

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ AVRASYA YER BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUZEY ANADOLU FAY ZONUNUN
İZMİT-GÖLYAKA (DÜZCE) ARASINDAKİ SEGMENTLERİNİN
PALEOSİSMOLOJİSİ VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ**

DOKTORA TEZİ
Aynur DİKBAŞ

Anabilim Dalı : Katı Yer Bilimleri

Programı : Yer Sistem Bilimi

TEMMUZ 2009

**KUZEY ANADOLU FAY ZONUNUN
İZMİT-GÖLYAKA (DÜZCE) ARASINDAKİ SEGMENTLERİNİN
PALEOSİSMOLOJİSİ VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ**

DOKTORA TEZİ

**Aynur DİKBAŞ
(602022007)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 06 Temmuz 2009

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. H.Serdar AKYÜZ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erhan ALTUNEL (ESOGÜ)
Prof. Dr. Okan TÜYSÜZ (İTÜ)
Prof. Dr. Haluk EYİDOĞAN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Ziyadin ÇAKIR (İTÜ)**

TEMMUZ 2009

AİLEM'e,

Fikri, Asiye, Alp, Ayten, Sebahattin, Recep

ÖNSÖZ

Bu çalışma İ.T.Ü. Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı, Yer Sistem Bilimi programında Doğu Marmara'nın sismik tarihçesinin araştırılması amacıyla doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmam süresince hem arazi hem büro çalışmalarında büyük bir sabırla destek verip, öğretici ve yönlendirici tartışmaları ile deneyimlerini benimle paylaşan sayın tez danışmanım Prof.Dr. H.Serdar Akyüz'e,

Değerli tartışmaları ve yönlendirmeleri ile çalışmaya yaptıkları katkılardan dolayı tez izleme komitesi üyeleri Prof.Dr. Erhan Altunel ve Prof.Dr. Okan Tüysüz'e,

Paleosismoloji konusunda destek ve yardımlarından dolayı başta REL.I.E.F. proje yürütücüsü Prof.Dr. Mustapha Meghraoui olmak üzere tüm proje çalışanlarına,

Sağladıkları imkanlar ve destekleyici tutumları için TÜBİTAK MAM, YDBE Müdürü Doç.Dr. Sedat İnan ve Müdür Yardımcısı Doç.Dr. Semih Ergintav'a

Arazi çalışmalarımın değişik dönemlerinde bana eşlik eden değerli arkadaşlarım Yük.Müh. Cengiz Zabcı, Yük.Müh. Umut Akyüz, Yük.Müh. Pınar Gutsuz, Dr. Gürsel Sunal, Recep Dikbaş, Yrd.Doç.Dr. Volkan Karabacak, Dr. Matthieu Ferry, Dr. C.Çağlar Yalçiner, Dr. Ufuk Tarı Yük.Müh. M. Ersen Aksoy, Yrd.Doç.Dr. Ziyadin Çakır, Dr. Dilek Şatır Erdağ, Yük.Müh. Gülsen Uçarkuş ve Yük.Müh. Taylan Sançar'a

OSL tarihlendirmelerini yapan Prof.Dr. Nafiye Güneç Kıyak'a

İnce kesitlerimi inceleyerek fosil içeriklerini tanımlayan Doç.Dr. Ercan Özcan'a,

Sağladıkları teknik destekten ötürü TÜBİTAK MAM, YDBE personeli, değerli mesai arkadaşlarım Dr. Onur Tan ve Uzm.Tek. Bora Erkan'a

İlgileri ve desteklerinden dolayı Nehirkent (Adapazarı), Hendek (Adapazarı), Maşukiye (İzmit) ve Çaybaşı (Adapazarı) Belediyesi dönem belediye başkanlarına ve bölge sakinlerine,

Tez çalışması REL.I.E.F. EVG1-2002-00069 AB projesi çerçevesinde başlamış ve sonrasında İTÜ BAP ve TÜBİTAK 1002 projeleri ile desteklenmiştir. Sağlanan destek için adı geçen kurumlara,

Tüm eğitim-öğrenim hayatımın asıl kahramanları sevgili annem Asiye Dikbaş ve tez çalışmam sırasında aramızdan ayrılan sevgili babam Fikri Dikbaş'a ve tüm Ailem'e,

Teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2009

Aynur Dikbaş
Jeoloji Yük. Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xxvii
SUMMARY	xxxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	3
1.2 Kullanılan Yöntemler	5
1.2.1 Temel jeolojik yöntemler	5
1.2.2 Jeofizik yöntemler (Yeraltı Radarı)	6
1.2.3 Jeodezik yöntemler	6
1.2.4 Paleosismolojik hendek açma	7
1.2.5 Kullanılan yaşlandırma yöntemleri	12
1.2.5.1 Karbon-14 (C14) yaş tayini metodu.....	13
1.2.5.2 Optik Uyarımlı Luminesan (OSL) yaş tayini metodu.....	15
1.2.6 Eski deprem büyüklüğünün tahmini	15
1.2.7 Tarihsel kaynakların araştırılması	17
1.2.8 Morfoloji	21
1.3 Çalışma Bölgesinin Yerleşim Tarihçesi	21
1.4 Türkiye'nin Neotektonik Çatısı ve Kuzey Anadolu Fay Zonu	23
2. DOĞU MARMARA BÖLGESİNİN DEPREM TARİHÇESİ.....	27
2.1 Tarihsel Dönem Depremleri	27
2.2 Aletsel Dönem Öncesi Depremleri.....	55
2.2.1 4 Ocak 1935 Marmara Adaları depremi	55
2.2.2 20 Haziran 1943 Hendek-Adapazarı depremi.....	55
2.2.3 1 Şubat 1944 Bolu-Gerede depremi.....	56
2.2.4 26 Mayıs 1957 Abant depremi.....	58
2.3 Aletsel Dönem Depremleri.....	60
2.3.1 18 Eylül 1963 Doğu Marmara (Çınarcık) depremi	60
2.3.2 22 Temmuz 1967 Mudurnu Vadisi depremi	61
2.3.3 24 Nisan 1988 Kuzey Marmara Denizi depremi	64
2.3.4 17 Ağustos 1999 İzmit depremi	65
2.3.4.1 Hersek segmenti	67
2.3.4.2 Karamürsel-Gölcük segmenti	67
2.3.4.3 İzmit-Sapanca Gölü segmenti	69
2.3.4.4 Sapanca-Akyazı segmenti	73
2.3.4.5 Karadere segmenti.....	80
2.3.5 12 Kasım 1999 Düzce depremi	82

2.4 Tarihsel ve Aletsel Dönem Deprem Verilerinin Değerlendirmesi	83
3. JEOLojİ.....	87
3.1 Doğu Marmara'nın Jeolojisi	87
3.2 Karadere Segmenti Yakın Civarının Jeolojisi	89
3.2.1 Eski çalışmalar	90
3.2.2 Stratigrafi.....	93
3.2.2.1 İznik Metamorfikleri	94
3.2.2.2 Abant Karmaşığı	96
3.2.2.3 Aksar formasyonu	97
3.2.2.4 Sümbüllü formasyonu	99
3.2.2.5 Değirmentepe formasyonu	101
3.2.2.6 Kuyudüzü formasyonu	104
3.2.2.7 Derinoba formasyonu	105
3.2.2.8 Dikmen formasyonu	108
3.2.2.9 Güzlek formasyonu	110
3.2.2.10 Pazarcık formasyonu	111
3.2.2.11 Örencik formasyonu	112
3.2.2.12 Karadere formasyonu	114
3.2.2.13 Güncel çökeller	114
3.3 Karadere Segmenti Civarı Jeolojisinin Uzun Dönem Yer Değiştirmeler Açısından Değerlendirilmesi	115
4. FAY MORFOLOJİSİ ve ÖTELENMİŞ YAPILAR.....	117
4.1 Doğu Marmara Bölgesinin Morfotektonik Üniteleri.....	117
4.2 İzmit Körfezi ve Sapanca Gölü Arasında Fay Morfolojisi ve Ötelenmiş Yapılar	119
4.3 Sapanca Gölü ve civarı	127
4.4 Sapanca Gölü-Akyazı arasında fay morfolojisi ve ötelenmiş yapılar	129
4.5 Akyazı-Gölyaka arasında fay morfolojisi ve ötelenmiş yapılar	133
4.6 Morfotektonik Değerlendirme.....	139
5. PALEOSİSMOLOJİ.....	141
5.1 İzmit-Sapanca Gölü Segmenti Üzerinde Yapılan Paleosismoloji Çalışmaları; Acısı Lokasyonu	141
5.1.1 Eski deprem tespitleri.....	144
5.2 Sapanca-Akyazı Segmenti Üzerinde Yapılan Paleosismoloji Çalışmaları	147
5.2.1 Nehirkent lokasyonu (NK)	148
5.2.1.1 NK-1 ve NK-2 hendekleri	149
5.2.1.1a. Eski deprem tespitleri	150
5.2.1.1b. Kümülatif ötelenme belirlemeye yönelik çalışmalar	154
5.2.1.2 NK-3 hendeği	155
5.2.1.2a. Eski deprem tespitleri	158
5.2.1.3 NK-4 ve NK-5 hendekleri	160
5.2.2 Sakarya nehri doğusu (SK)	166
5.2.2.1 Eski deprem tespitleri	168
5.2.3 Ekinli lokasyonu (EKN).....	172
5.2.3.1 Eski deprem tespitleri.....	175
5.3 Karadere Segmenti Üzerinde Yapılan Paleosismoloji Çalışmaları	178
5.3.1 Kazimiye lokasyonu (KZM)	179
5.3.1.1 Eski deprem tespitleri.....	182
5.3.2 Karadere lokasyonu (KDR).....	185
5.3.2.1 Eski deprem tespitleri.....	186

5.4 Veri Değerlendirme ve Tarihsel Deprem Korelasyonu.....	190
5.4.1 İzmit-Sapanca segmenti üzerinde belirlenen eski depremler.....	190
5.4.2 Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde belirlenen eski depremler.....	192
5.4.3 Karadere segmenti üzerinde belirlenen eski depremler	198
5.4.4 Değerlendirme ve sonuç.....	201
5.5 Doğu Marmara'nın Paleosismolojisi.....	203
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	209
6.1 Jeoloji Haritalaması ile Elde Edilen Sonuçlar.....	209
6.2 Fay Morfolojisi Araştırmaları	210
6.3 Tarihsel deprem ve paleosismoloji araştırmaları.....	211
6.3.1 Marmara bölgesinde KAF'ın kuzey kolu üzerinde sismik segmentasyon	212
6.3.2 Marmara ve Doğu Marmara bölgesinde KAF'ın kuzey kolunun sismik davranışı ve deprem tekrarlanma modelleri	221
6.3.3 Fay davranış modelleri.....	227
KAYNAKLAR	233
EKLER.....	247
ÖZGEÇMİŞ.....	251

KISALTMALAR

KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
USGS	: United States Geological Survey
KRDAE	: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
GPR	: Ground Penetrating Radar (Yer Radarı)
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission (Mekik Radar Topografi Görevi)
DGPS	: Differential Global Positioning System Diferansiyel Küresel Konumlandırma Sistemi
VLF-EM	: Very Low Frequency Electromagnetic Method (Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Metod)
C14	: Karbon-14
OSL	: Optically Stimulated Luminescence (Optik Uyarımlı Luminesan)
BP	: Before Present (Günümüzden önce)
M	: Deprem büyüklüğü
M_s	: Yüzey dalgalarından hesaplanmış deprem büyüklüğü
M_w	: Moment büyüklüğü
ISC	: International Seismological Centre (Uluslararası Sismoloji Merkezi)
STR	: Strasbourg
MÖ	: Milattan Önce
MS	: Milattan Sonra
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KAK	: Kuzey Anadolu Kerojeni
KAMZ	: Kuzey Anadolu Makaslama Zonu
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 :	Çalışma bölgesinin geçmiş depremselliğinin araştırılmasında kullanılan kataloglar.....	18
Çizelge 1.2 :	Guidoboni ve diğ. (2004)'nin kullandığı kaynaklar ve kapsadıkları tarih dönemleri.	19
Çizelge 1.3 :	Tan ve diğ.(2008) tarafından hazırlanan katalogda kullanılan kaynaklar.	20
Çizelge 2.1 :	Karamürsel-Gölcük segmenti üzerinde 1999 İzmit depremi sonrasında ölçülen yerdeğiştirme değerleri (Barka ve diğ., 2002) (Konumlar için Şekil 2.33'e bakınız).....	68
Çizelge 2.2 :	İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde yer değiştirme değerleri (Barka ve diğ., 2002 ve Rockwell ve diğ., 2002 ile birleştirilerek).	70
Çizelge 2.3 :	Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde yerdeğiştirme ölçümleri (Barka ve diğ., 2002 ve Langridge ve diğ., 2002 ile birleştirilerek).....	78
Çizelge 2.4 :	Karadere segmenti üzerinde yer değiştirme ölçümleri. (Barka ve diğ., 2002 ve Hartleb ve diğ., 2002 ile birleştirilerek).	81
Çizelge 4.1 :	Sakarya nehrinin Adapazarı ovasında KAF'ın kolları tarafından ötelenme değerleri.....	132
Çizelge 5.1 :	Şekil 5.7'de gösterilen ACSP hendeğine ait haritanın litoloji açıklamaları.....	145
Çizelge 5.2 :	Şekil 5.12 ve 5.13'de gösterilen NK-1 hendeğinin litoloji açıklamaları.	151
Çizelge 5.3 :	Şekil 5.14'de gösterilen NK-2 hendeğinin litoloji açıklamaları. .	152
Çizelge 5.4 :	Şekil 5.22'de gösterilen NK-3 hendeğinin litoloji açıklamaları. .	156
Çizelge 5.5 :	Şekil 5.28'de gösterilen NK-4 hendeğinin litoloji açıklamaları ..	163
Çizelge 5.6 :	Şekil 5.29'da gösterilen NK-5 hendeğinin litoloji açıklamaları ..	164
Çizelge 5.7 :	Teras kenarının (T2) yaşlandırılması amacıyla alınan numunelerin OSL yaş tayini sonuçları.....	165
Çizelge 5.8 :	Teras kenarının yaşlandırılması amacıyla alınan numunelerin OSL yaş tayini sonuçları.....	165
Çizelge 5.9 :	ACSP hendeğinde belirlenen deprem seviyelerine ait tarih aralıkları ve tarihsel depremler ile denştirilmesi.....	191
Çizelge 5.10 :	NK-1 ve NK-2 hendeklerinde belirlenen deprem seviyelerine ait yorumlar.	193
Çizelge 5.11 :	NK-3 hendeğinde belirlenen deprem seviyelerine ait yorumlar. .	193
Çizelge 5.12 :	Nehirkent lokasyonunda çalışılan hendeklerden belirlenen eski depremlerin birbirleriyle ve tarihsel dökümanlarda yer alan depremler ile denştirilmesi.	194
Çizelge 5.13 :	Sakarya (SK) hendeğinde belirlenen deprem seviyelerine ait tarih aralıkları ve tarihsel depremler ile denştirilmesi.	194

Çizelge 5.14 :	EKN hendeğinde belirlenen deprem seviyelerine ait tarih aralıkları ve tarihsel depremler ile denestirilmesi.....	196
Çizelge 5.15 :	Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde çalışılan hendeklerden belirlenen eski depremlerin birbirleriyle ve tarihsel dökümanlarda yer alan depremler ile korelasyonu.	197
Çizelge 5.16 :	KZM hendeğinde belirlenen eski deprem seviyelerine ait tarih aralıkları tarih aralıkları ve tarihsel depremler ile denestirilmesi.	198
Çizelge 5.17 :	KDR hendeğinde belirlenen eski deprem seviyelerine ait tarih aralıkları tarih aralıkları ve tarihsel depremler ile denestirilmesi.	200
Çizelge 5.18 :	Karadere segmenti üzerinde çalışılan hendeklerden belirlenen eski depremlerin birbirleriyle ve tarihsel dökümanlarda yer alan depremler ile denestirilmesi.	201
Çizelge 5.19 :	Doğu Marmara bölgesinde Karamürsel-Düzce arasında KAF'ın kuzey kolu üzerinde yapılan paleosismolojik çalışmaların sonuçları. I. Ikeda ve diğ. (1991), II. Klinger ve diğ. (2003), III. Ferry ve diğ. (2004), IV. Pavlides ve diğ. (2006), V. Palyvos ve diğ. (2007), VI. Pantosti ve diğ. (2008), VII. Bu çalışma.	206
Çizelge 6.1 :	Doğu Marmara bölgesinde tez çalışması kapsamında belirlenen depremler için öngörülen yüzey kırığı, büyüklük, ortalama ve maksimum atım bilgileri.	219
Çizelge A.1 :	Tez çalışmasında kullanılan C14 örneklerinin laboratuvar ve kalibre edilmiş sonuçları.	249

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 :	Çalışma bölgesinin yer bulduru haritası.....	2
Şekil 1.2 :	Doğu Marmara Bölgesinin sadeleştirilmiş fay haritası (Barka ve diğ., 2002'den değiştirilerek).	4
Şekil 1.3 :	Birincil yapılar (tektonik deformasyon ile oluşan) (McChalpin, 1996'dan değiştirilerek).	8
Şekil 1.4 :	İkincil yapılar (sismik sarsıntı ile oluşan) (McChalpin, 1996'dan değiştirilerek).	8
Şekil 1.5 :	Hendek tiplerine ait kesitler. a) düz hendek, b) tek tarafı basamaklı hendek, c) çift tarafı basamaklı hendek d) tek yöne eğimli hendek e) çift yöne eğimli hendek (McChalpin, 1996'dan değiştirilerek).	10
Şekil 1.6 :	Doğrultu-atımlı fay zonlarında eski depremleri yansıtan tipik göstergelerin şematik gösterimi. Şekildeki tüm örneklerde stratigrafi tek bir faylanmaya maruz kalmıştır. (D) harfi ile işaretlenmiş seviyeler, deprem yaşlandırması için en uygun seviyelerdir (McChalpin, 1996).	12
Şekil 1.7 :	Tez çalışması kapsamında değerlendirilen bir kömür örneğinin laboratuvar sonucunun Oxcal v.4.0.5 yazılımında kalibrasyon eğrisi ile ilişkisi ve yaş aralığı sonucunun değerlendirilmesi.	14
Şekil 1.8 :	Tez çalışması kapsamında değerlendirilen bir kömür örneğinin laboratuvar sonucunun Oxcal v.4.0.5 yazılımında kalibrasyon eğrisi ile ilişkisi ve yaş aralığı sonucunun değerlendirilmesi.	14
Şekil 1.9 :	Eski depremlere ait büyüklük hesaplarında kullanılan yüzey kırığı uzunluğu (km)-deprem büyüklüğü (M_w) ilişki diyagramı (Wells ve Coppersmith, 1994'ten değiştirilerek).	16
Şekil 1.10 :	Eski depremlere ait maksimum yer değiştirme hesaplarında kullanılan deprem büyüklüğü (M_w)-maksimum yer değiştirme (m) ilişki diyagramı (Wells ve Coppersmith, 1994'ten değiştirilerek).	16
Şekil 1.11 :	Eski depremlere ait ortalama yer değiştirme hesaplarında kullanılan deprem büyüklüğü (M_w)-ortalama yer değiştirme (m) ilişki diyagramı (Wells ve Coppersmith, 1994'ten değiştirilerek).	17
Şekil 1.12 :	Doğrultu atımlı faylar üzerinde oluşan morfolojik yapıların şematik gösterimi (Sylvester, 1988'den değiştirilerek).	21
Şekil 1.13 :	Türkiye'nin İlkçağdaki kültür bölgeleri ve Bithinya'nın bu bölgeler arasında yeri (Umar, 2004'ten değiştirilerek alınmıştır).	22
Şekil 1.14 :	Türkiye ve civarının neotektonik birlikleri ve neotektonik yapılarının sadeleştirilmiş haritası (Bozkurt, 2001'den alınmıştır).	24
Şekil 1.15 :	Türkiye ve civarında GPS ölçümleri ile belirlenen güncel yatay hareketler (Clarke ve diğ., 1998, McClusky ve diğ., 2000, Meade ve diğ., 2002), (Şengör vd diğ., 2005'ten alınmıştır).	24
Şekil 1.16 :	Tetis kenarı yığılma karmaşıkları, Kuzey Anadolu kerojeni (KAK) ve içerisinde haritalanmış olan faylar (Şengör ve diğ., 2005).	25

