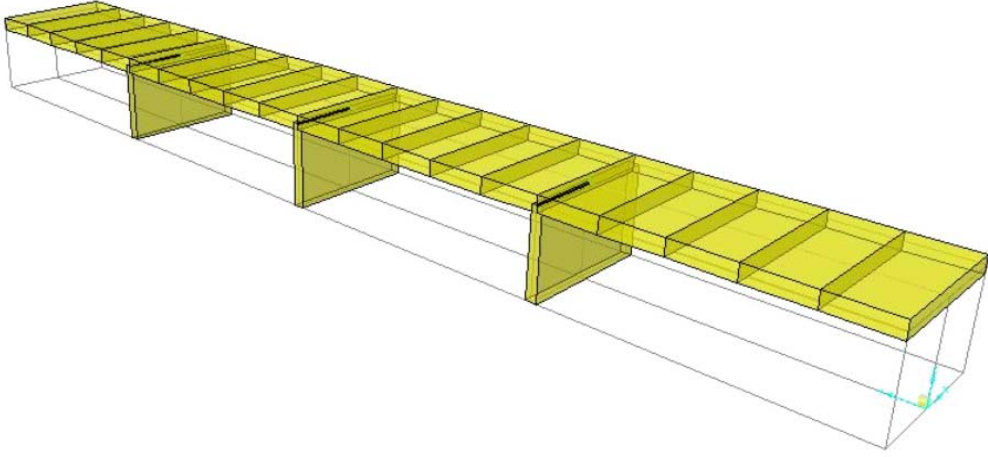
Şekil 4.17. Arifiye üstgeçidi orta ayağı , hasar gören diğer bir köprü



Şekil 4.18. Arifiye üstgeçidi deprem takozları ve elastomerleri

## BÖLÜM 5. SAYISAL UYGULAMALAR

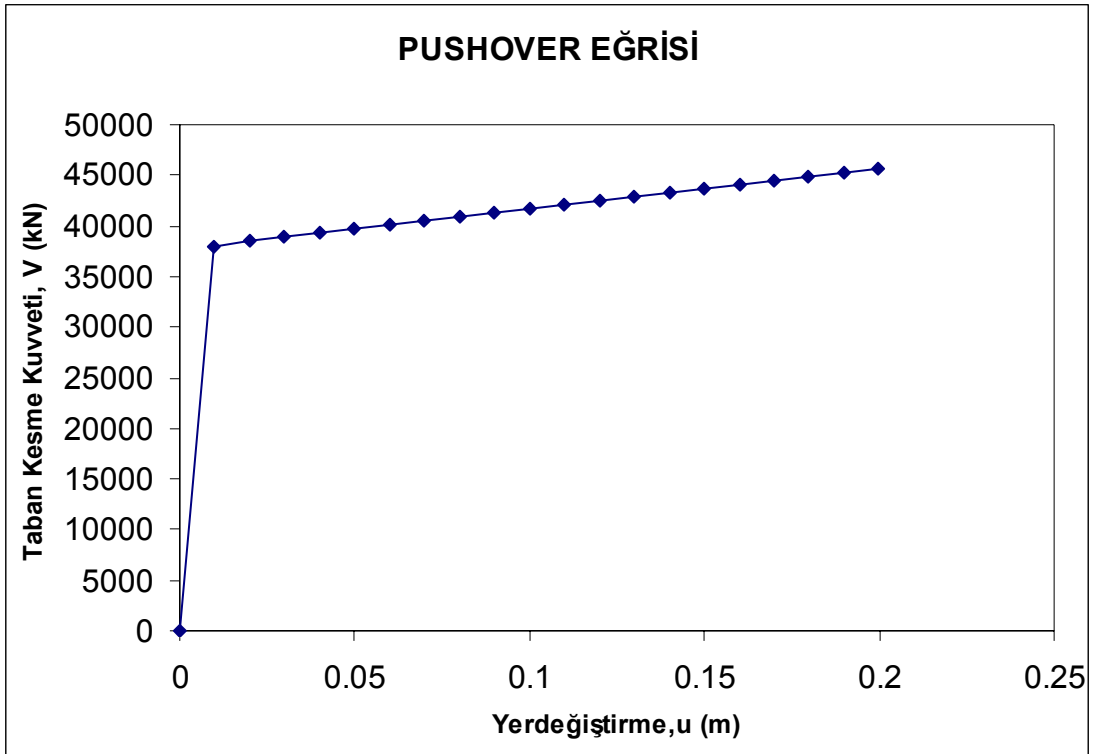
Bu tez çalışmasında; 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde yıkılan Arifiye üstgeçit köprüsünün, deprem öncesi dinamik analizleri yapılmış ve yıkılma nedenleri araştırılmıştır. Köprü modeli SAP 2000 paket programında kurularak doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yapılmıştır[3]. Mevcut durumdaki köprünün SAP2000 programında modellenen görünüşü Şekil 5.1' de verilmiştir



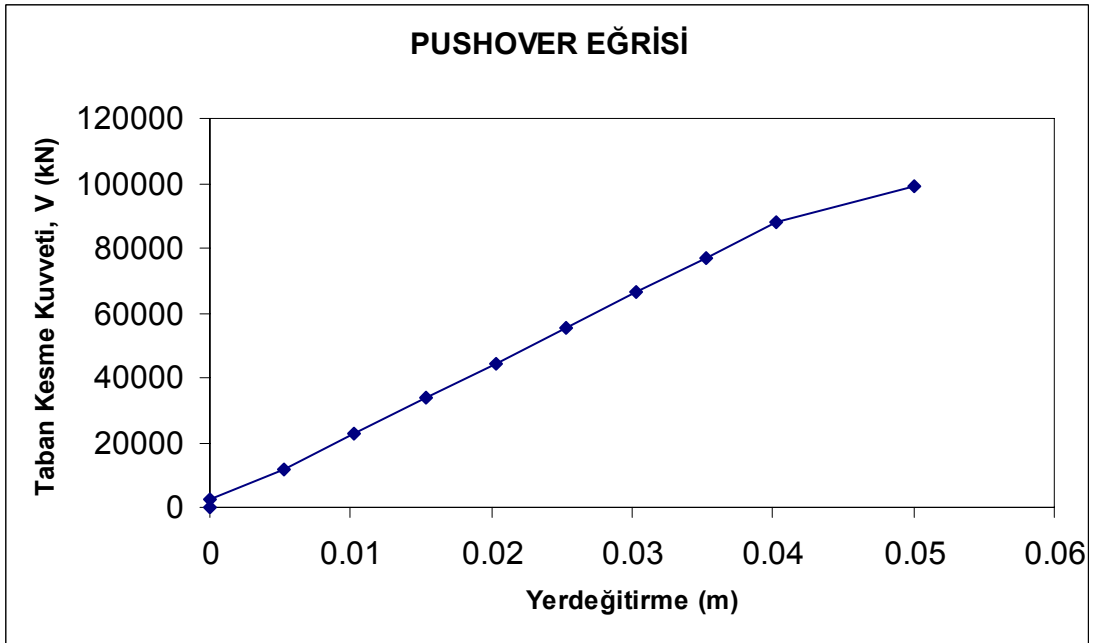
Şekil 5.1. Bilgisayar modellemesi genel görünümü

### 5.1 Deprem Öncesi Köprünün Pushover ve Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi

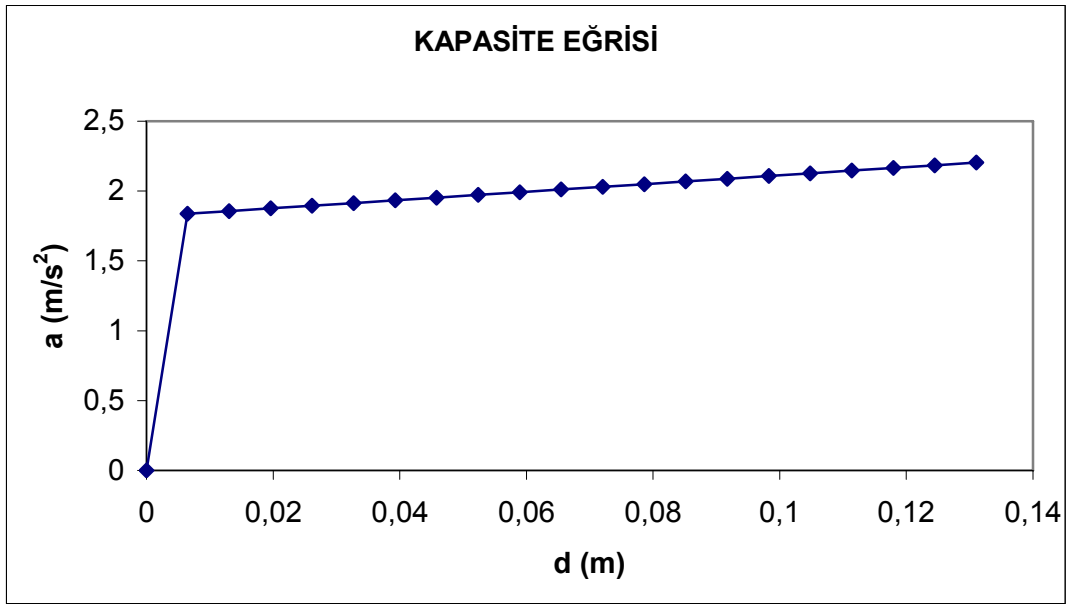
Köprünün yatay yük taşıma kapasitelerini ifade eden kapasite eğrilerinin elde edilmesi için yapılar sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre hesaplanmıştır.