Şekil 1.17 :	20.yy'da KAF üzerinde meydana gelen yıkıcı depremlerin doğudan batıya göçü (Stein ve diğ., 1997'den alınmıştır).	26
Şekil 2.1 :	İmparator Hadrianus'un depremden büyük hasar gören şehre (Nikomedia) yardım etmesinden sonra İmparator'a minnet ifadesi olarak basılan sikke.	28
Şekil 2.2 :	26 Ekim 740 depremi nedeniyle hasar gören yerleşim birimleri (Guidoboni ve diğ. 1994'den değiştirilerek).	34
Şekil 2.3 :	23 Eylül 1063 depremi nedeniyle hasar gören yerleşim birimleri ve önerilen merkez üssü lokasyonu (Guidoboni ve diğ. 1994'den değiştirilerek).	40
Şekil 2.4 :	6 Kasım 1344 depremi nedeniyle hasar gören yerleşim birimleri ve önerilen merkez üssü lokasyonu (Guidoboni ve Comastri, 2005'den değiştirilerek).	43
Şekil 2.5 :	6 Kasım 1344 depreminden iki sene sonra 19 Mayıs 1346'da Aya Sofya Kilisesi ve kubbesinin batı kesimindeki hasar (Antoniadis 1907).....	43
Şekil 2.6 :	1 Mart 1354 depremi nedeniyle hasar gören yerleşim birimleri ve önerilen merkez üssü lokasyonu (Guidoboni ve Comastri, 2005'den değiştirilerek).	44
Şekil 2.7 :	İstanbul'da 10 Eylül 1509 depreminden etkilenen yapıların konumlarını gösteren taslak harita (Ambraseys ve Finkel, 1995'ten değiştirilerek alınmıştır).	46
Şekil 2.8 :	10 Eylül 1509 depremi nedeniyle hasar oluşan yerleşim birimleri (Ambraseys ve Finkel, 1995'ten alınmıştır).....	47
Şekil 2.9 :	10 Mayıs 1556 depremi (Hess, 1910).	48
Şekil 2.10 :	25 Mayıs 1719 depremi nedeniyle hasar oluşan yerleşim birimleri Ambraseys ve Finkel, 1995'ten alınmıştır).	50
Şekil 2.11 :	İstanbul'da 25 Mayıs 1719 depreminden etkilenen yapıların konumlarını gösteren taslak harita (Ambraseys ve Finkel, 1995'ten değiştirilerek alınmıştır).	50
Şekil 2.12 :	2 Eylül 1754 tarihinde meydana gelen depremden etkilenen yerleşim birimleri (Ambraseys ve Finkel, 1995'ten alınmıştır).....	51
Şekil 2.13 :	İstanbul'da 2 Eylül 1754 depreminden etkilenen yapıların konumlarını gösteren taslak harita (Ambraseys ve Finkel, 1995'ten alınmıştır)....	51
Şekil 2.14 :	1 Eylül 1754 depremi ve İstanbul'da hasar (Toinet, 1982).	52
Şekil 2.15 :	22 Mayıs 1766 tarihinde meydana gelen depremden etkilenen yerleşim birimleri (Ambraseys ve Finkel, 1995'ten alınmıştır).	53
Şekil 2.16 :	İstanbul'da 22 Mayıs 1766 depreminden etkilenen yapıların konumlarını gösteren taslak harita (Ambraseys ve Finkel, 1995'ten değiştirilerek alınmıştır).	53
Şekil 2.17 :	10 Temmuz 1894 depremi eşşiddet haritası (Eginitis, 1894'den değiştirilerek).	54
Şekil 2.18 :	4 Ocak 1935 Marmara Adaları depreminin eşşiddet haritası (Ambraseys, 1988'den değiştirilerek).	55
Şekil 2.19 :	a) 20 Haziran 1943 Hendek-Adapazarı depreminin eşşiddet haritası (Pamir ve diğ. 1943'den değiştirilerek). b) 20 Haziran 1943 Hendek-Adapazarı depreminin fay düzlemi çözümü (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı:86/90/166) (McKenzie, 1972).	56
Şekil 2.20 :	1 Şubat 1944 Bolu-Gerede depremi sonucu oluşan ötelenme değerleri (Kondo ve diğ., 2005'ten alınmıştır).	57

Şekil 2.21 :	1 Şubat 1944 Bolu-Gerede depreminin eşsiddet haritası (Ergin ve diğ., 1967'den değiştirilerek).	57
Şekil 2.22 :	Ocal (1959) tarafından haritalanan 26 Mayıs 1957 Abant depreminin yüzey kırığı (Öcal, 1959'dan alınmıştır).	59
Şekil 2.23 :	a) 26 Mayıs 1957 Abant depreminin eşsiddet haritası (Ergin ve diğ., 1961'den değiştirilerek). b) 26 Mayıs 1957 Abant depreminin McKenzie (1972) tarafından yapılan fay düzlem çözümü (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı: 87/78/180).	59
Şekil 2.24 :	18 Eylül 1963 Doğu Marmara depreminin eşsiddet haritası (Özçiçek, 1964'den değiştirilerek).	60
Şekil 2.25 :	18 Eylül 1963 Doğu Marmara depreminin fay düzlem çözümleri. a) McKenzie (1972) tarafından yapılan fay düzlem çözümü (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı: 118/20/-69) b) Jackson ve McKenzie (1984) tarafından yapılan fay düzlem çözümü (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı: 268/70/-125). c) Taymaz ve diğ. (1991) tarafından yapılan fay düzlem çözümü (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı: 304/56/-82).	60
Şekil 2.26 :	22 Temmuz 1967 Mudurnu Vadisi depremi sonucunda oluşan yüzey kırığı (yüzey kırığı Ambraseys ve Zapotek 1969'dan sayısallaştırılmıştır).	62
Şekil 2.27 :	a) 22 Temmuz 1967 Mudurnu Vadisi depreminin eşsiddet haritası (Ergin ve diğ., 1971'den değiştirilerek). b) 22 Temmuz 1967 Mudurnu Vadisi depreminin McKenzie (1972) tarafından odak mekanizması çözümü. (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı:93/90/180).	62
Şekil 2.28 :	1967 depremi artçı şok aktivitesi a) 16 Temmuz-30 Eylül 1988 tarihleri arasında Doğu Marmara bölgesinde kurulan 9 sismoloji istasyonu ile izlenen deprem aktivitesi (İio ve diğ., 1991). b) Soldaki şekilde turuncu dikdörtgen içerisinde kalan depremler ile çözülen faylanma mekanizması (İio ve diğ., 1991).	63
Şekil 2.29 :	30 Temmuz 1967 tarihinde meydana gelen artçı bir şokun fay düzleminin McKenzie (1972) tarafından çözümü (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı: 151/44/-167).	64
Şekil 2.30 :	24 Nisan 1988 Kuzey Marmara Denizi depreminin eşsiddet haritası (Eyidoğan ve diğ. 1991).	64
Şekil 2.31 :	17 Ağustos 1999 İzmit depreminin eşsiddet haritası (Özmen, 2000'den alınmıştır).	66
Şekil 2.32 :	17 Ağustos 1999 İzmit depreminin yüzey kırığı ve tanımlanan segmentler (Barka ve diğ., 2002)	67
Şekil 2.33 :	Karamürsel-Gölcük segmenti yüzey kırığı ve yer değiştirme ölçülen noktalar (Barka ve diğ. 2002'den değiştirilerek) (Ölçüm değerleri için Çizelge 2.1'e bakınız).	68
Şekil 2.34 :	Karamürsel-Gölcük segmenti üzerinde 1999 İzmit depremi ile oluşan yer değiştirme miktarları.	69
Şekil 2.35 :	İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde 1999 İzmit depremi ile oluşmuş yüzey kırığı ve yer değiştirme ölçülen noktalar (Barka ve diğ., 2002'den değiştirilerek).	69
Şekil 2.36 :	İzmit-Sapanca Gölü segmentinde 1999 Ağustos depremi ile oluşmuş sağ-yanal yer değiştirme dağılımı.	71
Şekil 2.37 :	İzmit körfezi doğusunda bir su kanalında 1999 İzmit depremi ile oluşan sağ-yanal ötelenme ve kanal kenarının haritası (fotoğrafın bakış yönü kuzeydir).	71

Şekil 2.38 :	İzmit körfezinin 3 km doğusunda, Yaylacık köyünde izlenen ötelenmiş yapılar. a) Lokasyon 8a ve 8b’de ötelenen yapıların haritası. b) Lokasyon 8a’da bahçe duvarında izlenen sağ-yanal ötelenme (bakış kuzeydir). c) Lokasyon 8b’de izlenen duvar ötelenmesi (bakış kuzeydir).....	72
Şekil 2.39 :	Lokasyon 15’de 1999 İzmit depremi yüzey kırığı sonucu ötelenen kavak ağaçları sıralarının haritası ve yer değiştirme miktarları (fotoğrafın bakış yönü kuzeydir).	73
Şekil 2.40 :	Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde 1999 İzmit depremi ile oluşmuş yer değiştirme ölçüm noktaları (Langridge ve diğ., 2002’den değiştirilerek).	74
Şekil 2.41 :	Arifiye ilçesindeki kavak ağaçları sıralarının 1999 İzmit depremi yüzey kırığı sonucu ötelenme miktarları ve yüzey kırığı.	74
Şekil 2.42 :	2 numaralı lokasyonda ötelen toprak yol ve haritası (Sol üstteki fotoğraf Prof. Dr. Aykut Barka tarafından depremde kısa bir süre sonra çekilmiştir. Sol alttaki fotoğrafta bakış yönü güneydir).	75
Şekil 2.43 :	3 numaralı lokasyonda ötelenen asfalt yol ve batı kenarının haritası (fotoğrafın bakış yönü güneydir).	76
Şekil 2.44 :	4 numaralı lokasyonda ötelenen kaldırım kenarı, benzin pompaları ve haritası (Mavi kırmızı nokta ve çizgiler kaldırımı, sarı dikdörtgenler benzin pompalarını gösterir, fotoğrafın bakış yönü kuzeydir).	76
Şekil 2.45 :	Sakarya nehri batısında 1999 İzmit depremi ile ötelenmiş yapılar ve ötelenme değerleri.	77
Şekil 2.46 :	6 numaralı lokasyonda ötelenen asfalt yol ve haritası (fotoğrafın bakış yönü kuzeydir).	77
Şekil 2.47 :	Çıldır köyü kuzeyinde 1999 depremi ile ötelenen kavak ağaçları sıralarının haritası ve yer değiştirme miktarları (fotoğrafın bakış yönü kuzeydir).	78
Şekil 2.48 :	Sapanca-Akyazı segmentinde 1999 Ağustos depremine bağlı yer değiştirme dağılımı.	80
Şekil 2.49 :	Karadere segmenti yüzey kırığı haritası ve ölçüm lokasyonları. (Hartleb ve diğ., 2002’den değiştirilerek).	81
Şekil 2.50 :	Karadere segmenti üzerinde 17 Ağustos 1999 İzmit depremine bağlı yer değiştirme dağılımı.	82
Şekil 2.51 :	12 Kasım 1999 Düzce depremi yüzey kırığı ve fay düzlem çözümü. 1999 depremleri yüzey kırıkları (Barka ve diğ., 2002) ve Düzce depremi fay düzlem çözümü (Tibi ve diğ., 2001) (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı: 263/62/-176).	82
Şekil 2.52 :	12 Kasım Düzce depreminin yüzey kırığı ve ötelenme değerleri (Akyüz ve diğ., 2002’den alınmıştır).	83
Şekil 2.53 :	12 Kasım Düzce depremine bağlı yer değiştirme dağılımı (Akyüz ve diğ., 2002’den alınmıştır).	83
Şekil 2.54 :	Son 2000 yılda KAF’ın kuzey kolu üzerinde meydana gelmiş ve gelmiş olabilecek depremlerin tarihlerine göre dizilimi.	85
Şekil 3.1 :	İstanbul-Zonguldak Zonu ve Armutlu-Almacık Zonu’nun jeoloji haritası (A.M.: Almacık Dağları, AAZ: Armutlu-Almacık Zonu, NAF: Kuzey Anadolu Fayı, G: Geyve, M: Mudurnu.) (Yılmaz ve diğ., 1997’den alınmıştır).	87

Şekil 3.2 :	Armutlu-Almacık Zonu, İstanbul Zonu ve Sakarya Kıtasının genelleştirilmiş dikme kesitleri (Yılmaz ve diğ., 1997'den değiştirilerek alınmıştır).	89
Şekil 3.3 :	Akyazı(Adapazarı)-Gölyaka(Düzce) arasının 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası (Herece ve Akay (2003)'ten değiştirilerek alınmıştır).	90
Şekil 3.4 :	Akyazı-Gölyaka arasının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti...	94
Şekil 3.5 :	Merkezyeniköy kuzeyinde yüzeyleyen fillat seviyeleri.	95
Şekil 3.6 :	Çamlıca köyü güneyinde, Kocakoyak deresinde gözlenen mermer merceği. (bakış yönü güneybatıdır).	96
Şekil 3.7 :	Çayköy batısında, İznik metamorfikleri içerisinde yer alan kuvarsit seviyesi ile Derinoba formasyonu arasındaki bindirme faylı dokanak (bakış yönü güneyedir).	96
Şekil 3.8 :	Aksar formasyonunun Aksar tepe güney kesimlerinde ardalanmalı seviyeleri.	98
Şekil 3.9 :	Pazarköy-Güzlek köyü yolu üzerinde Aksar formasyonunda konglomeratik taban seviyeleri ve üstüne gelen kireçtaşı seviyeleri arasındaki geçiş.	98
Şekil 3.10 :	Aksar formasyonunda konglomeratik taban seviyeleri ve üstüne gelen kireçtaşı seviyeleri arasındaki geçiş kesimlerinde faylanmış bir andezit dayk.	99
Şekil 3.11 :	Sümbüllü formasyonun Karadere köyü güneyinde kumtaşı-marn ardalanmalı seviyeleri.	100
Şekil 3.12 :	Karadere köyü batısında Sümbüllü formasyonunun silttaşı-kiltaşı seviyeleri ve içerisinde izlenen küresel ayrışmalar.	100
Şekil 3.13 :	Karadere köyü güneyinde, Sümbüllü formasyonu içerisinde bulunan <i>İnoceramus</i> sp. fosili kalıbı.	100
Şekil 3.14 :	Şekil 3.13'deki el numunesinin ince kesitinde görünen Globotruncanidae fosili. (Sağ alttaki sarı çizgi 15 µm.'dir).	101
Şekil 3.15 :	Değirmen-tepe güneyinde Değirmen-tepe formasyonuna ait bir mostra. (bakış kuzeyedir).	102
Şekil 3.16 :	Değirmen-tepe köyü batısında Değirmen-tepe formasyonunun laminalı seviyeleri ve bu seviyeleri kesen bir dayk.	102
Şekil 3.17 :	Kadifekale köyü batısında Aksu deresinde Değirmen-tepe formasyonuna ait bir mostra.	102
Şekil 3.18 :	İçmeler köyü kuzeybatısında Değirmen-tepe formasyonunda izlenen derecelenme.	103
Şekil 3.19 :	İçmeler köyü kuzeybatısında Değirmen-tepe formasyonunda gelişmiş normal faylanma (bakış yönü KB'yadır).	103
Şekil 3.20 :	Değirmen-tepe formasyonu içerisinden alınan numunenin ince kesitinde izlenen Üst Kretase fosilleri (Sol alttaki sarı çizgi 40 µm.'dir).	103
Şekil 3.21 :	Kuyudüzü köyü kuzeyinde Kuyudüzü formasyonunun alt seviyelerinden bir görünüm.	104
Şekil 3.22 :	Kuyudüzü formasyonunun Yazlık köyü kuzeydoğusunda gözlenen üst seviyeleri.	105
Şekil 3.23 :	Güney köy kuzeyinde Derinoba formasyonuna ait bir mostra.	106
Şekil 3.24 :	Derinoba formasyonu içerisinde yer alan <i>Nummulites</i> sp. fosili içeren dayanımlı kireçtaşı seviyeleri.	106

Şekil 3.25 :	Derinoba formasyonu içerisinde alınan numunenin ince kesit görüntüsünde izlenen çeşitli foraminiferler (sol altta görünen sarı çizgi 40 µm.'dir.).....	107
Şekil 3.26 :	Derinoba formasyonu içerisinde alınan bir numunenin ince kesitinde <i>Nummulites</i> sp. fosili (sol altta görünen sarı çizgi 40 µm.'dir.)	107
Şekil 3.27 :	Güney köyü kuzeyinde Dikmen formasyonunun volkanosedimanter seviyeleri.	108
Şekil 3.28 :	Karadere köyü güneyinde Dikmen formasyonunu temsil eden lavlar ve içerisinde gelişmiş bir fay.....	109
Şekil 3.29 :	Kemeryanı köyü güneybatısında Dikmen formasyonunun volkanosedimanter ve lav kayalarının görünümü.	109
Şekil 3.30 :	Güzlek köyü civarında Güzlek formasyonunun çakıllı seviyeleri. ..	110
Şekil 3.31 :	Güzlek köyü Pazarköy arasında İznik metamorfikleri ve Güzlek formasyonunun dokanağı.	110
Şekil 3.32 :	Pazarcık mahallesi kuzeydoğusunda Pazarcık formasyonunun konglomeratik seviyeleri.	111
Şekil 3.33 :	Örencik formasyonunun, Süleymaniye köyü kuzeyinde akarsu stratigrafisinin en iyi gözlemlendiği kesimleri.....	112
Şekil 3.34 :	Örencik formasyonunun içerisinde yer alan taneler.....	113
Şekil 3.35 :	Açma tepe eteklerinde Örencik formasyonunun çok kötü boylanmalı seviyeleri.	113
Şekil 3.36 :	Karadere köyü güneyinde eski alüvyon ve içerisinde gelişmiş faylanmalar.....	114
Şekil 3.37 :	Çamlıca köyü doğusunda Pleistosen ve Kuvaterner çökelleri.	115
Şekil 3.38 :	Karadere segmenti boyunca bindirme bileşenli sağ-yanal hareket. .	116
Şekil 4.1 :	Doğu Marmara bölgesinin morfolojik üniteleri (Emre ve diğ., 1998 ve Yiğitbaş ve diğ., 2004'ten değiştirilerek). İSK: İzmit-Sapanca Koridoru; AKK: Adapazarı-Karasu Koridoru, SG: Sapanca Gölü. .	118
Şekil 4.2 :	İzmit Körfezi ve Sapanca Gölü arasında topoğrafik görünüm. (Kırmızı çizgiler 1999 İzmit depremi yüzey kırığını göstermektedir.).....	119
Şekil 4.3 :	a) Kullar köyünün yaklaşık 2,5 km güneybatısında, Yüceller mevkiinde 1999 yüzey kırığının izlediği D-B uzanan oluk morfolojisinin batı bakışlı görünümü. Sarı çizgi 1999 İzmit depremi yüzey kırığını, mavi çizgi ise topoğrafik kesiti temsil etmektedir. b) Yüceller mevkiinde, oluk yapısının kuzeyindeki yükseltiden GGB'ya bakışlı fotoğraf.	120
Şekil 4.4 :	Kullar köyü güneybatısında, Yaylacık Tepe'de meydana gelen sağ-yanal ötelenme.....	121
Şekil 4.5 :	Kullar köyü güneybatısında Yaylacık mevkiinde Toklu dere'de meydana gelen sağ-yanal ötelenme ve ölçümü için kullanılan referans noktaları.....	122
Şekil 4.6 :	Sarımeşe köyü güneyinde 1999 İzmit depremi yüzey kırığı tarafından kat'edilen oluk yapısı ve Sarımeşe Tepe (68 m.).	122
Şekil 4.7 :	Tepetarla doğusu ve batısında yer alan bataklık alanlar ve izlenen morfolojik sarplıklar.....	123
Şekil 4.8 :	Sapanca Gölü batısında çarpılmış vadiler ve morfolojik sarplıklarının konumu.....	124
Şekil 4.9 :	Sapanca Gölü batısında, Acısu köyü civarında yer alan fay çöküntüleri, çarpılmış vadiler ve fay sarplıklarının konumu.	124