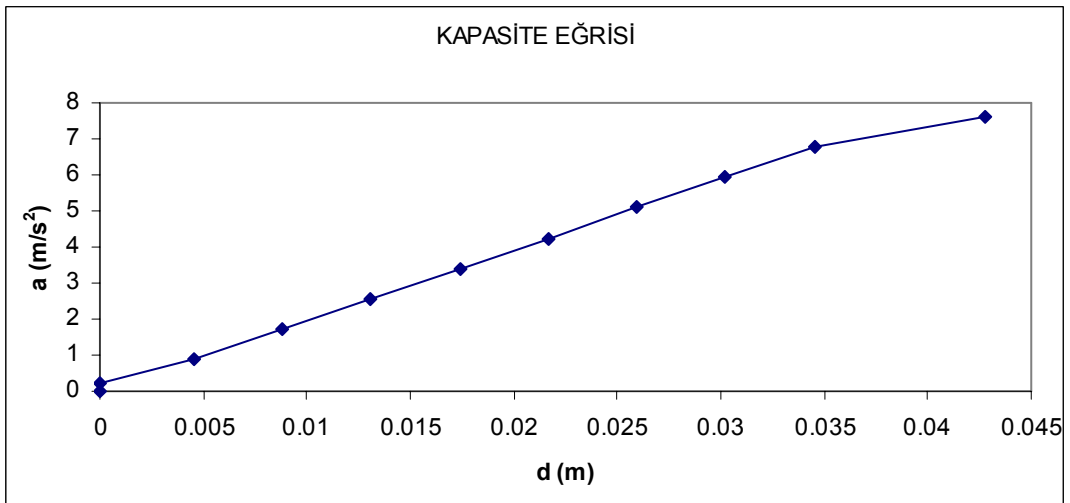
Şekil 5.2 Deprem öncesi köprünün X doğrultusundaki Pushover eğrisi



Şekil 5.3 Deprem öncesi köprünün Y doğrultusundaki Pushover eğrisi



Şekil 5.4 Deprem öncesi köprünün X doğrultusundaki kapasite eğrisi



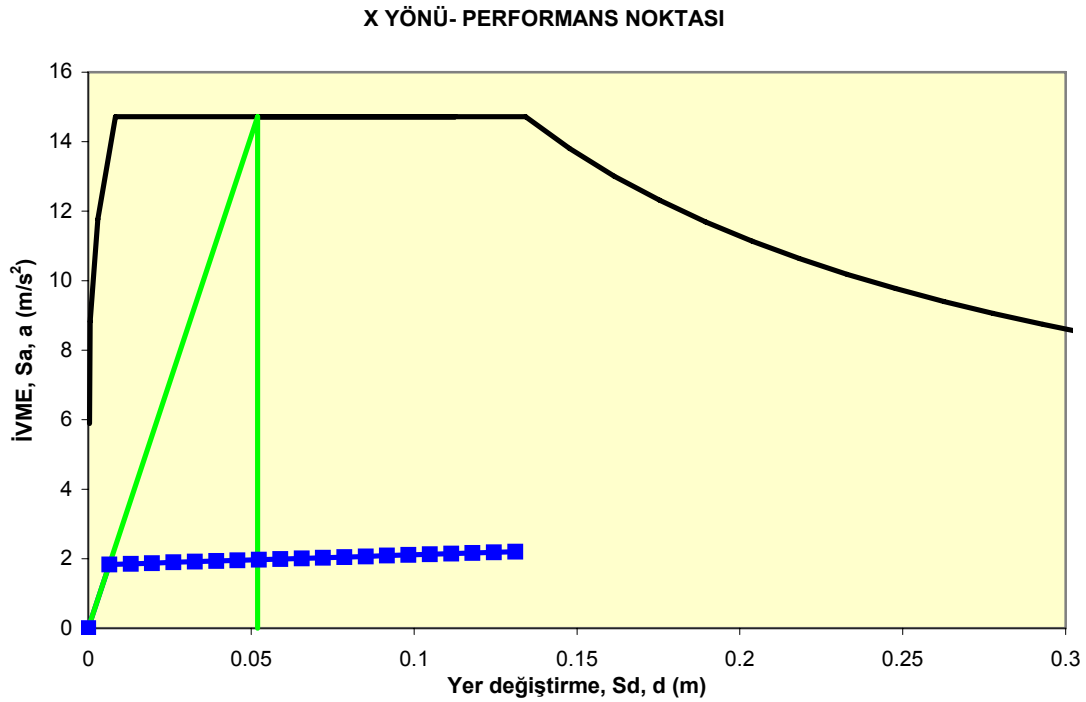
Şekil 5.5 Deprem öncesi köprünün Y doğrultusundaki kapasite eğrisi

## 5.2. Köprünün Performans Noktasının Belirlenmesi

İlk aşama; dikkate alınan deprem hareketini temsil etmek üzere talep spektrumu tanımlanır. Çalışma kapsamında birinci derece deprem bölgesi ve Z2 zemin sınıfı için elastik talep spektrumu kullanılmıştır.

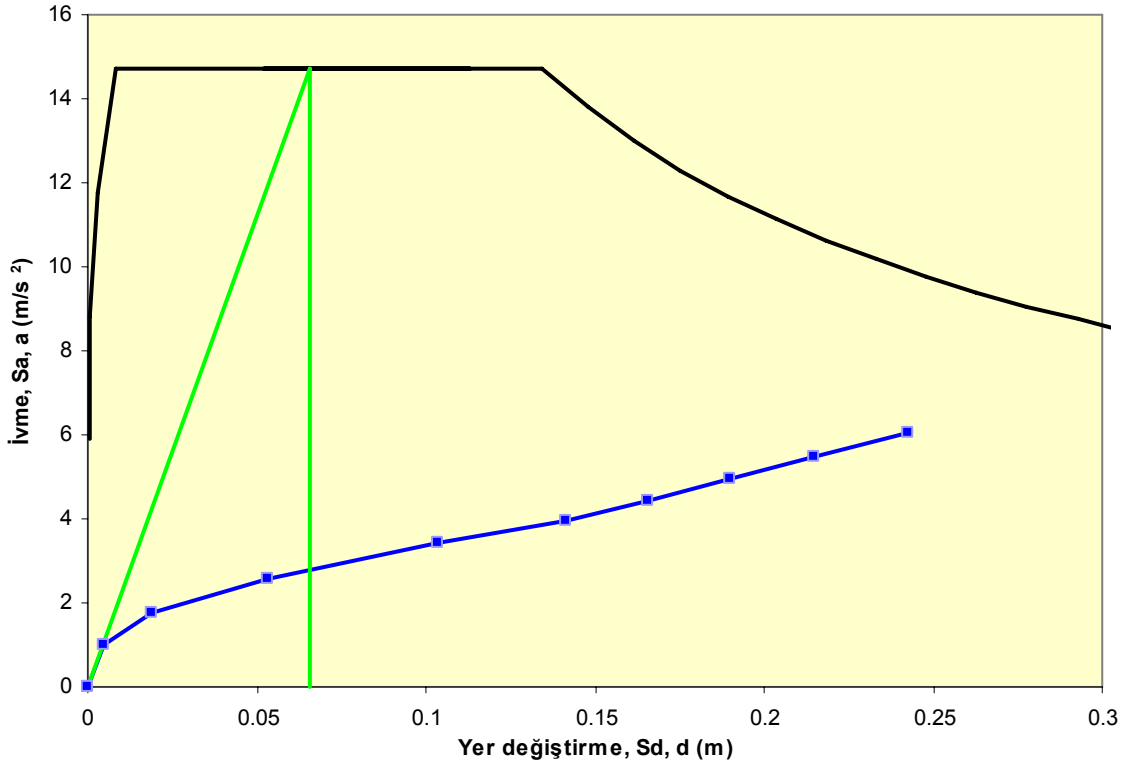
Köprünün yatay yük taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisi, köprünün sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan yatay yükler altında malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre hesaplanması ile elde edilir. Her yük değeri için, toplam taban kesme kuvveti ve buna karşılık gelen tepe noktası yer değiştirmesi arasındaki ilişkinin belirlenmesi ile köprünün kapasite eğrisi oluşturulur.(Şekil 5.4 ve Şekil 5.5)

Kapasite spektrumunun elde edilmesinden sonra, talep spektrumunun kapasite spektrumuyla aynı grafik üzerinde Şekil 5.6 (X yönü) ve Şekil 5.7 (Y yönü) görüldüğü gibi performans noktası elde edilir.