Şekil 4.10 :	Sapanca Gölü batısında çarpılmış vadiler ve güneyinde yer alan morfolojik sarplığın stereoskopik görünümü (Üç boyutlu görebilmek için 3B gözlüğü kullanınız).	125
Şekil 4.11 :	Acısu köyünün doğusunda yer alan fay çöküntüsünün stereoskopik görünümü (Üç boyutlu görebilmek için 3B gözlüğü kullanınız).	125
Şekil 4.12 :	Acısu köyü doğusunda yer alan fay çöküntüsü. (Fotoğrafın bakış yönü DGD'yadır)	126
Şekil 4.13 :	Acısu köyünün 2 km. doğusunda yer alan D-B ve KB-GD uzanımlı fay çöküntülerinin üç boyutlu görünümü (Üç boyutlu görebilmek için 3B gözlüğü kullanınız).	126
Şekil 4.14 :	Sapanca Gölü'nün batimetrisi ve 1999 İzmit Depremi yüzey kırıklarının göl ile ilişkisi. (Göl dışındaki mavi çizgiler 1999 İzmit depremi yüzey kırığını temsil etmektedir. Göl içerisindeki faylar Lettis ve diğ. (2002)'den alınmıştır. Gölün batimetrisi Lettis ve diğ. (2002)'den sayısallaştırılarak elde edilmiştir.)	128
Şekil 4.15 :	Sapanca Gölü güney ve kuzey kesiminde gözlenen morfolojik farklılık.	128
Şekil 4.16 :	Sapanca Gölü güneyinde yer alan yelpaze çökelleri.	129
Şekil 4.17 :	Sapanca-Akyazı segmenti.	129
Şekil 4.18 :	Sapanca Gölü doğusunda 1999 İzmit depremi yüzey kırığı ve Dağhasan tepe önünde yer alan morfolojik sarplık. Göl içerisindeki siyah oklar fayın göl içerisindeki olası uzantısını işaret eder.	130
Şekil 4.19 :	Sapanca gölü doğusunda Sakarya nehrinin KAF'ın hareketine bağlı yer değiştirmeleri (Altlık olarak 742 bant kombinasyonunda LANDSAT-ETM görüntüsü kullanılmıştır).	131
Şekil 4.20 :	Almacık bloku ve çevresinde yer alan tektonik ve morfolojik unsurlar.	133
Şekil 4.21 :	Almacık bloku kuzeybatı kesiminin ve Karadere blokunun eşyükselti değerleri.	134
Şekil 4.22 :	Çamlıca köyü kuzeyinde Açma tepede meydana gelen sağ-yanal yerdeğiştirme.	134
Şekil 4.23 :	Haraklı kuzeyinde Açma tepenin hava fotoğrafının stereoskopik görüntüsü (Üç boyutlu görebilmek için 3B gözlüğü kullanınız).	135
Şekil 4.24 :	Açma tepe de 1999 İzmit depremi yüzey kırığı üzerinde gözlenen bir fay çöküntüsü (fotoğrafın bakış yönü GB'yadır).	135
Şekil 4.25 :	Karadere köyü güneyinde yer alan basınç sırtı (fotoğrafın bakış yönü KB'yadır).	136
Şekil 4.26 :	Almacık bloğu kuzeybatı kesiminin Karadere segmenti boyunca sağ-yanal yerdeğiştirmesi.	136
Şekil 4.27 :	Şekil 4.28'de görülen topoğrafik profillerin kesit yerleri.	138
Şekil 4.28 :	Karadere segmenti boyunca meydana gelen düşey yer değiştirmeyi araştırmak için sağ-yanal ötelenmenin sıfırlanması sonrasında segmente dik açıyla alınan topoğrafik kesitler.	138
Şekil 5.1 :	Tez çalışması kapsamında paleosismolojik araştırma yapılan lokasyonların konumu.	141
Şekil 5.2 :	İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde yapılan fay kazısının konumu.	142
Şekil 5.3 :	Acısu köyü doğusunda 1999 İzmit depremi yüzey kırığı ve açılan hendeklerin konumu.	142

Şekil 5.4 :	Acısu lokasyonunun mikrotopoğrafyası, 1999 İzmit depremi yüzey kırığı ve üzerinde açılan hendeğin konumu.	143
Şekil 5.5 :	Acısu lokasyonunda hidrolik payanda desteği ile çalışılan hendeğin genel görünümü (fotoğrafın bakışı güneydir).....	143
Şekil 5.6 :	ACSP hendeğinin batı duvarından alınan ACSP B-2 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.	144
Şekil 5.7 :	ACSP hendeğinin doğu duvarına ait haritalama (Litoloji açıklamaları için Çizelge 5.1'e bakınız).	145
Şekil 5.8 :	ACSP hendeğinin batı duvarından alınan ACSP B-5 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.	147
Şekil 5.9 :	Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde çalışılan lokasyonların konumu.	147
Şekil 5.10 :	Nehirkent lokasyonunda 1999 İzmit depreminin yüzey kırığı, ötelenen yapılar ve açılan hendeklerin konumu.	148
Şekil 5.11 :	NK-1 hendeği doğu duvarında gözlenen ana deformasyon zonunun fotomozaiik görüntüsü (Fotoğrafta görülen karelaj 50x100 cm'dir).	150
Şekil 5.12 :	NK-1 hendeğinin batı duvarına ait haritalama.	151
Şekil 5.13 :	NK-1 hendeğinin doğu duvarına ait haritalama.	151
Şekil 5.14 :	NK-2 hendeğinin doğu duvarına ait haritalama.	152
Şekil 5.15 :	NK-1 hendeğinin doğu duvarından alınan "NK-1 D-7" numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.	153
Şekil 5.16 :	NK-1 hendeğinin doğu duvarından alınan "NK-1 D-2" numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.	153
Şekil 5.17 :	NK-1 ve NK-2 hendeklerinin üç boyutlu görünümü ve "c" biriminde (kırmızı renkli seviye) izlenen sağ-yanal ötelenme.....	154
Şekil 5.18 :	NK-1 ve NK-2 hendeklerinde kum barına ait ötelenmenin yardımcı hendeklerle çıkarılan haritası ve ölçülen ötelenme değeri.	155
Şekil 5.19 :	NK-3 hendeği batı duvarında kum seviyelerinde laminalı çapraz tabakalanmalar (düşey karelaj mesafesi 50 cm.'dir).	156
Şekil 5.20 :	NK-3 hendeğinin batı duvarına ait haritalama. Alta yer alan fotoğraflar haritalama üzerindeki kesikli çerçeveler ile gösterilmiş alanlara aittir.	157
Şekil 5.21 :	NK-3 hendeğinin batı duvarından alınan "NK-3 B-21" numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.	159
Şekil 5.22 :	NK-3 hendeğinin batı duvarından alınan "NK-3 B-15" numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.	159
Şekil 5.23 :	Şekil 5.10'da haritalanmış eski teras kenarının (T2) fotoğrafı (bakış GB'ya).	160
Şekil 5.24 :	Sakarya nehrine ait eski teras kenarının (T2) haritalanması amacıyla mikrotopoğrafya çalışması. (Yükseklik değerleri gerçek topoğrafik değerlerden bağımsız, göreceledir, örnekleme aralığı 20 cm.'dir) ..	161
Şekil 5.25 :	Nehirkent lokasyonunda alınan GPR profillerinin konumu.	161
Şekil 5.26 :	Fay zonunun güneyinde, teras seviyesinin görünür kenarı üzerinde alınan GPR profili ve izlenen seviyeler.	162
Şekil 5.27 :	Fay zonunun hemen kuzeyinde yaklaşık D-B yönünde alınan GPR profili (nk250_4) ve profilden belirlenen gömülü teras kenarının görünümü.	162
Şekil 5.28 :	NK-4 hendeğinin kuzey duvarına ait haritalama.	163
Şekil 5.29 :	NK-5 hendeği güney duvarına ait haritalama. Gömülü teras kenarı 12-13 metreler arasında izlenmektedir.	164

Şekil 5.30 :	Fay zonunun güneyinde gözlenen teras kenarının ve gömülü olarak devam eden uzantısının haritası ve ölçülen ötelenme değeri.	165
Şekil 5.31 :	Sakarya Nehri doğusunda, 1999 İzmit depremi ile kavak ağaçlarında meydana gelen sağ yanal ötelenme.	166
Şekil 5.32 :	SK hendeğinin genel görünümü.	167
Şekil 5.33 :	Batı duvarda yer alan bir kum dayk ve pembe kil seviyesindeki ötelenme.	167
Şekil 5.34 :	Batı duvarda yer alan iyi boylanmış kum seviyelerindeki laminalı çapraz tabakalanmalar.	167
Şekil 5.35 :	SAK hendeğinin batı duvarından alınan SW-9 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.	168
Şekil 5.36 :	SK hendeğinin batı duvarına ait haritalama. Üstteki fotomozaik, log üzerinde mavi çerçeveli alanı temsil eder.	169
Şekil 5.37 :	SK hendeğinin doğu duvarına ait haritalama. Üstteki fotomozaik görüntü, log üzerinde mavi çerçeveli alanı temsil eder.	170
Şekil 5.38 :	SK hendeğinin batı duvarından alınan SE-4 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.	171
Şekil 5.39 :	Ekinli köyü kuzeyinde 1999 İzmit depremi yüzey kırığı ve üzerinde açılan hendeğin konumu (fotoğrafın bakışı doğudan batıyadır).	172
Şekil 5.40 :	Hendek duvarlarının sabit kalmasını sağlamak amacıyla kullanılan hidrolik payandaların hendek içerisinde görünümü.	173
Şekil 5.41 :	EKN hendeğinin batı duvarına ait haritalama.	174
Şekil 5.42 :	EKN hendeğinin doğu duvarına ait haritalama.	174
Şekil 5.43 :	EKN hendeğinin doğu ve batı duvarlarına ait haritalamanın üç boyutlu görünümü (bakış güneybatıya'dır).	175
Şekil 5.44 :	EKN hendeğinin doğu duvarında gözlenen 1999 İzmit depremine ait kayma düzlemlerinden biri. Kayma çizikleri saf sağ-yanal hareketi göstermektedir.	175
Şekil 5.45 :	EKN hendeğinin batı duvarı 13-14 metreleri arasında görülen sınırlama yapıları. (Sarı oklar kum bacasını, kırmızı noktalı çizgi çökeltide çalkantıya bağlı oluşmuş deformasyonu gösterir.)	176
Şekil 5.46 :	EKN hendeğinin batı duvarından alınan EKN-B14 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.	177
Şekil 5.47 :	EKN hendeğinin doğu duvarından alınan EKN-D11 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.	177
Şekil 5.48 :	EKN hendeğinin batı duvarından alınan EKN-B6 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.	177
Şekil 5.49 :	EKN hendeğinin batı duvarından alınan EKN-B21 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.	178
Şekil 5.50 :	Karadere segmenti üzerinde paleosismolojik çalışma yapılan lokasyonlar.	178
Şekil 5.51 :	1999 İzmit depreminde asfalt yolda ve bahçe çitinde meydana gelen sağ yanal yer değiştirme (fotoğrafın bakış yönü KKD'yadır).	179
Şekil 5.52 :	Karadere köyü Kazimiye mahallesinde açılan hendeğin konumu (kırmızı oklar 1999 İzmit depremi yüzey kırığını işaret etmektedir, fotoğrafın bakış yönü kuzeydir).	179
Şekil 5.53 :	KZM hendeği. a) Doğu hendek duvarında fay zone ve hendek stratigrafisi, b) Batı hendek duvarında fay zone ve hendek stratigrafisi.	180
Şekil 5.54 :	Kazimiye hendeği doğu duvarına ait haritalama.	181

Şekil 5.55 :	KZM hendeği doğu duvarında tespit edilen KZM-3 ve KZM-4 depremlerine ait faylanmalar (Sarı oklar KZM-3 depreminin, kırmızı oklar ise KZM-4 depreminin sebep olduğu faylanmayı göstermektedir).....	183
Şekil 5.56 :	KZM hendeği doğu duvarında 6. metrede tespit edilen, KZM-5 depreminin sebep olduğu faylanma.....	183
Şekil 5.57 :	KZM hendeğinin doğu duvarından alınan KZM D-2 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.....	184
Şekil 5.58 :	KZM hendeğinin doğu duvarından alınan KZM D-5 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.....	184
Şekil 5.59 :	Karadere segmenti üzerinde açılan hendeğin (kırmızı ok ile gösterilmiştir) ve 1999 İzmit depremi yüzey kırığının (sarı oklar ile işaretlenmiştir) görünümü.	185
Şekil 5.60 :	Karadere hendeğinin batı duvarında, 1999 İzmit depremi sonucu oluşan faylanmanın görünümü (Duvar üzerindeki karelaj 50x50 cm. dir).	186
Şekil 5.61 :	Hendeğin batı duvarına ait haritalama ve tespit edilen eski deprem seviyeleri.	187
Şekil 5.62 :	KDR hendeğinin batı duvarından alınan “KDR B-3” numaralı kömür parçasının C-14 yaş tayini sonucu.....	188
Şekil 5.63 :	KDR hendeğinin batı duvarından alınan “KDR B-7” numaralı kömür parçasının C-14 yaş tayini sonucu.....	189
Şekil 5.64 :	KDR hendeğinin batı duvarından alınan “KDR B-10” numaralı kömür parçasının C-14 yaş tayini sonucu.....	189
Şekil 5.65 :	Acısu lokasyonunda ACS hendeğinde belirlenen eski depremlerin bulunabilecekleri tarih aralıkları.	192
Şekil 5.66 :	Nehirkent lokasyonunda hendek çalışmaları sonucu belirlenen eski depremlerin bulunabilecekleri tarih aralıkları.	193
Şekil 5.67 :	Sakarya hendeğinde (SK) belirlenen eski depremlerin bulunabilecekleri tarih aralıkları.	194
Şekil 5.68 :	Ekinli hendeğinde (EKN) belirlenen eski depremlerin bulunabilecekleri tarih aralıkları.	196
Şekil 5.69 :	Kazimiye (KZM) hendeğinde belirlenen eski depremlerin bulunabilecekleri tarih aralıkları.	199
Şekil 5.70 :	Karadere (KDR) hendeğinde belirlenen eski depremlerin bulunabilecekleri tarih aralıkları.	199
Şekil 5.71 :	Tez çalışması kapsamında doğu Marmara’da yapılan paleosimolojik hendek çalışmalarında belirlenen eski depremler.	202
Şekil 5.72 :	Doğu Marmara bölgesinde Karamürsel-Düzce arasında KAF’ın kuzey kolu üzerinde yapılan paleosismolojik çalışmaların sonuçları: II. Klinger ve diğ. (2003), IV. Pavlides ve diğ. (2006), VI. Pantosti ve diğ. (2008), VII. Bu çalışma.....	207
Şekil 6.1 :	Doğu Marmara bölgesinde 11.yy’da meydana gelen depremler ve oluşturdukları yüzey kırıklarına ait birinci senaryo.	214
Şekil 6.2 :	Doğu Marmara bölgesinde 11.yy’da meydana gelen depremler ve oluşturdukları yüzey kırıklarına ait ikinci senaryo.....	215
Şekil 6.3 :	Doğu Marmara bölgesinde 15. ve 16.yy’da meydana gelen depremler ve oluşturdukları yüzey kırıkları.	216
Şekil 6.4 :	Parsons ve diğ. (2000) tarafından, 1500 yılından itibaren Marmara bölgesinde meydana gelen büyük tarihsel depremlerin oluşturmuş	

	olabilecekleri yüzey kırıkları ve buna bağlı büyüklükleri (Parsons ve diğ., 2000'den alınmıştır).....	217
Şekil 6.5 :	Marmara bölgesinde 18.yy'da meydana gelen depremler ve oluşturdıkları yüzey kırıkları.....	218
Şekil 6.6 :	Marmara bölgesinde 18.yy depremlerinin kırmış olabilecekleri segmentler (Barka ve diğ., 2002'den alınmıştır).....	218
Şekil 6.7 :	Marmara bölgesinde 18. ve 19.yy depremlerinin kırmış olabilecekleri segmentler (Hubert-Ferrari ve diğ., 2000'den alınmıştır).....	218
Şekil 6.8 :	İzmit körfezi-Düzce arasında KAF'ın kuzey kolu üzerinde son 2000 senede meydana geldiği belirlenen depremlerin sismik segmentleri (II. Klinger ve diğ. (2003), IV. Pavlides ve diğ. (2006), VI. Pantosti ve diğ. (2008), VII. Bu tez çalışması).....	220
Şekil 6.9 :	Marmara bölgesinde,KAF'ın kuzey kolu üzerinde son 2000 yılda meydana gelen ve/veya gelmiş olabilecek depremler (78 adet deprem).	221
Şekil 6.10 :	Marmara bölgesinde,KAF'ın kuzey kolu üzerinde son 2000 yılda meydana gelen ve/veya gelmiş olabilecek depremler (83 adet deprem).	222
Şekil 6.11 :	Deprem tekrarlanma aralıklarının analizi için önerilen, tekrarlanma aralığı değeri ve zamana bağlı deprem sırasını gösteren grafik (A: deprem tekrarlanma aralıkları birbirine yakın değerlere sahip, B: deprem tekrarlanma aralıkları değişken değerlerde, C: deprem tekrarlanma aralıkları birbirine eşit).....	223
Şekil 6.12 :	Şekil 6.9'da görülen deprem kümelenmeleri arasındaki zaman farklarının grafik gösterimi.	224
Şekil 6.13 :	Şekil 6.10'da görülen deprem kümelenmeleri arasındaki zaman farklarının grafik gösterimi.	224
Şekil 6.14 :	İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde son 2000 yılda meydana gelen depremler ve deprem tekrarlanma aralığı (Kesikli çizgiler tarihsel dökümanlardan; düz çizgiler ise 1999 İzmit depremi hariç olmak üzere paleosismoloji çalışmalarından elde edilmiştir).	225
Şekil 6.15 :	İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde son 2000 yıl için deprem tekrarlanma aralıklarının grafik gösterimi.	225
Şekil 6.16 :	Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde paleosismolojik çalışmalardan elde edilen depremler (1999 İzmit depremi hariç) ve tekrarlanma aralıkları.	226
Şekil 6.17 :	İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde belirlenen son 1250 yılda meydana gelen depremlerin tekrarlanma aralıklarının grafik gösterimi.	226
Şekil 6.18 :	Karadere segmenti üzerinde paleosismolojik çalışmalardan elde edilen depremler (1999 İzmit depremi hariç) ve tekrarlanma aralıkları.	227
Şekil 6.19 :	Karadere segmenti üzerinde yaklaşık son 2000 yılda meydana gelen depremlerin tekrarlanma aralıklarının grafik gösterimi.	227
Şekil 6.20 :	Reid (1910) tarafından önerilen mükemmel periyodik model (A), Shimazaki ve Nakata (1980) tarafından önerilen zaman tahminli (B) ve kayma tahminli (C) modellerin karşılaştırılması. Üstteki diyagramlar zaman içerisinde stress boşalım paternini, alttaki diagramlar zaman içerisinde fay üzerinde meydana gelen kayma miktarı paternini göstermektedir (Scholz, 1990).	229

Şekil 6.21 :	Doğrultu atımlı faylar üzerinde fay davranış modelleri (Schwartz ve Coppersmith, 1984'den değiştirilerek). a) değişken kayma modeli, b) tekdüze kayma modeli, c) karakteristik deprem modeli, d) Aşmalı model, e) çiftli (coupled) model.	230
Şekil 6.22 :	Deprem tekrarlanma aralıklarının geçen süre zarfında deprem meydana gelme olasılığına etkisi (TA: tekrarlanma aralığı) (McCalpin, 1996'dan değiştirilerek).	230

KUZEY ANADOLU FAY ZONUNUN İZMİT-GÖLYAKA (DÜZCE) ARASINDAKİ SEGMENTLERİNİN PALEOSİSMOLOJİSİ ve MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ

ÖZET

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), doğuda Karlıova'dan batıda Saros Körfezi batısına kadar Türkiye'nin kuzey kesimi boyunca uzanan, dünyanın en büyük ve aktif sağ-yanal atımlı faylarından biridir. KAF, 20.yy boyunca Erzincan'dan itibaren doğudan batıya doğru göç eden depremler ile kırılmıştır. 1999 yılı Ağustos ve Kasım aylarında meydana gelen İzmit ve Düzce depremleri 20.yy'daki bu deprem göçünün devamlılığını temsil eder.

1999 İzmit depremi ($M_w=7.4$) İzmit Körfezi ve Gölyaka (Düzce) arasında yaklaşık 150 km uzunluğunda beş farklı segmentin kırılmasına sebep olmuştur. Bu segmentler, batıdan doğuya doğru; Hersek, Karamürsel-Gölcük, İzmit-Sapanca Gölü, Sapanca-Akyazı ve Karadere segmentleridir. Segmentler arasındaki sağa sıçramalar KAF boyunca farklı ölçeklerde çek-ayır havzaların oluşmasına sebep olmuştur. Karadere segmenti dışındaki segmentlerin konumu yaklaşık doğu-batı yönlü, Karadere segmenti ise $K60^{\circ}-70^{\circ}D$ konumludur. İzmit depremi ile meydana gelen en yüksek sağ-yanal ötelenme değeri 5.2 m olarak ölçülmüştür.

17 Ağustos 1999 İzmit depreminden yaklaşık 3 ay sonra, 12 Kasım 1999 tarihinde, daha doğuda, KAF'ın Düzce havzasının güneyini sınırlayan kesimi üzerinde yıkıcı ve yüzey kırığı oluşturan bir deprem ($M_w=7.2$) daha meydana gelmiştir.

Doğu Marmara'da, KAF'ın kuzey koluna en yakın şehirlerden İstanbul ve İzmit şehirleri yüzyıllar boyunca çeşitli medeniyetlere ev sahipliği yapmıştır. Bu eski medeniyetlerden günümüze ulaşan belgeler, geçmiş yüzyıllarda da bölgede hasar ve can kaybına sebep olan depremlerin meydana geldiğini göstermektedir. Bu belgeler aracılığı ile, bölgede gerçekleşmiş eski depremlerin yerleşim yerlerine olan etkilerini belli detaylarda öğrenmek mümkündür.

Doğu Marmara bölgesinde, Bolu'dan batıya doğru çatallanarak kollara ayrılan KAF, bu kesimde farklı ana tektonik ve morfolojik üniteleri birbirinden ayırır. Bu üniteler İstanbul-Zonguldak Zonu (ya da morfotektonik anlamda Kocaeli penepleni), Armutlu-Almacık Zonu (ya da morfotektonik anlamda Armutlu-Almacık yükselimi) ve Sakarya Kıtası (morfotektonik anlamda Bursa-Bilecik rölyefi)'dir. KAF, uzun dönem hareketleri sonucunda bölgede önemli izler bırakmıştır. Armutlu-Almacık Zonu doğu kesimini temsil eden Almacık blokunun kuzeybatı kenarının KAF tarafından dilimlenip sağ-yanal ötelenmesi bu izlerden biridir. Bu dilimlenme 1999 İzmit depreminde kırılan Karadere segmenti boyunca izlenmektedir. Bu kesimdeki uzun dönem sağ-yanal ötelenmenin belirlenebilmesi için segment boyunca yer alan jeolojik birim ve yapılar temel jeoloji haritalaması yapılarak araştırılmıştır.

Karadere segmenti boyunca yaşları Paleozoik'ten Kuvaterner'e kadar değişen, farklı litolojik özelliklerde 13 formasyon haritalanmıştır. Bölgedeki en yaşlı birim İznik metamorfikleri ile temsil edilir. İznik metamorfikleri Üst Kretase-Paleosen yaşındaki

transgressif çökellerle örtülür. Bu çökelleri oluşturan birimler birbirleriyle yanal ve düşey geçişlidirler ve alttan üste doğru Aksar formasyonu, Sümbüllü formasyonu ve Değirmentepe formasyonu olarak bu çalışmada adlanmışlardır. Üst Kretase-Paleosen birimleri açısız uyumsuzlukla Erken-Orta Eosen yaşlı Kuyudüzü ve Derinoba formasyonları ile örtülür. Kendinden yaşlı tüm birimler üzerinde açısız bir uyumsuzlukla yer alan Üst Miyosen birimleri Pazarcık formasyonu ve Güzlek formasyonu olarak bu çalışmada adlanmıştır. Üst Miyosen birimlerinin üzerinde stratigrafik olarak Orta Pleistosen yaşlı gevşek tutturulmuş çakıl, kum ve silt seviyelerinden oluşan Örencik formasyonu yer almaktadır. Üst Pleistosen dönemi eski alüvyon çökelleri ile temsil edilir. Güncel çökeller ise alüvyon ve alüvyal fan çökellerinden oluşmaktadır.

Aynı yaştaki birimlerin tabanları, Karadere segmentinin kuzey ve güneyinde farklı kotlarda gözlenmiştir. Hem Alt-Orta Eosen hem de Orta Pleistosen birimlerinde yapılan bu gözlem segmentin kuzeyinde yer alan Karadere bloğunun güneye göre yükseldiğini işaret eder. Akyazı-Gölyaka arasında, Karadere segmenti boyunca sağ-yanal harekete kuzey bloğun yükselmesi şeklinde düşey bir hareket de eşlik etmektedir. Karadere ve Almacık blokları arasındaki sağ-yanal kaymanın orijinal olduğu düşünülen konumuna geri çekilmesiyle, toplam yükselme miktarı yaklaşık 950 m olarak ölçülmüştür.

1999 İzmit depremi yüzey kırığı boyunca izlenen uzamış sırt, ötelenmiş dere ve tepeler, basınç sırtları, fay gölcükleri ve çöküntü alanları faylanmanın bir süredir bu güzergahı takip ettiğini göstermektedir. Güncel GPS gözlemlerinden elde edilen kayma hızı değerleri ve bu çalışmada hesaplanan jeomorfik kayma hızı değerlerine göre bu yapılar, İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde en az yaklaşık 20.000 yıldır, Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde en az yaklaşık 140.000 yıldır KAF tarafından kat'edilmiş olmalıdır. Karadere segmenti boyunca, kuzeydeki Karadere bloğunun ve güneydeki Almacık bloğunun morfolojik sınırlarından en az 9 km toplam sağ-yanal ötelenme ölçülmüştür. Segment doğusunda jeomorfik bir yapıdan hesaplanan kayma hızı segment için aynı kabul edilip, bu toplam yanal hareketin en az yaklaşık 750.000 yılda meydana geldiği hesaplanmıştır. En az 750.000 yıllık sürede toplam 950 m'lik düşey hareketin sağlanabilmesi için, Karadere bloğunun yükselme hızı 1.24 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde, Sakarya nehrine ait eski bir teras yükselimi KAF tarafından kesilmiş ve kuzey kesimde yüzeyde gözlenememiştir. Teras yükseliminin fayın kuzeyinde gömülü devam edebileceği şüphesiyle yapılan GPR ve üç boyutlu hendek çalışması ile yükselimin gömülü devamı belirlenmiştir. Hem yüzey hem de yeraltı araştırmaları ile bu jeomorfik yapının KAF tarafından 18.5 ± 0.5 m sağ-yanal ötelendiği ölçülmüştür. Teras yüzeyinin OSL yaş tayini yöntemi ile yaşlandırılması ile bu bölgede son 1000 yıl için 22.2 ± 3 mm/yıl kayma hızı hesaplanmıştır.

1999 İzmit depremi ile kırılan İzmit-Sapanca Gölü, Sapanca-Akyazı ve Karadere segmentleri üzerinde biri üç boyutlu olmak üzere toplam 6 lokasyonda yapılan paleosismolojik hendek araştırmaları ve tarihsel deprem araştırmaları ile bu segmentlerin sismik tarihçesi ve deprem tekrarlanma aralıklarına bir yaklaşımda bulunulmuştur.

İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde belirlenen eski deprem seviyeleri 989 (?), 554 (?) ve 120 yıllarında meydana gelen tarihsel depremler ile; Sapanca-Akyazı segmentinde belirlenen eski deprem seviyeleri 1719, 1567, 1010 ve 740 yıllarında meydana gelen tarihsel depremler ile; Karadere segmenti üzerinde belirlenen eski

deprem seviyeleri 1419, 1010, 740 (862?, 869?), 554 ve 358 yıllarında meydana gelen tarihsel depremler ile korele edilmiştir.

Bu sonuçlara, bölgede son yıllarda diğer araştırmacılar tarafından üretilmiş paleosismolojik veriler de eklendiğinde 989 depremi için iki ayrı senaryo üretilmiştir. Birinci senaryoda Adalar güneyinden Sapanca Gölü'ne kadar 100 km.lik bir yüzey faylanması ile $7.3 \geq M_w \geq 7.5$ arası büyüklükte bir deprem; ikinci senaryoda, Yalova-Akyazı arasında 115 km'lik bir yüzey kırığı ile $M_w \geq 7.4$ büyüklüğünde bir deprem önerilmiştir. 1010 yılının Ocak ve Mart aylarında 3 ay ara ile meydana gelen iki depremin; bir tanesinin Karadere ve Düzce segmentleri üzerinde, diğerinin ise daha batıda yer alan Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde veya daha da batıda yüzey kırığı meydana getirmiş olması mümkündür. Bu depremler için $6.8 \geq M_w \geq 7.1$ arasında bir büyüklük öngörülmüştür. 1419 depremi en az Karadere segmentinde yüzey kırığı geliştirmiş, yüksek ihtimalle daha doğudaki segmentlerde de kırılmaya sebep olmuştur. Bu depremin büyüklüğü $M_w=7$ 'den büyüktür. 1509 depremi için Yalova açıklarından ya da Adalar güneyinden Sapanca Gölü'ne kadar bir yüzey faylanması ile $7.2 \geq M_w \geq 7.5$ büyüklük önerilmiştir. 1567 depreminin sadece Sapanca-Akyazı segmentini kırdığı ve $6.8 \geq M_w \geq 7.0$ büyüklükte olduğu önerilmiştir. 1719 depremi için Karamürsel-Akyazı arasında yaklaşık 90 km'lik bir yüzey kırığı ile $7.3 \geq M_w \geq 7.5$ büyüklükte bir deprem önerilmiştir.

Hem tarihsel dökümanlardan elde edilen bilgiler, hem de paleosismolojik hendek çalışmaları sonuçları; Doğu Marmara bölgesinde KAF'ın kuzey kolunun son 2.000 yılda yaklaşık 100 yıl ile 500 yıl arasında değişen farklı tekrarlanma aralıklarıyla beş farklı deprem (olasılıkla $M \geq 5$) kümelenmesi ürettiğini ve bu kümelenmeler arasında tekil büyük depremlere sebep olduğunu gösterir. Buna göre, KAF'ın kuzey kolunun bölgedeki sismik davranışı bimodaldır.

Doğu Marmara'da 11.yy ve 16.yy deprem serileri, birbirine komşu olmayan segmentlerin kırılmasıyla sonuçlanmıştır. KAF'ın Doğu Marmara bölgesinde yer alan segmentleri her zaman sismik segment davranışı göstermemiş, farklı depremlerle farklı segmentler birarada ya da tek başlarına yüzey faylanması geliştirmişlerdir.

Doğu Marmara bölgesinde KAF, Bolu-Erzincan arasına göre daha karmaşık bir geometridedir ve farklı kollara ayrılarak daha geniş bir alana yayılmıştır. Bu bölgede meydana gelen depremlerin birbirleriyle olan etkileşimi incelenmesi gereken bir problemdir. Bu problemin çözümü için, Marmara bölgesinde yer alan segmentler üzerinde yeni paleosismolojik verilerin elde edilmesinin yanısıra; kayma hızı, gerilme yönleri, gerilme birikimi, bölgenin sismik özellikleri (sismik dalga hızları, deprem odak merkezleri) gibi diğer parametreleri de içerisinde bulunduran deprem etkileşim modellerinin oluşturulması önemlidir.

Bu çalışmada elde edilen sismik tarihçe bilgileri bölgedeki deprem davranışlarının daha iyi anlaşılmasına ve analitik modeller oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

PALEOSEISMOLOGIC AND MORPHOLOGIC FEATURES OF THE SEGMENTS OF NORTH ANATOLIAN FAULT ZONE BETWEEN İZMİT-GÖLYAKA(DÜZCE)

SUMMARY

North Anatolian Fault (NAF) is one of the most important active faults in the world. It extends throughout northern Turkey from Karlıova in the east to the Gulf of Saros in the west. NAF was almost totally broken with westward migrated earthquakes during 20th Century. İzmit and Düzce earthquakes were the last events that occurred in 1999 August and November, respectively. Five successive fault segments were broken in 17 August 1999 İzmit earthquake ($M_w=7.4$) between İzmit bay and Gölyaka (Düzce) town. These are Hersek, Karamürsel-Gölcük, İzmit-Sapanca Lake, Sapanca-Akyazı and Karadere segments from west to east. Right-steps between segments brought about pull-apart basins in different sizes. All segments have almost E-W direction except N60°-70°E oriented Karadere segment. Maximum right-lateral displacement caused by the earthquake was measured as 5.2 m. Another destructive earthquake ($M_w=7.2$) was occurred in 12 November 1999, just about 3 months after the previous one, along the southern boundary of Düzce basin, eastern continuation of İzmit earthquake surface rupture.

Large industrial cities are located on close to NAF in Marmara region such as İzmit and İstanbul. These cities have also hosted to different culture since a long history. Historical records indicate that there were lots of important earthquakes that caused large damages and loss of life in the past. These documents may give important data for the effects of large earthquakes to buildings and human life.

North Anatolian Fault has a relatively narrow deformation zone between Erzincan and Bolu, but it bifurcates to the west of Bolu and separates different main tectonic and morphological units from each other. These units are; İstanbul-Zonguldak Zone (or Kocaeli peneplain in morphotectonic manner), Armutlu-Almacık Zone (Armutlu-Almacık High in morphotectonic manner) and Sakarya Continent (or Bursa-Bilecik relief in morphotectonic manner). NAF has visible traces on morphology which shows long-term activity. One clear trace is right-lateral offset part of northwestern side of Almacık block. This displacement is located along Karadere segment which was broken during 1999 August earthquake. This part of the NAF is studied by geological mapping to investigate whether there is any offset geological contact, unit or structure. 13 different geological formations aged between Paleozoic to Quaternary were identified and mapped in a zone along the Karadere segment. The oldest unit in the area is represented by İznik metamorphic assemblage. These rocks are covered by transgressive sediments of Upper Cretaceous – Paleocene age, which are separated into three different formations in this study, Aksar, Sümbüllü and Değirmendere formations from bottom to top. Upper Cretaceous-Paleocene units are covered by Early-Middle Eocene Kuyudüzü and Derinoba formations unconformably. Upper Miocene-aged Pazarcık and Güzlek formations that are named in this study overlie all the older units unconformably. Örencik formation is

made up of unconsolidated terrestrial sediments of Middle Pleistocene. Upper Pleistocene is represented by old alluvium deposits. Recent units in the study area are young alluvium and fan deposits. The bases of contemporaneous units are observed in different elevations both in north and south of the Karadere segment. The observations in both Early-Middle Eocene and Middle Pleistocene units evidenced that northern block along Karadere segment is uplifted. It means that, right lateral movement is accompanied by a vertical movement along Karadere segment. Cumulative vertical movement on northern block is measured as approximately 950 m after lateral reconstruction between northern and southern part morphologically.

Morphological structures such as elongated ridges, offset streams or hills, pressure ridges, sag ponds and linear depressions indicate that NAF is rupturing the same trace for a while. Recent GPS measurements, and slip rates that is obtained in this study give that the NAF is active along the same traces at least since 20.000 years on İzmit-Sapanca Lake segment and 140.000 years on Sapanca-Akyazı segment. Cumulative right lateral movement of at least 9 km between Karadere block to the north and Almacık block to the south is measured along the Karadere segment. It is estimated that these cumulative displacement is occurred during last 750.000 years considering slip rate is similar to a defined morphological data from the Düzce fault, eastern neighbouring fault of Karadere segment. During this period, the measured 950 m of vertical movement should have been occurred with 1.24 mm/yr of vertical slip rate.

An old terrace rise of Sakarya River is cut by NAF nearly perpendicularly. Its northern continuation is not visible on the surface. GPR studies were performed to define buried continuation of terrace rise on the northern block. Both geophysical and trench studies indicated that this geomorphic structure is offset by 18.5 ± 0.5 m dextrally by NAF. Terrace surface was dated by OSL dating method and 22.2 ± 3 mm/yr slip rate is defined for last 1000 years.

2D and 3D paleoseismological trench studies were performed in total 6 locations on İzmit-Sapanca Lake, Sapanca-Akyazı and Karadere segments on the surface rupture of 1999 İzmit earthquake. Seismic history and recurrence period of these segments are defined with paleoseismological studies combining with historical earthquake data from different sources.

Paleoseismological trench studies with the correlation of historical records reveal that the İzmit-Sapanca Lake segment was ruptured by 989 (?), 554 (?) and 120 earthquakes, the Sapanca-Akyazı segment was ruptured by 1719, 1567, 1010 and 740 earthquakes and the Karadere segment was ruptured by 1419, 1010, 740 (862?, 869?), 554 and 358 earthquakes.

Two scenarios are produced for 989 earthquake according to this study's results combining with previous studies. In the first scenario, it is suggested that 989 earthquake was ruptured a 100 km-long fault between south of Princes islands and Sapanca lake with a magnitude of $7.3 \leq M_w \leq 7.5$. Second scenario is an earthquake rupture of 115 km between Yalova and Akyazı with magnitude 7.3 or larger. There were two earthquakes during January and March of year 1010. One of these earthquakes probably should be on Karadere and Düzce segments, and other one was on Sapanca-Akyazı segment or more western neighboring part of the NAF. Magnitude between $6.8 \leq M_w \leq 7.1$ is predicted for these earthquakes. 1419 earthquake produced surface rupture at least Karadere segment and probably its eastern continuation, Düzce segment, with the magnitude 7.0 or larger. The 1509 earthquake

is proposed that is located between Sapanca and Yalova or south of Princes islands with a magnitude of $7.2 \geq M_w \geq 7.5$. 1567 earthquake most probably ruptured only Sapanca-Akyazı segment with magnitude $6.8 \geq M_w \geq 7.0$. In 1719 earthquake, 90 km-long part of NAF between Karamürsel and Akyazı should have been ruptured with a magnitude of $7.3 \geq M_w \geq 7.5$.