Şekil 5.6 Deprem öncesi Köprünün X doğrultusundaki performans noktasının belirlenmesi

## Y YÖNÜ - PERFORMANS NOKTASI



Şekil 5.7 Deprem öncesi köprünün Y doğrultusundaki performans noktasının belirlenmesi

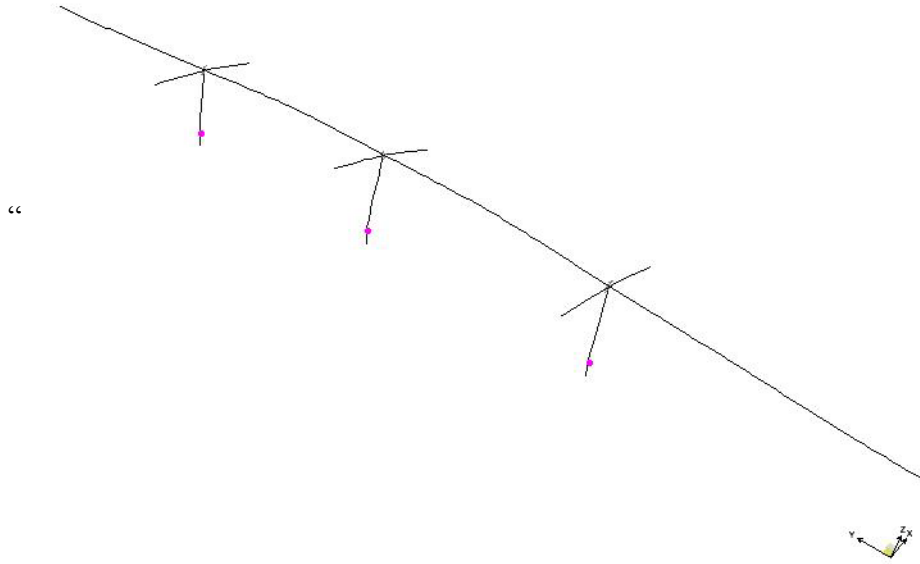
### 5.3. Deprem Öncesi Köprünün Doğrusal Olmayan Statik Artımsal İtme Analizi ile Bulunan Kapasitelerine Bağlı Performans Seviyesinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında incelenen köprünün performans değerlendirmesini yapmak üzere, dikkate alınan tasarım depremi için köprünün belirlenen performans noktasına (deplasman talebine) kadar elastik ötesi statik artımsal itme analizleri gerçekleştirilmiştir.

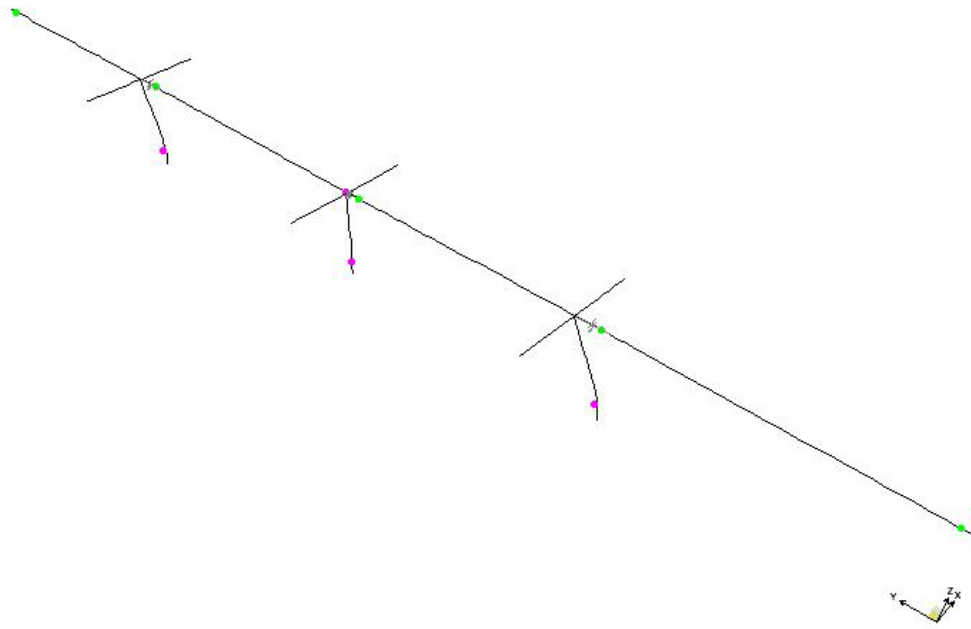
Performans noktasına kadar statik olarak itilen yapıların kiriş ve perde elemanlarında meydana gelen plastik mafsal yerleri, taşıyıcı elemanlara ait X ve Y doğrultusundaki kesit hasar bölgeleri belirlenmiştir.

Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 de X ve Y doğrultusunda, köprünün taşıyıcı elemanlara ait plastik mafsal yerleri deprem öncesi hali için verilmiştir.

Şekil 5.10 ve Şekil 5.11 ' ise X ve Y doğrultusunda, köprünün taşıyıcı elemanlara ait kesit hasar bölgeleri deprem öncesi hali için verilmiştir.

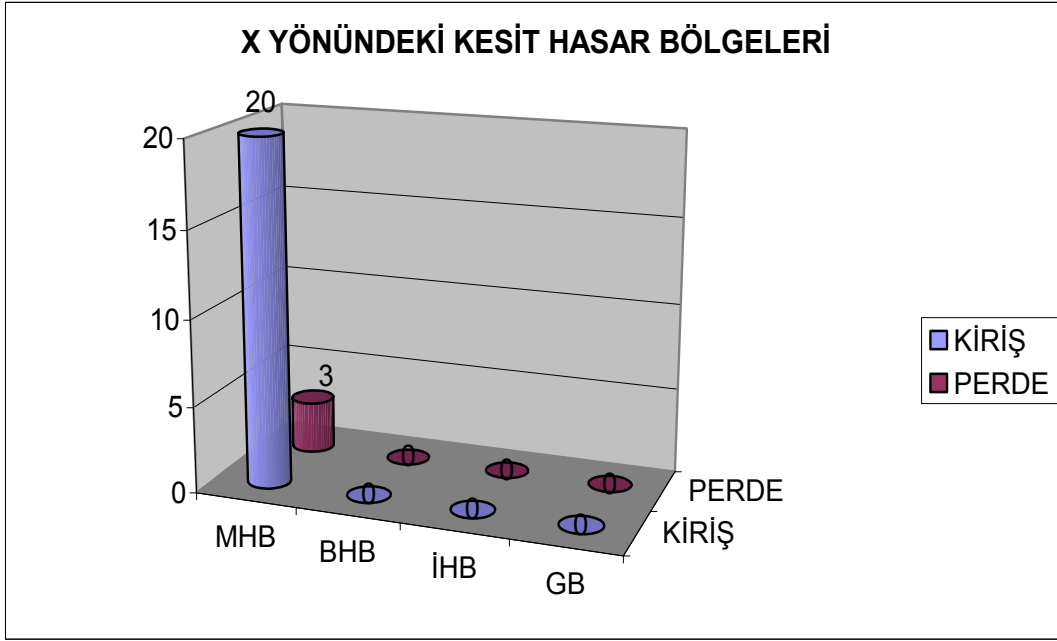


Şekil 5.8 Deprem öncesi köprünün X doğrultusundaki plastik mafsalların yerleri

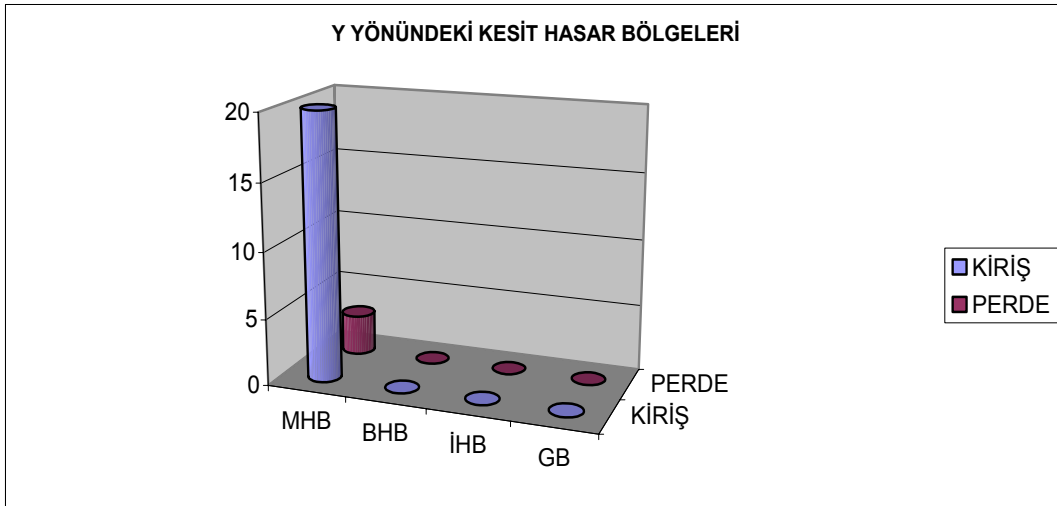


Şekil 5.9 Deprem öncesi köprünün Y doğrultusundaki plastik mafsalların yerleri





Şekil 5.10 Deprem öncesi köprünün X doğrultusundaki kesit hasar bölgeleri



Şekil 5.11 Deprem öncesi köprünün Y doğrultusundaki kesit hasar bölgeleri

MHB: Minimum Hasar Bölgesi  
BHB: Belirgin Hasar Bölgesi

İHB: İleri Hasar Bölgesi  
GB: Göçme Bölgesi

## BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde yıkılan Arifiye Üstgeçit Köprüsünün yapı modeli kurularak doğrusal olmayan statik artımsal itme analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

- a) Yapının orta ayakları çok rijit (1mx12.5m boyutlarında perde duvar) olduğundan yapılan itme analizinde sanat yapısına uygulanan yatay yük artırımının, yapının yıkılmasındaki fonksiyonunun çok azdır.