Information from historical records and results from paleoseismological trench studies indicate that the northern branch of the NAF in the Marmara region produced damaging earthquake (probably $M \geq 5$) clusters that fluctuated between 100 and 500 years during last 2000 years with individual large events between these clusters. According to these data it is proposed that seismic behavior of the northern branch of NAF in the region is bimodal.

Earthquake series during 11th and 16th centuries were occurred on unneighboring segments. Fault segments of NAF in Marmara region did not show seismic segment behavior in the past. Different segments were ruptured together or individually in different events.

NAFZ in Marmara region has more complex geometry than east of Bolu due to bifurcation and cover larger area. Interaction of earthquakes in the Marmara region is an important problem. To solve this problem, earthquake interaction models should be developed including the data of the seismic history of the segments in Marmara region, slip rates, stress directions, stress accumulation and seismic parameters such as epicenters, the velocity of seismic waves etc.

Seismic history that revealed in this study will help to understand earthquake characteristics and behavior of NAF and be an input for the future analytic models.

1. GİRİŞ

Bu çalışma İ.T.Ü. Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilen “Kuzey Anadolu Fay Zonunun İzmit-Gölyaka (DÜZCE) Arasındaki Segmentlerinin Paleosismolojisi ve Morfolojik Özellikleri” adlı doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Dünyanın en büyük aktif doğrultu atımlı faylarından olan Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Karlıova'dan doğu Marmara bölgesine kadar dar bir zon halinde ilerler. KAF doğu Marmara'da Bolu civarında iki kola ayrılır ve çatallanarak Marmara Denizi'nin kuzey kesimlerinden ve Marmara bölgesinin güneyinden Ege denizine devam eder. 20. yy.'da 1939 yılından itibaren KAF üzerinde doğudan batıya göç eder şekilde, hasar yapıcı, can kaybına neden olan ve yüzey kırığı geliştiren depremler olmuştur. Bu deprem göçünün devamı niteliğindeki son depremler 1999 yılının Ağustos ve Kasım aylarında meydana gelen İzmit ve Düzce depremleridir.

1999 doğu Marmara depremleri, yerbilimcilerin deprem olgusunu daha iyi anlayabilmesi için önemli bir laboratuvar imkanı oluşturmuştur ve bu depremlerden sonra gerek doğu Marmara'da gerek Marmara Denizi'nde araştırma sayılarında önemli bir artış olmuş, bölge sismolojik, jeolojik ve jeodezik açıdan mercek altına alınmıştır. Deprem olgusunu araştıran önemli yöntemlerden biri de depremlerle meydana gelen kısa ve uzun dönem ötelenmelerin araştırılması, fay üzerinde gerçekleşmiş eski depremlerin paleosismolojik çalışmalarla belirlenmesidir.

İzmit depremi ile Yalova'dan Düzce'ye kadar yaklaşık 145 km'lik bir yüzey kırığı oluşmuştur (Şekil 1.1). Bu kırıklar değişik araştırmacılar ve kurumlar tarafından haritalanmıştır (Örn: Barka ve diğ., 2002; Langridge ve diğ., 2002; Hartleb ve diğ., 2002; Lettis ve diğ., 2002; Herece ve Akay, 2003). Batıdan doğuya doğru Hersek, Karamürsel-Gölcük, İzmit-Sapanca Gölü, Sapanca-Akyazı ve Karadere segmentleri olarak adlanan (Barka ve diğ., 2002) segmentler arasında sağa sıçramalar nedeniyle farklı ölçeklerde çek-ayır havzaları gelişmiştir. Karadere segmenti dışındaki segmentler yaklaşık doğu-batı yönlü, Karadere segmenti K60-70D konumludur.

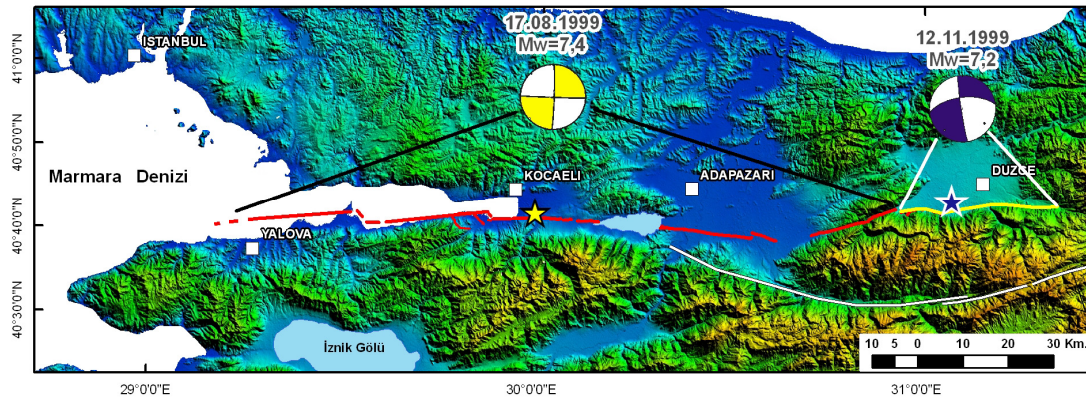
Dördüncü bölümde, doğu Marmara bölgesinin genel morfolotektonik özellikleri kısaca açıklanmış, bu çalışma kapsamında 1999 İzmit depremi yüzey kırıkları üzerinde uzun dönem hareketi gösteren, fay morfolojisini yansıtan yapılar hakkındaki araştırmalar sunulmuştur.

Beşinci bölümde, İzmit-Sapanca Gölü, Sapanca-Akyazı ve Karadere segmentleri üzerinde biri üç boyutlu olmak üzere toplam altı lokasyonda gerçekleştirilen paleosismolojik hendek çalışmaları ilgili segment başlıkları altında anlatılmış, elde edilen paleosismolojik veriler bölgedeki tarihsel depremler ile korele edilmiştir. Bölümde, tez çalışması kapsamında araştırılan segmentlere komşu segmentler üzerinde yapılmış olan diğer paleosismoloji çalışmalarının sonuçları da sunulmuş, bu sonuçlar ile tez çalışması kapsamında üretilen sonuçlar birarada değerlendirilmiştir.

Altıncı bölümde, çalışmanın sonuçları tartışılmış ve problemlerin çözümüne önerilerde bulunulmuştur.

1.1 Amaç

Doğu Marmara bölgesinde, Kuzey Anadolu Fayı üzerinde meydana gelen 17 Ağustos 1999 depremi 40.729°K enlem ve 29.967°D boylamında, 13 km derinlikte (Özalaybey ve diğ., 2002) oluşmuştur. Büyüklüğü $M_w = 7.4$ (USGS, KRDAE) olarak belirlenen ve 45 saniye süren deprem doğu Marmara bölgesinde toplam 145 km. uzunlukta ve 5-30 m. genişliğinde bir yüzey kırığı geliştirmiş ve yüzeyde 5 segment kırılmıştır. Bu segmentler Hersek, Karamürsel-Gölcük, İzmit-Sapanca Gölü, Sapanca-Akyazı ve Karadere segmentleridir (Barka ve diğ., 2002) (Şekil 1.2). Hersek, Karamürsel-Gölcük, İzmit-Sapanca Gölü, Sapanca-Akyazı segmentleri birbirlerinden 1-4 km. genişliğinde çek-ayır havzalar ile ayrılır (Barka ve diğ., 2002). En doğuda bulunan Karadere segmenti K65°D doğrultusunda Akyazı-Efteni Gölü arasında uzanır (Barka ve diğ., 2002, Hartleb ve diğ., 2002). Özellikle depremden sonra bölge ile ilgili bilimsel araştırmalar büyük bir ivme kazanmış, farklı disiplinlerden farklı gruplar Marmara bölgesi ve civarında çeşitli çalışmalar yapmıştır (Örn; Barka ve diğ., 2000; Reilinger ve diğ., 2000; Okay ve diğ., 2000; Le Pichon ve diğ., 2001; King ve diğ., 2001; Altınok ve diğ., 2001; Le Pichon ve diğ., 2001; Toksöz, 2002; Kuşçu ve diğ., 2002; Çakır ve diğ., 2003a,b; Emre ve diğ., 2003a).



Şekil 1.2 : Doğu Marmara Bölgesinin sadeleştirilmiş fay haritası (Barka ve diğ., 2002'den değiştirilerek).

1999 İzmit depremi ile kırılan bu segmentlerin geçmişteki davranışlarının, kinematığının ve gelecekteki davranışlarının anlaşılması için paleosismolojik, morfolojik ve jeolojik araştırmalar büyük bir öneme sahiptir. Bu amaçla, İzmit-Sapanca Gölü, Sapanca-Akyazı ve Karadere segmentleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Planlanan paleosismoloji çalışmaları ile bölgede KAF'ın Geç Holosen'deki davranışı, KAF üzerindeki eski depremlerin yaşlandırılması, büyüklüklerinin ve deprem tekrarlanma periyodunun belirlenmesi, segmentasyon karakteri, ötelenme tarihçesi hakkında veri toplanması amaçlanmıştır. Bununla beraber belli kesimlerde jeolojik haritalama ve morfolojik çalışmalar ile fayın kinematik özellikleri ve toplam ötelenme tarihçesinin anlaşılmasına yönelik veri toplanması bu tez çalışmasının bir diğer amacını oluşturmaktadır.

Son yıllarda tüm dünyada bir çok araştırmacı aktif tektonik çalışmalarında paleosismolojik yöntemleri yaygın olarak kullanmaya başlamıştır. Deprem olgusu insan yaşamını doğrudan etkileyen önemli bir doğa olayıdır. Deprem hakkında elde edilecek sağlıklı bilgiler o ülkenin/bölgenin geleceğini belirler. Örneğin, ülkemizde pek çok yerleşim aktif fayların üzerinde veya etki alanı içindedir. Bu yerlerde yaşayan insanların depremden zarar görmemesi veya en az zararla kurtulması için ilk görev bilim adamlarına düşmektedir. Farklı disiplinlerin birarada çalışmasıyla üretilen bilginin yöneticilere/uygulayıcılara aktarılması büyük öneme sahiptir. Bir bölgenin deprem tehlikesinin ortaya konulmasında yerbilimciler önemli bir yere sahiptir. Bu bilginin doğru ve güncel yöntemlerle üretilmesi o bölgedeki olası bir depremde can ve mal kaybının en aza indirilmesinde ilk adımdır. Bir yerleşim alanının gelişme planlarının, genişleme alanlarının belirlenmesi, büyük mühendislik yapılarının (enerji santralleri, boru hatları, yollar, tüneller, barajlar vb.) yeri, tipi, yapı

özelliklerinin tespiti, aktif tektonik yapıların tarihçesinin, davranış biçiminin ve deprem tehlikesinin doğru bir şekilde ortaya konulmasıyla mümkündür.

Çalışılması planlanan alanda fay zonu özellikle deprem sonrasında yapılan çalışmalarda araştırılmış, 1999 depremleri sismolojik ve jeodezik açıdan oldukça detaylı çalışılmış ve oluşan yüzey kırığı detaylı haritalanmıştır. Bununla beraber doğu Marmara bölgesinde KAF üzerinde paleosismolojik olarak yeterli sayıda ve detayda basılmış çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma ile bölgede bu açıdan veri toplanması ve değerlendirilmesi KAF'ın sismik davranışının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunacak ve analitik veri sağlayacaktır. KAF'ın çalışma bölgesindeki özelliklerinin belirlenmesi Marmara Denizi'nde olması beklenen depremin tahmini ve anlaşılması açısından da önem taşımaktadır.

1.2 Kullanılan Yöntemler

Tez çalışması kapsamında kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır. Bu yöntemler; temel jeolojik yöntemler, jeofizik yöntemler, jeodezik yöntemler, paleosismolojik hendek açma, kullanılan yaşlandırma yöntemleri, eski deprem büyüklüğünün tahmini, tarihsel kaynakların araştırılması ve morfoloji başlıkları altında anlatılmıştır. Tez çalışmasında toplanan verinin ağırlıklı kısmı paleosismolojik veri olmasından dolayı, paleosismolojik yöntemler biraz daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

1.2.1 Temel jeolojik yöntemler

İzmit Körfezi-Akyazı arasında Kuzey Anadolu Fayı Kuvaterner çökelleriyle temsil edilen oldukça düzlük olan bir alanı takip eder. Akyazı (Adapazarı) doğusunda ise Almacık bloğunun kuzey kenarını sınırlayacak şekilde K60°-65°D uzanımıyla Gölyaka (Düzce)'ya uzanır. Bu kesimde KAF Paleozoik'den Kuvaterner'e kadar çeşitli yaşlardaki kaya topluluğunu keser. Karadere segmenti boyunca KAF'ın bölgede yarattığı toplam veya kümülatif yer değiştirmeyi araştırmak amacıyla 1/25.000'lik temel jeoloji haritası hazırlanmış ve 1/50.000 ölçeğinde tez çalışmasının ek kısmında sunulmuştur. Arazi çalışmalarında, altlık olarak 1/25.000 ölçekli G25b3-b4-c1-c2-d2, G26a4-d1 topoğrafik paftaları kullanılmıştır.

1.2.2 Jeofizik yöntemler (Yeraltı Radarı)

Gömülü yapıların ya da süreksizliklerin belirlenebilmesi için paleosismoloji çalışmalarında jeofizik biliminin doğru akım öz direnç, SP, VLF, sismik yansıma ve GPR yöntemleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, faylanma ile ötelenen gömülü morfolojik yapıların belirlenmesi amacıyla GPR (Ground Penetrating Radar, Yeraltı Radarı) kullanılmıştır. Son yıllarda çok gelişen bu yöntemle yüksek ayrımlı ve hızlı ölçümler iyi sonuç vermektedir.

Yeraltı Radarı yada genel adıyla GPR yeraltının sığ tabakalarının (ilk 0-40 metre) araştırılmasında kullanılan jeofizik bilimi tabanlı bir ölçüm cihazıdır. Yöntem, yatay doğrultuda elektrik alan vektörü olan bir verici anten aracılığı ile yer içine gönderilen çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalarının ara yüzeylerden yansımasının gözlemlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Yeraltında, her iki tarafı farklı dielektrik özellikte kayalardan oluşan bir ara yüzey varsa, elektromanyetik dalga bu ara yüzeyde yansıma ve iletme uğrayacaktır. Dalga şekli olarak sürekli veya *Chirp* adı da verilen birkaç nano saniye süreli elektromanyetik imler kullanılır. Kaynak dalgası için seçilen bir merkezi frekansın %50 altı ve üstü aralığındaki frekanslar kullanılır. Örnek olarak 100 Mhz merkez frekanslı kaynakta 50 MHz den 150 Mhz e kadar bir aralık kullanılır. Yeraltı radarı ilk önce buz kalınlığının ölçülebilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Normal yer ortamında yapılan çalışmalarda elde edilen verilerin sismik yöntemlerde kullanılan veri işlem teknikleri ile işlenmesi sonucunda 10–20 m gibi araştırma derinliğine ulaşıldığı görülmüştür. 500-1000 MHz’lik bir anten kullanımı ile 0-2 m derinliği, 100-500 MHz’lik bir antenle 0-10 m derinliği, 20-100 MHz’lik bir anten kullanımı ile 0-30 m derinliği görüntülemek mümkündür. Anten MHz değeri düşükçe daha kısa bir derinlik daha yüksek çözünürlükle görüntülenebilir. Günümüzde ise GPR yöntemi sığ yer araştırmaları ile arkeometri çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Url-1).

1.2.3 Jeodezik yöntemler

Tez çalışması kapsamında hem yersel jeodezik yöntemler hem de uzaktan algılama yöntemleri kullanılmıştır.

1999 İzmit depremi ve/veya eski depremler neticesinde ötelenmiş ve halen izlenebilen yapılar (morfolojik yapılar, yol, beton duvar, bahçe çiti vb.) yapıların

haritalanması ve mikrotopoğrafya çalışmaları TOPCON GPT-8000A marka teodolit cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Hendek çalışmaları için yer seçimi, fay morfolojisi, genel morfolojik özellikler çalışılırken sayısal yükseklik modelleri, uydu görüntüleri ve 1999 İzmit depremi sonrasında üretilmiş olan 1/10.000 ölçekli hava fotoğraflarından yararlanılmıştır. Sayısal yükseklik modelleri, SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) verisi ve Harita Genel Komutanlığı'ndan elde edilen 1/25000 ölçekli sayısal yükseklik paftaları kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma bölgesini kapsayan, 2000 yılına ait LANDSAT-ETM uydu görüntüleri <http://glcfapp.umiacs.umd.edu/index.shtml> adresinden temin edilmiştir ve bölgedeki nehirlerin KAF ile etkileşimi bu görüntüler yardımıyla incelenmiştir. Hava fotoğrafları hem aynalı stereoskop ile hem de üç boyutlu fotoğraf görüntüleme imkanı sağlayan açık yazılımlar aracılığı ile bilgisayar ortamında incelenmiştir.

1.2.4 Paleosismolojik hendek açma

Paleosismoloji, aletsel dönem öncesi oluşmuş depremleri yer, oluş zamanı ve büyüklük belirlenmesi amacıyla inceleyen bir bilim dalıdır (Solonenko, 1973; Wallace, 1981, McChalpin, 1996). Paleosismolojik çalışmaların altında yatan esas amaç eski depremlerin özelliklerinin ve tarihlerinin belirlenerek gelecekteki depremlerin olma olasılığının ve büyüklüğünün hesaplanmasıdır (Wallace, 1986; Reiter, 1995).

Küçük ve orta büyüklükteki depremlerin nadiren yüzeye yakın deformasyon oluşturması ya da oluşan yapıların korunmasının zorluğu nedeniyle paleosismik kayıtlar büyük ($M > 6,5$) depremlerin izleridir. Sadece yeryüzünde algılanabilecek ölçüde iz bırakabilecek büyüklükteki depremleri paleosismolojik açıdan incelemek mümkündür. Bu izler jeomorfik, stratigrafik ve yapısal unsurlarla temsil edilen, direkt olarak faylanmayla ilgili birincil (fay sarplıkları, köstebek izleri, kolüvyal kamalar, tsunami çökelleri vb.) yapılar ve depremin neden olduğu sarsıntıya bağlı oluşan ikincil (heyelanlar, kum volkanları, kum daykları vb.) yapılarıdır (Şekil 1.3 ve 1.4).

Jeomorfik yapıların incelenmesi, fay üzerinde meydana gelmiş tekil, kümülatif ya da toplam ötelenmelerin belirlenmesi ve/veya eski depremlerin büyüklüklerinin hesaplanmasında yaklaşımlar yapılmasını sağlar. Stratigrafik seviyelerde depremler

meydana gelen deformasyonun incelenmesi ise, eski depremlerin büyüklüğü ve bölgedeki deprem tekrarlanma aralığının anlaşılmasında önemli rol oynar.

Paleosismoloji çalışmaları jeolojik, jeofizik, arkeolojik ve dendrolojik veriler sağlanarak yürütülebilir. Aşağıda, özellikle doğrultu-atımlı fay zonları üzerinde jeolojik veriler kullanılarak eski depremlerin incelenmesine yönelik yöntemler anlatılacaktır.

	Fay üzerinde		Faydan uzak	
	ko-sismik	post-sismik	ko-sismik	post-sismik
Jeomorfik yapılar	- fay sarplıkları - çatlaklar - kıvrımlar - köstek izleri - basınç sırtları	- kosismik oluşan yapılarda deformasyonun ilerlemesi	- eğimlenmiş yüzeyler - yükselmiş kıyı çizgileri - batmış kıyı çizgileri	- tektonik teraslar - fay yüzeyleri - kadeh şekilli kanyonlar - dik, keskin dağ önü çizgileri
Stratigrafik göstergeler	- faylanmış tabakalar - kıvrılmış tabakalar	- kolüvyal kamalar - çatlak dolguları - faylanma ile ilgili uyumsuzluklar	- tsunami çökelleri	- erozyonel uyumsuzluklar - yükselme, çökme ve eğimlenmeyle ilgili erozyonel uyumsuzluklar ve çökeller (ör: fay gölcükleri) - yeniden şekillenmiş nehir yatakları
Sismik olmayan benzer yapılar	nadir	nadir	yer yer	yaygın

Şekil 1.3 : Birincil yapılar (tektonik deformasyon ile oluşan) (McChalpin, 1996'dan değiştirilerek).

	Fay üzerinde		Faydan uzak	
	ko-sismik	post-sismik	ko-sismik	post-sismik
Jeomorfik yapılar	- kum volkanları - heyelanlar - bozulmuş ağaçlar		- kum volkanları - heyelanlar - çatlaklar - çökmeler	
Stratigrafik göstergeler	- kum daykları - kum volkanları	- fay gölü çökelleri	- kum daykları ve kum volkanları - dolmuş çatlaklar - yumuşak çökel deformasyonları - türbidit çökelleri	- hızlı depolanmış göl veya delta çökelleri
Sismik olmayan benzer yapılar	yer yer	çok yaygın	yer yer	çok yaygın

Şekil 1.4 : İkincil yapılar (sismik sarsıntı ile oluşan) (McChalpin, 1996'dan değiştirilerek).

Paleosismoloji çalışmalarının ilk ve önemli adımı, çalışılacak olan bölgede fay izinin ve geometrisinin belirlenmesidir. Bu maksatla km² lik büyüklükteki bölgesel çalışmalar ve m²lik büyüklükteki lokal çalışmalar gerçekleştirilir. Bölgesel çalışmalarda uydu görüntüleri, sayısal yükseklik modelleri kullanılırken, lokal alanlarda hava fotoğrafları, arazide oluşturulmuş mikrotopoğrafya modelleri ve haritalamalar gereklidir. Tüm bu çalışmalar sonucu fayın yüzeydeki izi ve geometrisi, faylanma ile deforme olmuş yapıların konumu, fay segmentasyonu ve varsa ikincil yapılar belirlenerek haritalanır.

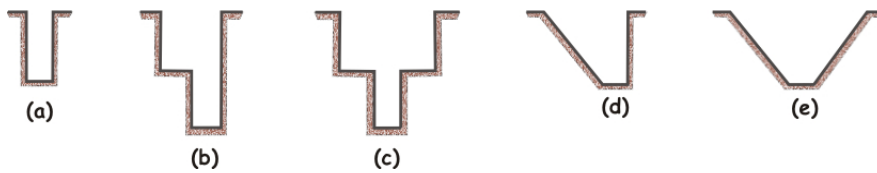
Faylanmanın neden olduğu küçük ölçekteki morfolojik yapıların (kapan sırtı, fay gölcüğü, dere yatağı, teras kenarı vb.) detaylı topoğrafik haritalama ile belirgin hale getirilip çalışılması amacıyla teodolit ya da DGPS (Differential Global Positioning System, Diferansiyel Küresel Konumlandırma Sistemi) gibi elektronik mesafe ya da konum ölçer cihazları kullanılarak bu yapılar haritalanır. Yapılan haritalama ile, morfolojik sürecin anlaşılması ve yapılar üzerinde gözlenebilen ötelenme miktarlarının yüksek doğrulukla ölçülebilmesi daha mümkün hale gelir.

Paleosismoloji çalışmalarında araştırılan derinlik genellikle ilk 10 metredir ve çimentolanmamış gevşek çökellerden oluşan bu kesimde, seviyelerdeki farklılıkları ve süreksizlikleri ayırtmaya yarayacak yüksek çözünürlük sağlayabilen bir yöntem tercih edilir (McCalpin, 1996). Ana amaç; yeraltındaki stratigrafik, morfolojik ve tektonik yapıların (yüzeye ulaşmamış faylanmalar, gömülü kanallar, katmanlar vb.) görülmesi, belirlenmesi ya da kesinleştirilmesidir. Bu amaçla sığ-sismik, GPR, VLF-EM, gravite ya da uygun görülen benzeri bir jeofizik yöntem paleosismoloji çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

Hendek açmak paleosismoloji çalışmalarında kullanılan çok yaygın bir yöntemdir. Yakın geçmişte faylanmalar ile meydana gelmiş ötelenme miktarlarının ve/veya bölgede oluşmuş büyük depremlerin belirlenmesi, hendek çalışmalarındaki asıl amaçtır. Hendek açmak için uygun lokasyon seçimi en önemli adımdır ve araştırmanın amacına göre lokasyonun seçiminde dikkat edilecek kriterler farklılıklar gösterir. Ötelenme değeri ölçülmek isteniyorsa, tüm yerdeğiştirmenin birarada ölçülebileceği dar deformasyon zonları ve fay tarafından ötelenmiş çizgisel bir yapı (su kanalı, yelpaze kenarı, gölcük kenarı vb.) tercih edilir. Eski depremler ayırtedilip belirlenmek isteniyorsa en uygun lokasyonlar sedimentasyonun kesiksiz olduğu, çoğunlukla ince taneli malzemenin çökelediği ve aynı zamanda zengin organik içerik

barındırabilecek çökellerin bulunduğu alanlardır. Araştırılmak istenen deprem tarihçesinin ne kadar geriye gittiği ya da belirlenmesi amaçlanan ötelenmenin ne kadar sürede oluşmuş olabileceği de lokasyon seçiminde önemli yer tutar. Kısa bir dönemde meydana gelmiş ötelenmenin ya da deprem tarihçesinin belirlenebilmesi için genç çökellerin, daha uzun bir tarihçenin belirlenebilmesi için ise daha yaşlı çökellerin depolanmış olduğu alanlar tercih edilir. Lokasyon seçiminde gözönünde bulundurulması gereken fakat jeolojik olmayan koşullar da oldukça önemlidir. Çalışılması planlanan alanının iş makinalarının nakil edilebilir bir yer olması, toprak sahibinin izni ve yüzeyde insan eliyle oluşmuş herhangi bir tahrip olup olmayışı da dikkat edilmesi gereken önemli konulardır.

Lokasyon seçimi yapıldıktan sonra kazı yapmada kullanılacak ekipman ve kazının şekli belirlenir. Kazılacak malzeme, lokasyonun topoğrafyası, kazının ne kadar derin yapılacağı, hendek duvarlarının duraylılığı, fotoğraf çekiminin gerekip gerekmediği kazı tipini ve şeklini belirleyen unsurlardır. Açılacak hendek tipi ve derinliği kazı esnasında yapılan gözlemlerle de yönlendirilerek en sağlıklı ve en güvenli çalışmayı sağlayacak hendek tipinde karar kılınır. Hendek tipi düz, tek tarafı basamaklı, çift tarafı basamaklı, tek tarafı eğimli veya çift tarafı eğimli olabilir (Şekil 1.5). En hızlı ve en az masraflı olan düz hendektir. Ancak hem sınırlı derinliğe inebilmesi hem de kazı güvenliğinin azlığı dezavantajlardır. Çift tarafı basamaklı veya çift tarafı eğimli hendekler kazı güvenliği ve daha derine inebilme açısından avantajlıdır. Ancak kazı zamanı ve hafriyat fazlalığı dezavantajdır. Kazı genellikle bir beko ya da buldozer yardımıyla yapılır, küçük hendekler insan gücüyle de kazılabilir. Eğer duvarların duraylılığı süpheliyse, olası bir yıkımı önlemek amacıyla için hidrolik payanda ya da hemen çalışma lokasyonunda hazırlanabilecek tahta payandalar ile duvarlar desteklenir. Bir diğer karşılaşılabilecek zorluk ise yeraltı su seviyesinin beklenenden yüksek olmasıdır. Bu durumda, topoğrafik uygunluğa göre ya biriken su dışarı direne edilir ya da bir su pompası yardımıyla biriken su belli aralıklarla dışarı atılarak çalışma yapılır.



Şekil 1.5 : Hendek tiplerine ait kesitler. a) düz hendek, b) tek tarafı basamaklı hendek, c) çift tarafı basamaklı hendek d) tek yöne eğimli hendek e) çift yöne eğimli hendek (McChalpin, 1996'dan değiştirilerek).

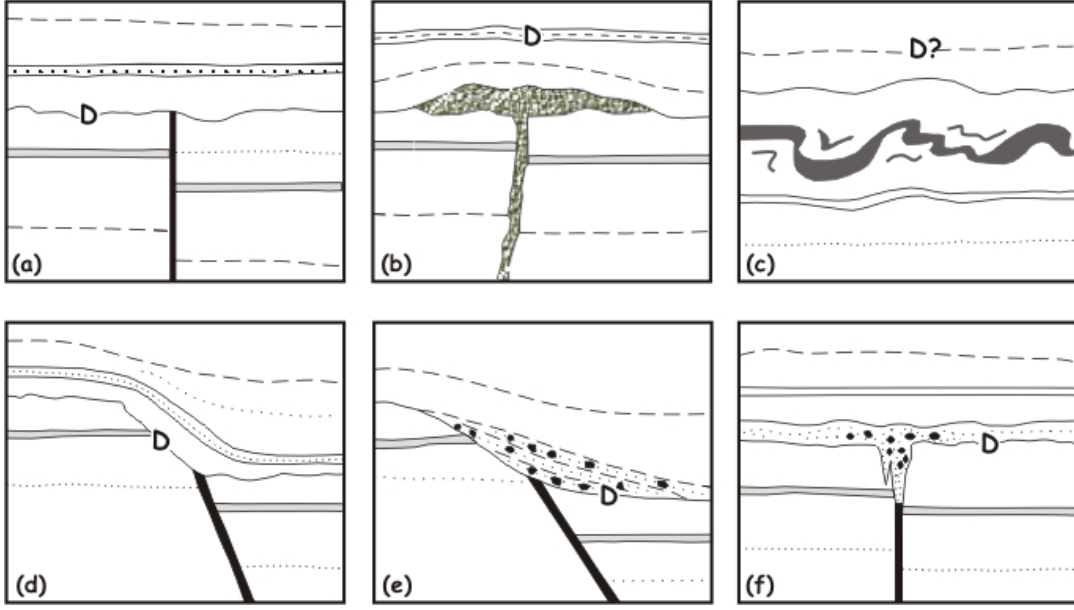
Hendek açıldıktan sonra, kazı işlemi esnasında iş makinasının kepçesiyle duvarlara sıvanmış olan malzemeler temizlenerek stratigrafik seviyeler görünür hale getirilir. Bu temizlik bölgede yer alan çökellerin türüne göre keser, mala, spatula, fırça vb. ile olabilir. Temizlenen duvarlara belli aralıklarla yatay ve düşey ipler gerilerek bir grid ağı oluşturulur ve bu ağın her bir dilimi numaralandırılarak haritalama için gerekli koordinatlandırma yapılır. Bu koordinatlandırmanın ölçeği haritalanacak olan seviye ve yapıların büyüklüğü ile ilişkilidir. Genellikle 1x1 m. ya da 50x50 cm. lik bir karelej kullanılır.

Eğer birbirinden farklı stratigrafik seviyeler rahatlıkla gözleniyor ve hendek fotoğraf çekilebilecek kadar geniş açılabilmiş ise duvarın fotomozaik görüntüsü oluşturulup üzerinde haritalama yapılabilir. Hendek fotoğraf çekilebilecek kadar geniş açılmış olsa bile fotoğrafta ayırdilemeyecek çökel seviyeleri fotomozaik görüntü üzerinden haritalama yapmayı zorlaştırabilir. Fotomozaik görüntü kullanılamaması durumunda hendek duvarındaki yapılar ve stratigrafik seviyeler bir milimetrik kağıda 1/10, 1/20 veya 1/50 ölçeğinde elle çizilerek haritalanır.

Hendek içerisinde izlenen seviyeler ayırdilip; renk, tane boyu, tane şekli, içerik, sedimanter yapılar, alt üst ilişkileri, ayrışma özellikleri vb. gibi özellikler kayıt edilerek haritalanır. Bir diğer harita unsuru ise deforme olmuş yapılardır. Hendek duvarlarının haritalanmasında haritalamayı yapan kişinin tecrübesi ve yorumu da haritalamayı etkileyen önemli bir faktördür.

Doğrultu atımlı faylar üzerinde açılan hendeklerde eski depremlere ait stratigrafik göstergeler şunlardır (Şekil 1.6);

- Bir süreksizliğin yukarı doğru ani kesilmesi (Şekil 1.6a),
- Aşağı ya da yukarı doğru, izlenen düşey ötelenme miktarlarındaki ani değişiklik,
- Bir süreksizlik tarafından kesilen seviyenin süreksizliğin iki tarafında kalınlık değişimi göstermesi ya da ani fasiyes farkı (Şekil 1.6a),
- Kum daykları ve/veya kum volkanları (Şekil 1.6b),
- Kıvrımlanma ve/veya tiltlenme ile gelişmiş açısal uyumsuzluklar (Şekil 1.6c ve d),
- Kolüvyal kama gelişmiş olması (Şekil 1.6e),
- Fay boşluğuna giren dolgu malzemesi (Şekil 1.6f).



Şekil 1.6 : Doğrultu-atımlı fay zonlarında eski depremleri yansıtan tipik göstergelerin şematik gösterimi. Şekildeki tüm örneklerde stratigrafi tek bir faylanmaya maruz kalmıştır. (D) harfi ile işaretlenmiş seviyeler, deprem yaşlandırması için en uygun seviyelerdir (McChalpin, 1996).

1.2.5 Kullanılan yaşlandırma yöntemleri

Paleosismoloji çalışmalarında en önemli işlemlerden biri belirlenen deprem seviyelerinin tarihlendirilebilmesidir. Genellikle, deprem tarafından deforme edilen en genç seviye ve bu seviyeyi örten en yaşlı seviye tarihlendirilerek, belirlenen eski depremin meydana geldiği tarih aralığı alttan ve üstten sınırlandırılır. Bazı araştırmacılar sadece deprem seviyesini hassas bir şekilde yaşlandırarak eski depremin tarihi belirler. Deprem tarihlendirmesinde, tek bir yaş tayini metodundan öte farklı metodları birarada kullanmak ve sadece olay seviyesini değil, hendekteki izlenen stratigrafiyi yaşlandırmak daha sağlıklı sonuçlar verir.

Bu tez çalışmasında eski deprem seviyesi tarihlendirmeleri için C14 (Karbon-14) yaş tayini metodu ile hem deprem seviyelerini sınırlandırılacak şekilde hem de mümkün olduğunca hendek içerisinde görünen stratigrafinin yaşlandırılmasına yönelik uygun seviyelerdeki örnekler seçilip laboratuvara gönderilmiştir.

Ötelendiği belirlenen morfolojik yapıların tarihlendirilmesinde ise Optik Uyarımlı Luminesan (OSL, Optically Stimulated Luminescence) yaş tayini yöntemine başvurulmuştur.

Karbon-14 tarihlendirmeleri Christian Albrechts Üniversitesi Radyometrik Yaşlandırma Laboratuvarı (Kiel-Almanya) ve Arizona Üniversitesi Yer Bilimleri

Bölümü Radyokarbon Laboratuvarı (Tuscon-ABD) tarafından yapılmıştır. OSL tarihlendirmesi için alınan numuneler ise Işık Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Nafiye Güneç Kıyak tarafından kurulan OSL laboratuvarında yaşlandırılmıştır. Aşağıda, kullanılmış olan her iki yaşlandırma yönteminin temel işleyişi sunulmuştur.

1.2.5.1 Karbon-14 (C14) yaş tayini metodu

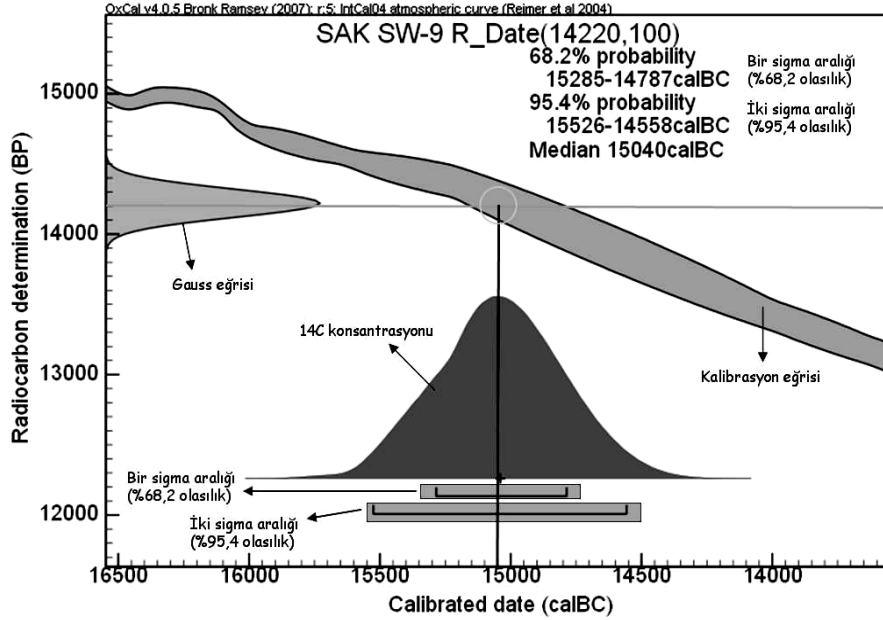
Karbon (C) elementinin 3 temel izotopu vardır. C12, C13 ve C14 izotoplarından C14 duraysız diğerleri duraylı olan izotoplardır. Atmosferin üst tabakasında, kozmik nötronların Azot (N14) üzerindeki bombardımanı sonucu duraysız C14 izotopu oluşur ($14\text{N} + n \rightarrow 14\text{C} + p$). Oluşan C14 hızla 14CO_2 'ye dönüşerek atmosfere katılır. Yaşayan bitkiler CO_2 'yi kullanır ve böylece C14 besin zincirine katılmış olur. Organizma öldüğünde C alımı durur ve C14'ün C12'ye oranı azalır. Yaşayan organizmalardan C14/C12 oranı atmosferdeki oran ile aynıdır. Ancak bu canlı organizmalar öldükleri andan itibaren yapılarındaki C14 ile atmosferdeki C12 arasında var olan denge bozulur. C14 radyoaktif bozunmaya uğrar ve C14 ün C12 ye olan oranı giderek düşmeye başlar. C14 yarılanarak N14'e dönüşmeye çalışır. Bu yol ile karbon izotopları arasındaki bu oransal değişim, bir çeşit saat görevi görür. C14'ün yarılanma süresi 5568 ± 30 yıldır. Buradan hareketle canlıların ne zaman öldükleri bilgisi elde edilebilir.

Atmosferdeki C14 oranı her zaman aynı olmamıştır. Bu yüzden C14 sistemi için, yaşları bilinen ağaçların halkalarındaki C14 aktivitesi ölçülerek kalibrasyon yapılır. 10 yarılanma süresinden sonra oldukça az oranda radyoaktif C kaldığı deneylerle ölçülmüştür. Bu sebeple C14 metoduyla en fazla 50-60 bin yıl kadar geri gitmek mümkündür.