- b) Yapılan analizlerde orta yatay doğrultudaki yer değiştirmeleri 5 cm civarında bulunmuştur. Bununla birlikte köprünün üzerinde bulunduğu zemin oldukça yumuşak olduğundan orta ayak baş noktasındaki konsantre kütlelerin sahip olduğu yatay ivme sonucu etkili olan Eşdeğer Deprem Kuvveti sebebiyle, bu noktalarda yatay doğrultuda oldukça büyük yer değiştirmeler oluşmuştur.
- c) Bunun sonucu olarak köprü mesnetlerinden düşerek hasar görmüştür. Bu hasarın en büyük nedenlerinden bir diğeri de fay hattının köprüye çok yakın geçmesidir. Ayaklarda dönmeler meydana gelmiş, mesnet boylarının yetersiz kalması nedeniyle üst geçit çökmüştür. Genel olarak üst yapıda bir hasar meydana gelmemiştir.
- d) Arifiye Üstgeçit Köprüsüyle ilgili yapılan diğer çalışmalarda [18] da belirtildiği üzere, Prefabrik imal edilen açıklık kirişlerinin oturma boyutlarının, (b-mesafesi), çok küçük seçilmesi ve bu boyutların yetersizliğinden dolayı açıklık kirişleri yerlerinden kurtularak aşağıya çökmüş ve hasar oluşmuştur.
- e) Köprülerin diğer taşıyıcı kısımlarında, örneğin üst yapıyı teşkil eden tabliye ve kiriş gibi elementler ile istinat duvarı gibi toprak dolguyu tutan kısımlarda, hemen hemen hiç hasar tespiti yapılmamıştır.

Sonuç olarak, Arifiye stgeit Köprüsünün hasar görmesinin en büyük nedeni olan orta ayak başları daima konsollar ile genişletilmeli ve prefabrik kirişlerin başlarının mesnetlerde yeteri derecede hareket imkanı sağlanmalıdır.

Ayrıca bu noktalarda Elastomer cinsi elik donatı ile imal edilen suni kauçuk mesnetler kullanılmalıdır.