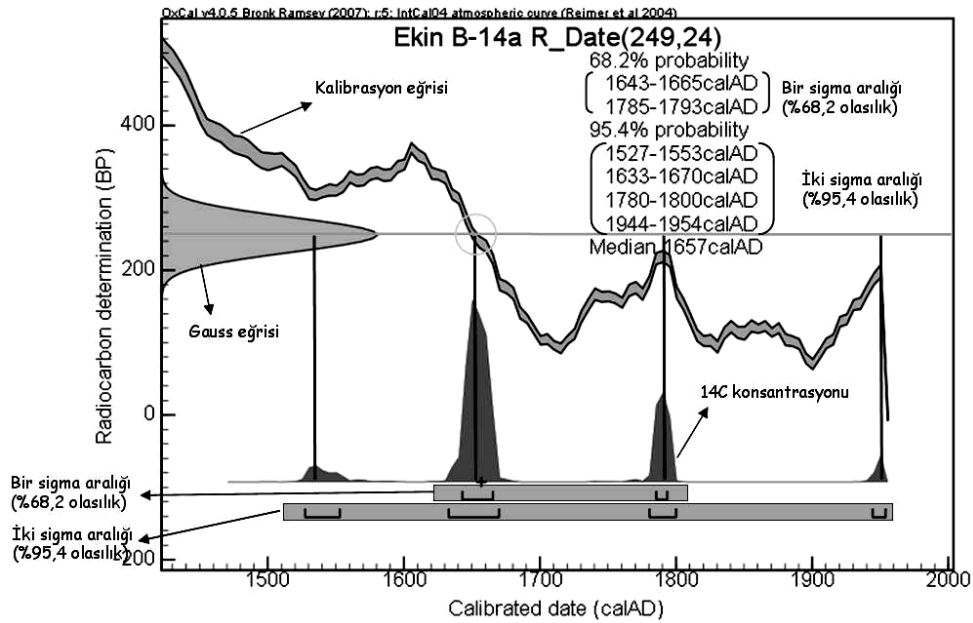
Arazide elde edilen kömür örneklerinin laboratuvar sonuçları Oxcal v.4.0.5 açık yazılımı ile kalibre edilmiş, elde edilen olasılık sonuçlarına göre takvim yılına denk gelen tarih aralıkları seçilmiştir.

Şekil 1.7 ve 1.8'de bu tezin arazi çalışması esnasında toplanmış bir kömür örneğinin laboratuvar sonucunun (BP: before present, günümüzden önce) Oxcal yazılımı ile değerlendirilmesi görülmektedir. 14C konsantrasyonlarının Gauss eğrisini ikiye bölen çizgi ile birleştirilmesinin ardından, kalibrasyon eğrisi ile çakışıp çakışmadığına dikkat edilir. Eğri ile çakışan 14C konsantrasyonunun yatay eksen

(takvim yılı) ile çakıştığı kesimden takvim yılı okunur. Yazılım, ^{14}C konsantrasyonları içerisinde bir sigma ve iki sigma aralıklarında elde edilen yaşın olasılık değerlerini verir. İki sigma aralığı daha yüksek olasılıklı ve daha geniş bir zaman dilimini işaret eden aralıktır. Bir sigma aralığı ise olasılık yüzdesi daha düşük ve daha dar bir zaman aralığını işaret eder.



Şekil 1.7 : Tez çalışması kapsamında değerlendirilen bir kömür örneğinin laboratuvar sonucunun Oxcal v.4.0.5 yazılımında kalibrasyon eğrisi ile ilişkisi ve yaş aralığı sonucunun değerlendirilmesi.



Şekil 1.8 : Tez çalışması kapsamında değerlendirilen bir kömür örneğinin laboratuvar sonucunun Oxcal v.4.0.5 yazılımında kalibrasyon eğrisi ile ilişkisi ve yaş aralığı sonucunun değerlendirilmesi.

Eğer laboratuvar sonucu Şekil 1.8’de görüldüğü gibi farklı 14C konsantrasyonlarına işaret ediyor ise, elde edilen yaş serisi arasından uygun değerin seçimi grafikteki ilişkilere bağlı olduğu gibi, hendek içerisinden alınan diğer örneklerin sonuçları ile alt-üst ilişkileri değerlendirilerek karşılaştırılması da önemlidir. Eğer farklı stratigrafik seviyeler yaşlandırılabilirdiyse, sonuçların olasılık ilişkilerinin belirlenebilmesi için Bayes metodu (Bayes, 1763) uygulanarak örneklerin yaş tayini ile elde edilen tarihler kendi aralarında dengelenebilir (detay için bakınız: Bronk Ramsey, 2001 ve 2007).

1.2.5.2 Optik Uyarımlı Luminesan (OSL) yaş tayini metodu

OSL (Optical Stimulated Luminescence) 1980’lerde çökel tarihleme metodu olarak geliştirilmiş bir metoddur. Optik tarihleme, mineral tanelerinin en son ne kadar zaman önce gün ışığına maruz kaldığını belirleyen bir yöntemdir. Yaşlar birkaç yüzyıldan 100.000 lerce yıla kadar bir aralıkta belirlenebilir ve bu yaşlar uygun yöntemler kullanıldığında ve doğru kontroller yapıldığında güvenilir olabilirler. En uygun koşullar altında elde edilebilen hassasiyet %5 civarındadır.

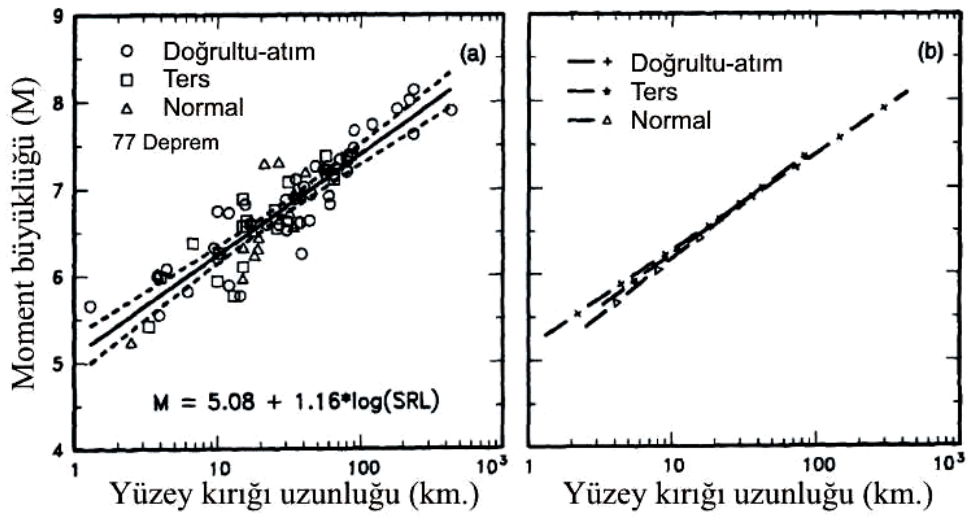
Ölçülen mineraller hem kuvars hem de feldspat olabilmektedir. Optik tarihleme yönteminde can alıcı nokta; mineral tanelerinin gömülmeden önce yeterli gün ışığına maruz kalmasıdır.

OSL saati çökelin depolanmasından önce maruz kalınan gün ışığı tarafından sıfırlanır. OSL tarihleme için önemli bir avantaj; kuvars ve feldspat taneciklerinin luminesansının birkaç dakikalık gün ışığından sonra düşük seviyeye inmesidir. Numunenin gömülü kaldığı sürece almış olduğu doz miktarına “eşdeğer doz” denir. Numunenin gömülü kaldığı yerde bir yıl içinde aldığı doz da “yıllık doz” olarak tanımlanır. OSL tarihlemede laboratuvar ölçümlerinde numuneyi uyarmak için mavi-yeşil (kuvars için) veya kızılötesi (feldspat için) ışık kullanılır ve kristal örgüdeki ışığa duyarlı olarak tuzaklanmış elektronlar serbest kalır. İlgili laboratuvar ölçümleri sonucu eşdeğer doz bulunur. Ayrıca yapılan deneyler sonucu yıllık doz da tespit edilir. “Yaş = Eşdeğer Doz / Yıllık Doz” denklemi kullanılarak yaş hesaplanır.

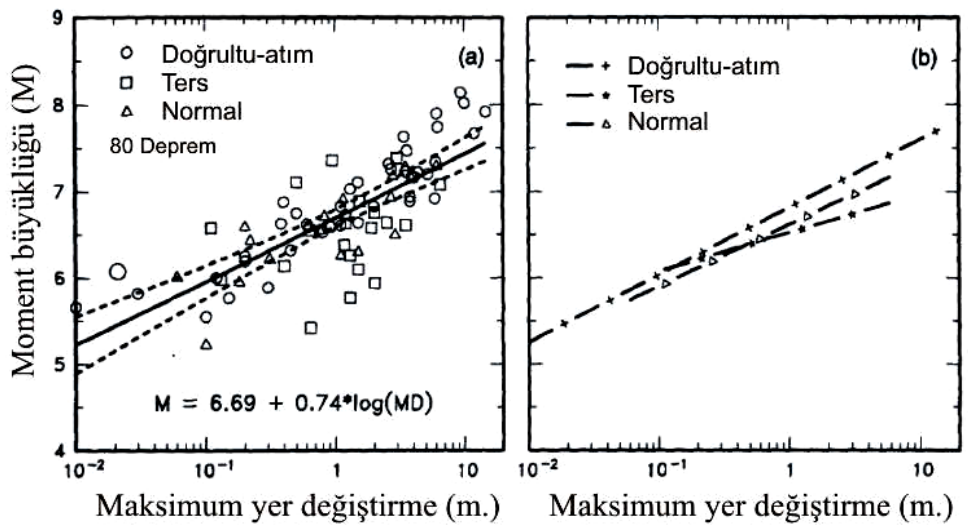
1.2.6 Eski deprem büyüklüğünün tahmini

Bu çalışmada paleosismolojik yöntemlerle belirlenen eski depremler, diğer çalışmalarla belirlenen eski depremler ile karşılaştırılıp birleştirilmiş ve her bir

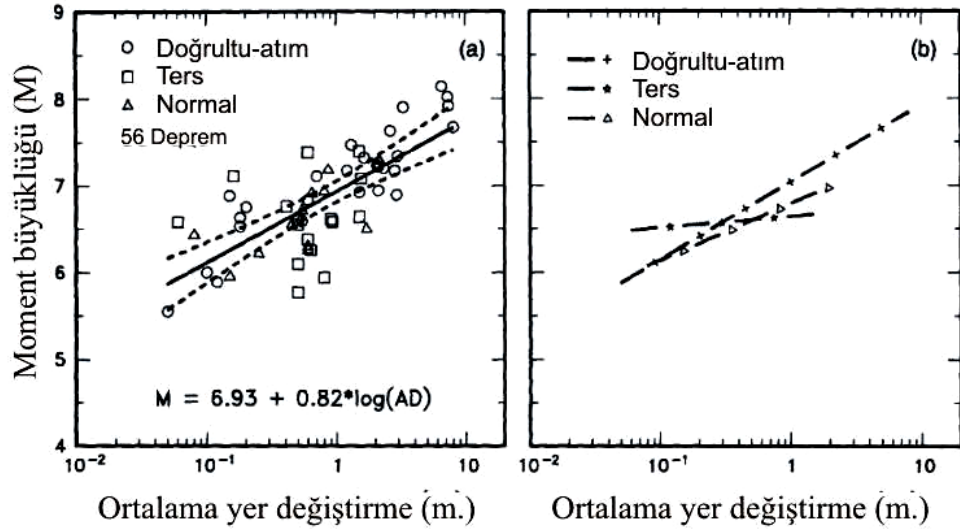
depreme ait belirlenen yüzey deformasyonunun uzunluğundan deprem büyüklükleri için öngörülerde bulunulmuştur. Bu öngörüler, Wells ve Coppersmith (1994) tarafından istatistiksel çalışmalarla oluşturulan yüzey kırığı uzunluğu (km)-deprem moment büyüklüğü (M_w) ilişki diyagramı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlişki diyagramı ile öngörülen deprem büyüklüklerine göre, yine Wells ve Coppersmith (1994) tarafından oluşturulan deprem moment büyüklüğü (M_w)-maksimum yer değiştirme (m), deprem moment büyüklüğü (M_w)-ortalama yer değiştirme (m) ilişki diyagramları kullanılarak, belirlenen eski depremlere ait maksimum yer değiştirme ve ortalama yer değiştirme bilgilerine de bir yaklaşım yapılmıştır.



Şekil 1.9 : Eski depremlere ait büyüklük hesaplarında kullanılan yüzey kırığı uzunluğu (km)-deprem büyüklüğü (M_w) ilişki diyagramı (Wells ve Coppersmith, 1994'ten değiştirilerek).



Şekil 1.10 : Eski depremlere ait maksimum yer değiştirme hesaplarında kullanılan deprem büyüklüğü (M_w)-maksimum yer değiştirme (m) ilişki diyagramı (Wells ve Coppersmith, 1994'ten değiştirilerek).



Şekil 1.11 : Eski depremlere ait ortalama yer değiştirme hesaplarında kullanılan deprem büyüklüğü (M_w)-ortalama yer değiştirme (m) ilişki diyagramı (Wells ve Coppersmith, 1994'ten değiştirilerek).

1.2.7 Tarihsel kaynakların araştırılması

Paleosismoloji çalışmalarında eski depremlere ait veri toplamanın bir diğer yolu da tarihsel kaynaklardan eski depremlere dair bilgi edinmektir. Bu çalışmalar bölgedeki deprem tarihçesi ve karakteristiğinin belirlenmesi, paleosismoloji çalışmaları ile elde edilen verilerin korelasyonu açısından oldukça önemlidir.

Orta ve Doğu Marmara'da faylanma meydana getirmiş ve/veya getirmiş olabilecek ve ayrıca bölgede etkili olan, büyüklüğü tahminen 5 üstü olan depremlerin ayırtedilebilmesi amacıyla bölgeyi etkilemiş geçmiş depremler incelenmiştir. Bu inceleme esnasında başvurulmuş başlıca kataloglar aşağıda Çizelge 1.1'de sunulmuş ve altında kısaca tanıtılmıştır.

Bu kataloglardan başka bazı depremler (tarihsel, aletsel dönem öncesi ya da aletsel dönem) için basılmış olan kitaplar ve bölgenin tarihi hakkında yapılan araştırma sonuçlarını sunan tekil yayınlar da incelenmiştir (ör: Bosch, 1937; Öztüre, 1969; Ambraseys ve Finkel, 1995; Yourcenar, 1992; Öztin, 1994; Baydur 1998; Baydur, 1999; Zachariadou, 2001; Pamukciyan, 2002; Barka ve Er, 2002; Sakin, 2002; Umar, 2004; Karagöz, 2005; Çalık Ross, 2007). Aletsel dönem depremleri için ise ISC (International Seismological Centre) kataloğu kullanılmıştır.

Downey (1955) 342-1454 yılları arasında İstanbul'u etkileyen depremlerin listesini kısa açıklamalar ile birlikte sunmuştur.

Çizelge 1.1 : Çalışma bölgesinin geçmiş depremselliğinin araştırılmasında kullanılan kataloglar.

<i>Katalog</i>	<i>Kapsadığı dönem</i>
Downey (1955)	M.S. 342-1454
Ergin ve diğ. (1967)	M.S. 11-1964
Soysal ve diğ. (1981)	M.Ö.2100-M.S.1900
Eyidoğan ve diğ. (1991)	1900-1988
Guidoboni ve diğ. (1994)	M.Ö. 8.yy- M.S. 10.yy
Ambraseys ve Jackson (2000)	M.S. 16 yy.-1999
Guidoboni ve diğ. (2004)	M.S. 5.yy- M.S. 15.yy
Guidoboni ve Comastri (2005)	M.S. 11.yy- M.S. 15.yy
Ambraseys (2005)	M.S. 4.yy-M.S. 20.yy
Tan ve diğ. (2008)	M.Ö. 2100- 1963

Ergin ve diğ. (1967) M.S. 11 ve 1964 yılları arasında Türkiye ve civarında meydana gelen depremleri, makrosismik ve aletsel verileri de ekleyerek bir liste halinde sunmuştur. Yazarlar, ayrıca, 1928-1964 yılları arasında Türkiye’de gerçekleşen yıkıcı depremlerin isoseist haritalarını ve 1950-1964 yılları arasında gerçekleşen depremlerin yıllık episantr haritalarını da hazırlamıştır.

Soysal ve diğ. (1981) M.Ö.2100-M.S.1900 yılları arasında Türkiye ve civarında gerçekleşen depremleri 40 farklı kaynaktan derleyerek 1175 depremi içeren bir katalog haline getirmiştir. Katalogda, bilgilerin güvenilirlik derecesi sınıflandırılarak, her bir depreme ait olası enlem boylam bilgileri, depremin şiddeti ve deprem ile ilgili olay açıklamaları (tsunami, faylanma, artçı depremler vs.) kaynaklarıyla beraber bir çizelge halinde verilmiştir.

Eyidoğan ve diğ. (1991) “Türkiye Büyük Depremleri Makrosismik Rehberi” adlı çalışmada Türkiye’de 1900-1988 yılları arasında meydana gelmiş olan hasar yapıcı depremlere ait makrosismik gözlemleri ve sismolojik incelemeleri derlemiştir. Yazarlar, ele aldıkları depremler hakkında lokasyon, büyüklük ve şiddet bilgileri ile beraber bu depremlerin bir kısmı için eşşiddet haritaları ve odak mekanizması çözümlerini sunmuştur. Rehberde, depremlerin neden olduğu hasar miktarı ve yayılımı hakkında da bilgi verilmiş, bir çok deprem için deprem ile ilgili fotoğraf kullanılmıştır.

Guidoboni ve diğ. (1994) M.Ö. 8 yy. ve M.S. 10 yy. arasında Akdeniz ve civarında meydana gelen depremleri bir çok tarihsel dökümana dayanarak, karşılaştırmalı olarak ele almıştır. Yazarlar ulaşabildikleri bilgiler doğrultusunda depremlerin lokasyonu ve şiddeti hakkında da yorumlarda bulunmuşlardır.

Ambraseys ve Jackson (2000) M.S.16yy ve 1999 tarihleri arasında Marmara bölgesinde meydana gelmiş yıkıcı depremleri büyüklük hesapları ile birlikte sunmuş, hangi depremin hangi segmentin faylanmasıyla sebep olduğuna dair yorumlarda bulunmuştur.

Guidoboni ve diğ. (2004) RELIEF (EVG1-CT-2002-00069) projesi kapsamında, M.S. 5.yy.- M.S. 15.yy arasında Saros ve Bolu bölgeleri boyunca Kuzey Anadolu Fayı'nın üzerinde gerçekleşmiş olan tarihsel depremleri elde bulunan kataloglarını da revize ederek bir rapor halinde sunmuşlardır. Yazarların kullanmış oldukları kaynaklar Çizelge 1.2'de sunulmuştur.

Çizelge 1.2 : Guidoboni ve diğ. (2004)'nin kullandığı kaynaklar ve kapsadıkları tarih dönemleri.