Bu köprünün yıkılmasından sonra Karayolları Genel Müdürlüğü, TEM otoyolu üzerindeki diğer stgeit ve köprülerde güçlendirmeler ve mesnet mesafelerinde genişletmeler yapmaya başlamıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI (1998) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını.
- [2] BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI (2007) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.
- [3] CSI SAP 2000 V-8.1.5.(2002).Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis References Manual . Computer and Structures Inc. Berkeley .California.
- [4] ÇAKIROĞLU A. ve ÖZER E.(1980). Malzeme ve geometri bakımından lineer olmayan Sistemler.Ankara: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- [5] İRTEM E. ve TÜRKER K. (2002). Yapıların deprem yükleri altındaki lineer olmayan davranışının belirlenmesinde kullanılan statik yöntemlerin karşılaştırılması.Balıkesir Üniversitesi IV.Mühendislik –Mimarlık Sempozyumu , 425-436
- [6] İRTEM E.,TÜRKER K. ve HASGÜL U.(2004). Türk deprem Yönetmeliğinin Performans Hedeflerinin Lineer olmayan statik analiz yöntemleri ile değerlendirilmesi.
- [7] ÖZER E.,(2004). Yapı sistemlerinin lineer olmayan analizi ders notları .19 Aralık 2004.
- [8] TÜRK STANDARLARI .(2000). TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları.Türk Standartları Enstitüsü.
- [9] PAMUK A., KALKAN E. ve LİNG H. I. (2004). Structural and Geotechnical Impacts of Surface Rupture on Highway Structures During Recent Earthquakes in Turkey. Soil Dynamics and Earthquakes Engineering 25 (2005) 581-589
- [10] AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS(AASHTO). (1992) . Standart specifications for highway bridges.15th ed. Washington, DC;
- [11] BARKA,A.,(1999) The 17 August 1999 İzmit earthquake,Science ,285,1858-1859,

- [12] KETİN. İ.,(1948) Uber die tectonisch-mechanischen folgerungen ausden grossen Anotolischen Erdbeden des letzten Dozenniumus,Geol.Rundschau 36,77-83.
- [13] ŞENGÖR, A. M. C.,(1979) The North Anatolian Transform Fault , Its age offset and tectonic significance :J.Geol.Soc.
- [14] DEMİRTAŞ, R ve YILMAZ, R .,(1996) Türkiye'nin sismotektoniği: Sismisitedeki uzun süreli değişim ve güncel sismisiteyi esas alarak deprem tahminine bir yaklaşım.Bay. ve İsk. Bak. Deprem Araştırma Dairesi Yayınları, 91s, Ankara
- [15] AMBRASEYS , N. N. And FINKEL, C.F., (1995)The seismicity of Turkey and Adjacent areas , a historical review ,1500-1800, Eren yayıncılık, İstanbul
- [16] TOKSÖZ , M.N., SHAKAL, A.F., and Michael, A.J.,(1979) Space-Time Migration of Earthquakes Along the North Anotolian Fault Zone and Sismic Gaps.
- [17] LEYLEK İ.E., (26-30 Mayıs 2003 )Ağustos 1999Bolu-Adapazarı Depremi İle Büyük Hasar Gören , Arifiye Üstgeçit Köprüsü'nün Yıkılma Nedenleri ve Tasarım Hataları,Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul
- [18] SUCUOĞLU H., ERBERİK A., AKAR S., BAKIR S., YILMAZ T.,GÜLKAN P., ERSOY U., ÖZCEBE G., TANKUT T., YILMAZ Ç., GÜR T.,(1999) Marmara Depremi Raporu.
- [19] UÇAR T., (Aralık 2005)Yapı Sistemlerinin Doğrusal olmayan Analizinde Çözüm Yöntemleri,Dokuz Eylül Üniversitesi , İzmir.
- [20] GENÇ M., (Şubat 2007) Farklı Yapısal Özelliklere Sahip Betonarme Yapıların Çeşitli Çözüm yöntemleriyle Performansa Dayalı Analizi , İzmir
- [21] PRIESTLEY M. J. N. , SEİBLE F. CALVİ G. M.(1996) Seismic Design and Retrofit of Bridges. John Wiley and Sons, Inc.
- [22] KÖÇYİĞİT, A., YUSUFOĞLU, H. ve BOZKURT , E., (1999) Evidence from the Gediz groben for episodic two-stage extension in western Turkey.J.Geol. Soc., London,156,605-616,
- [23] ELNASHAI, A.S.,(1999) İmplications of recent earthquakes an seismic risk,

## ÖZGEÇMİŞ

Serhat KAYA, 18.09.1981 yılında Sinop' ta doğdu. İlk ve orta eğitimini Sinop'ta , lise eğitimini Ankara'da tamamladı. 2000 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2004 yılında mezun oldu . 2004 yılında Adapazarı Büyükşehir Belediyesi APK Daire Başkanlığı'nda çalışmaya başlamıştır. Halen Adapazarı Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı'nda görevini sürdürmektedir.