<i>referanslar</i>	<i>katalog için kullanılan dönemler</i>
Dück (1904)	M.S. 387-1894
Downey (1955)	M.S. 342-1454
Grumel (1958)	M.S. 320-1457
Wirth (1966)	1222-1456
Ergin ve diğ. (1967)	M.S. 11-1964
Evangelatou-Notara (1993)	1200-1491
Ambraseys ve Finkel (1991)	M.S. 32-1912
Guidoboni ve diğ. (1994)	M.Ö. 8.yy- M.S. 10.yy
Ambraseys ve Finkel (1995)	1500-1798
Papazachos ve Papazachou (1997)	M.Ö. 550-1995
Ambraseys (2002)	M.Ö. 32-1999

Ambraseys (2005) M.S. 4.yy-M.S. 20.yy arasında Marmara Bölgesi'ni etkilemiş olan depremleri Ambraseys ve Finkel (1991) tarafından hazırlanan katalogu revize ederek RELIEF (EVG1-CT-2002-00069) projesi çerçevesinde bir rapor halinde sunmuştur. Yazar, Prague formülünü kullanarak depremler için büyüklük (M_s) hesabı da yapmıştır.

Guidoboni ve Comastri (2005) M.S. 11.yy- M.S. 15.yy arasında Akdeniz civarında gerçekleşmiş olan depremleri tarihsel dökümanları karşılaştırarak bir katalog haline

getirmiştir. Yazarlar, Guidoboni ve diğ. (1994)'te izlenen yolu korumuş ve depremlerin lokasyonu ve şiddeti hakkında da yorumlarda bulunmuşlardır.

Tan ve diğ. (2008) “Türkiye Tarihsel Deprem Kataloğu” ve “Türkiye Odak Mekanizması Çözümleri” başlıkları altında sayısal iki veri seti oluşturmuş ve bu veri setlerine web üzerinden erişim imkanı da hazırlamıştır. “Türkiye Tarihsel Deprem Kataloğu” Çizelge 1.3’de verilen kaynaklar kullanılarak hazırlanmış ve M.Ö.2100-M.S.1963 yılları arasında meydana gelen depremlere katalogta yer verilmiş, ayrıca, ISC katalogu da kullanılarak 1963-2005 yılları arasında meydana gelen $M > 3$ depremler de sayısal veri tabanına eklenmiştir. Yazarlar, tarihsel deprem katalogunu hazırlarken bir depreme ait ortak referansın en fazla olduğu parametreleri kullanmıştır. “Türkiye Odak Mekanizması Çözümleri” katalogu ise 1938-2004 yılları arasında meydana gelmiş yıkıcı depremlerin ($M_w > 5,5$) odak mekanizması çözümlerini kapsamaktadır.

Çizelge 1.3 : Tan ve diğ.(2008) tarafından hazırlanan katalogda kullanılan kaynaklar.

Ergin ve diğ. (1967)
Soysal ve diğ. (1981)
Guidoboni ve diğ. (1994)
Papazachos ve diğ. (1997)
Shebalin ve Tatevossian (1997)
Ambraseys ve Jackson (1998)
Kondorskaya ve Ulomov (1999)
Ambraseys ve Jackson (2000)

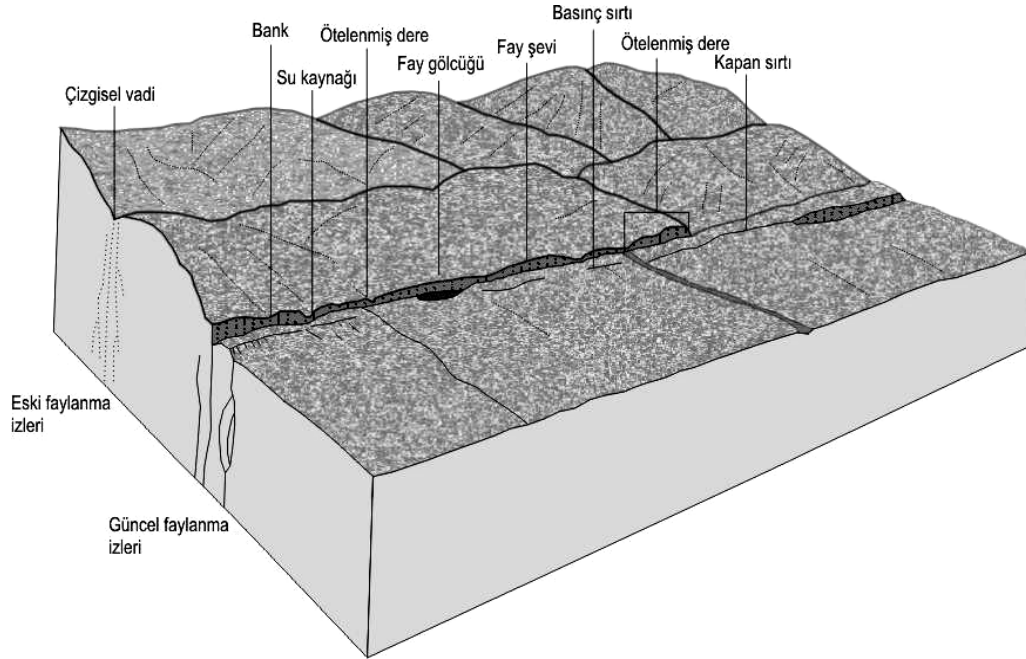
Özellikle son yıllarda hangi deprem ile hangi segmentin kırıldığı üzerine kantitatif veya kalitatif yorumlama ve model içeren yayınlar basılmıştır. Bölgeyi etkilemiş olan depremler ayırdedilirken bu tür yayınlardan da faydalanılmıştır (örn: Ambraseys ve Jackson, 2000; Barka ve diğ., 2002; Kondo ve diğ., 2005; Pavlides ve diğ., 2006; Pantosti ve diğ., 2008).

1900’lü yılların başında sismik dalgalar tanımlanmış, 1915-1960 yılları arasında sismoloji yerkabuğunu tanıma amaçlı kullanılmaya başlamıştır. 1960 yılından sonra nükleer patlamaların başlaması ile sismoloji bilimi ve kullanılan cihazlar gelişmiştir (Bullen ve Bolt, 1987). Bu nedenle sismoloji biliminde 1915 yılı öncesi depremler “tarihsel dönem”, 1915-1960 yılı arasındaki depremler “aletsel dönem öncesi”, 1960 yılından sonra meydana gelen depremler ise “aletsel depremler” olarak anılır. Bu tez

çalışmasında, “Doğu Marmara Bölgesinin Deprem Tarihçesi” başlıklı bölümde (Bölüm.2) çalışma bölgesini etkilemiş olan depremler bu başlıklar altında ele alınmış, aletsel dönem depremleri ise 1999 yılı ile sınırlandırılmıştır.

1.2.8 Morfoloji

İzmit-Düzce arasında 1999 İzmit depremi yüzey kırıkları üzerinde KAF’ın uzun dönem hareketlerine bağlı gelişmiş, doğrultu-atımlı fay morfolojisini (Sylvester, 1988) yansıtan yapılar araştırılmıştır (Şekil 1.12). Ötelenmiş dere, tepe, nehir teras kenarı, uzamış sırt, fay gölcüğü, fay sarplığı, çöküntü alanları gibi yapılar tüm yüzey kırığı boyunca yapılan arazi gözlemlerine ve haritalamalara ek olarak, sayısal yükseklik modelleri, uydu görüntüleri ve 1999 İzmit depremi sonrasında üretilmiş olan 1/10.000 ölçekli hava fotoğraflarından yararlanılarak incelenmiştir.



Şekil 1.12 : Doğrultu atımlı faylar üzerinde oluşan morfolojik yapıların şematik gösterimi (Sylvester, 1988’den değiştirilerek).

1.3 Çalışma Bölgesinin Yerleşim Tarihçesi

Çalışma bölgesinde yer alan iki büyük şehir; İzmit ve Adapazarı’nda yerleşik yaşam başlangıcı İzmit için M.Ö. 12.yy, Adapazarı için ise M.Ö. 13.yy olarak kabul edilir.

İzmit’de, ilk yerleşimlerle ilgili tespitler M.Ö. 8.yy’a ait olup, bu dönemde adı bilinen en eski yerleşme birimi Astakos’tur. Astakos M.Ö. 8.yy sonlarında

Megaralılar tarafından kurulmuş bir Yunan kolonisi'dir. Astakos M.Ö. 262'de Bitinya krallığı döneminde Nikomedia adını almıştır.

İlkçağdaki geleneksel anlayış ve kullanımda, Bithinya adı, Anadolunun, kuzey yanında Karadeniz'le; batı yanında, İstanbul ve Marmara Denizi ile; doğu yanında, Billaios (Filyos çayı) ile; güney yanında, Rhyndakos (Atranos, Orhaneli Çayı) ile sınırlanan bölümü ifade eder (Şekil 1.13) (Umar, 2004).

Strabon ise, Geographika'da Bithinya'yı (Bithynia), "doğuda, Paphlagonia'lılar ve Mariadyn'ler ve bir kısmı Epiketon'lar; kuzeyde Sangarios (Sakarya) Irmağı'nın döküldüğü yerlerden Byzantion (İstanbul) ve Khalkedon (Kadıköy) Denizi'nin ağzına kadar Pontus Denizi (Karadeniz) tarafından; batıda, Propontis (Marmara Denizi); güneye doğru, Mysia (Bursa civarı) ve Hellespontos Phrygia'sı (Çanakkale boğazında kıyısı olan Phrygia toprakları) da denen Phrygia Epiktetos'la sınırlanmıştır" şeklinde tanımlamıştır.



Şekil 1.13 : Türkiye'nin İlkçağdaki kültür bölgeleri ve Bithinya'nın bu bölgeler arasında yeri (Umar, 2004'ten değiştirilerek alınmıştır).

Bithinya MÖ 2.000 yılın ortalarında Trakya'dan göç eden Bittni adlı kavim tarafından işgal edilmiş ve MÖ 2. yüzyılda bir krallığa dönüşmüştür. M.Ö. 74 yılında Roma İmparatorluğu'nun egemenliği altına girmiştir. Şehir daha sonra Selçuk, Roma, Bizans ve Osmanlı hakimiyetlerinde kalmıştır.

Adapazarı ilinin bilinen tarihi ise Hititlerle başlamaktadır. İlk yerleşik kavmi Frigler olan bölgede daha sonra sırasıyla; Bithinler, Kimmerler, Lidyalılar, Persler, Romalılar, Bizanslılar ve Osmanlılar hakimiyet kurmuşlardır.

1.4 Türkiye'nin Neotektonik Çatısı ve Kuzey Anadolu Fay Zonu

Türkiye'deki neotektonik süreç, 11 milyon yıl önce Tetis okyanusunun Bitlis-Zagros suture boyunca kapanmasıyla başlamıştır. Arap levhasının Ölüdeniz fayı boyunca kuzeye hareketi ile Doğu Anadolu'da bölgenin yükselmesine sebep olan sıkışmalı bir tektonik rejim başlamıştır. 11 my önce başlayan bu rejimin sonucu olarak, günümüzden yaklaşık 5 my önce, Anadolu levhası, Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) boyunca batıya doğru harekete başlamış ve sıkışmalı tektonik rejim yerini kaçma tektoniğine bırakmıştır.

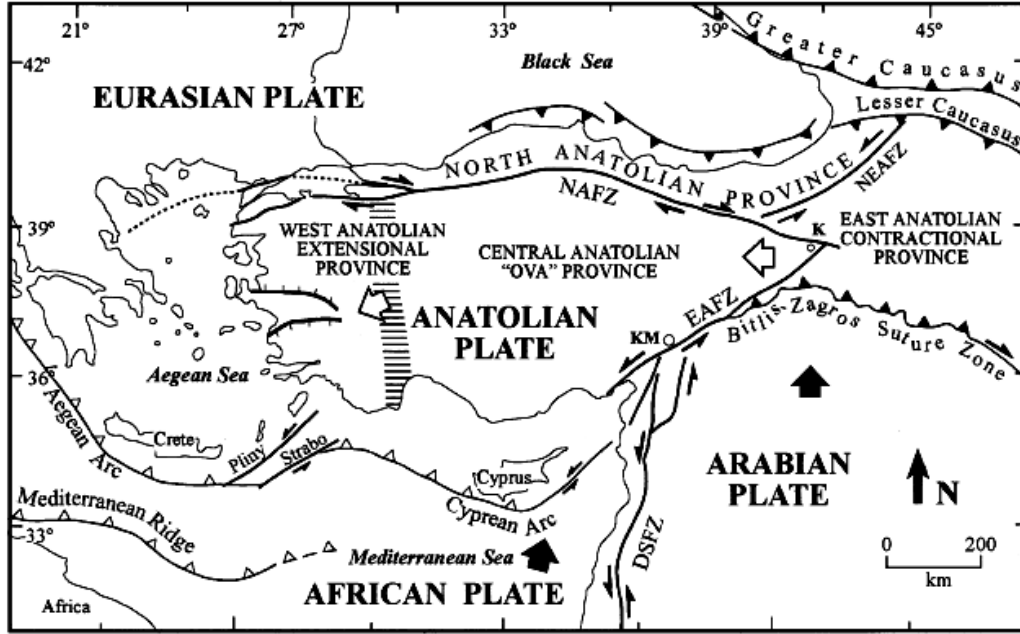
KAF üzerinde 1900'lü yıllarda meydana gelen depremler önceleri münferit doğa olayları olarak değerlendirilmiştir. KAF'ın tektonik anlamı ilk olarak Ketin (1948) tarafından ortaya konmuştur. Ketin (1948) Türkiye'nin kuzeyinde deprem üreten, sağ-yanal, çok büyük bir fay zone tanımlamıştır ve bu tanımlama, dünyadaki ilk büyük aktif sağ-yanal fay tanımlamasıdır. Ketin tanımladığı bu büyük fay boyunca Anadolu'nun Karadeniz'e göre batıya kaydığını, bu kaymanın sağlanabilmesi için güneyde sol-yanal atımlı büyük bir fay daha olması gerektiğini belirtmiştir. 1972 yılında, sol-yanal bu fay, Doğu Anadolu Fayı, Arpat ve Şaroğlu (1972) ve Seymen ve Aydın (1972) tarafından ortaya konmuştur. Bu, önemli buluşlardan sonra yapılan çalışmalarla Türkiye'nin neotektonik çatısı daha detaylandırılmıştır.

Bozkurt (2001) önceki çalışmaları da derleyerek Türkiye'nin neotektonik birliklerini Kuzey Anadolu bölgesi, Doğu Anadolu sıkışmalı bölgesi, Batı Anadolu açılma bölgesi ve Orta Anadolu Ova bölgesi olmak üzere 4 ayrı birlik olarak ayırtlamıştır (Şekil 1.14).

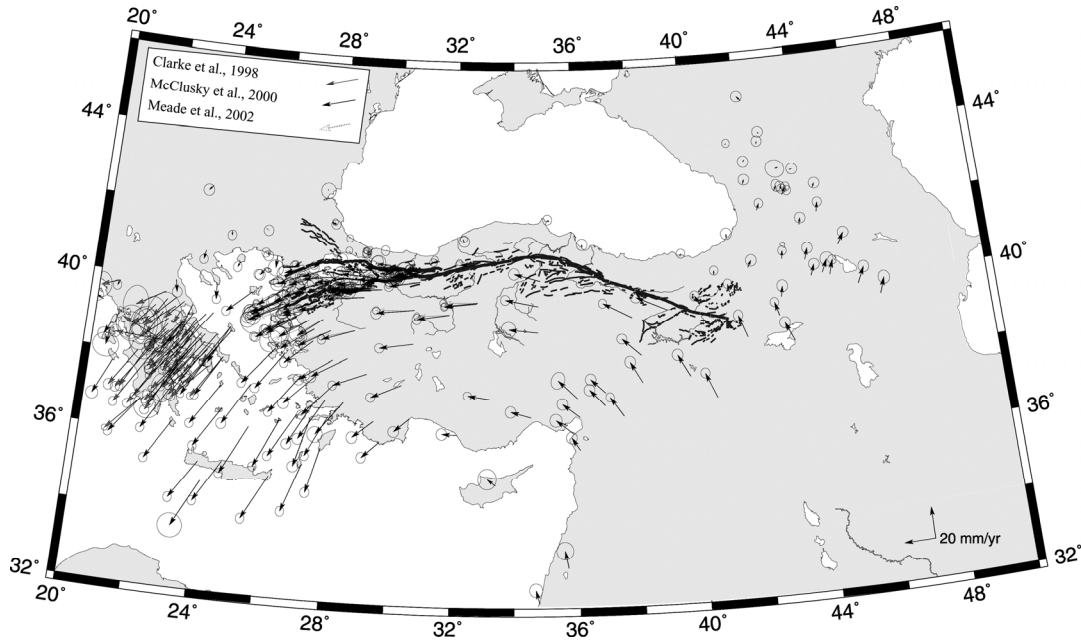
Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) Avrasya ve Anadolu levhaları arasındaki hareketin karşılandığı neotektonik bir yapıdır ve 1200 km. uzunluğunda, dünya üzerindeki en önemli doğrultu atımlı aktif olan fay zonlarından biridir. Avrasya ve Anadolu levhaları arasında sınır oluşturan KAFZ, Türkiye'nin Karadeniz kıyısına paralel bir yay şeklinde uzanır ve batıda Saros körfezinden doğuda Karlıova üçlü eklemi arasında Ege tafrojenini Doğu Anadolu yüksek platosuna bağlar (Şekil 1.14-16) (Şengör ve diğ., 2005).

KAF, Türkiye'nin kuzeyinde, Tetis kenarı yığılma karmaşıkları içerisinde kalan eski bir zayıflık zoneunu takip eder. Yaşı geç Paleozoik'ten erken Tersiyer'e kadar uzanan bu yığılma karmaşığı içerisinde kalan deformasyon zone Şengör ve diğ. (2005)

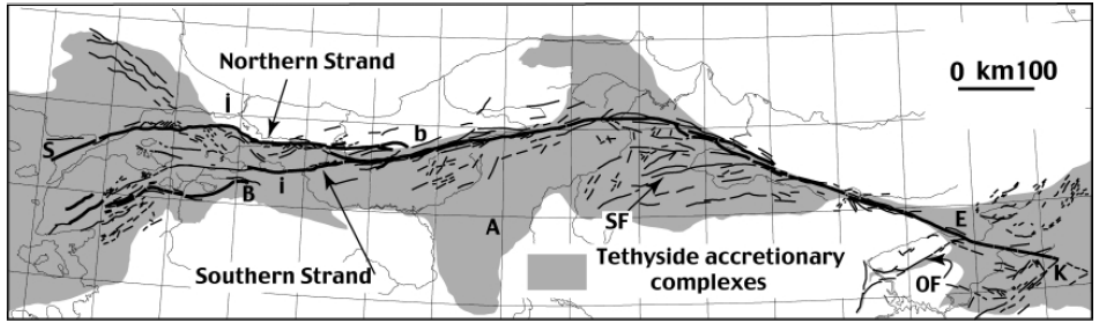
tarafından Kuzey Anadolu Kerojeni (KAK) olarak adlanmıştır (Şekil 1.16). Yazarlar, Tetis kenarı yığılma karmaşığı içerisinde yer alan bu makaslama zonunu Kuzey Anadolu Makaslama Zonu (KAMZ) olarak adlandırmış, KAF ve KAMZ'nun KAK'nin elemanları olarak tanımlamışlardır.



Şekil 1.14: Türkiye ve civarının neotektonik birlikleri ve neotektonik yapılarının sadeleştirilmiş haritası (Bozkurt, 2001'den alınmıştır).



Şekil 1.15: Türkiye ve civarında GPS ölçümleri ile belirlenen güncel yatay hareketler (Clarke ve diğ., 1998, McClusky ve diğ., 2000, Meade ve diğ., 2002), (Şengör vd diğ., 2005'ten alınmıştır).



Şekil 1.16 : Tetis kenarı yığılma karmaşıkları, Kuzey Anadolu kerojeni (KAK) ve içerisinde haritalanmış olan faylar (Şengör ve diğ., 2005).

KAMZ doğuda Karlıova üçlü ekleminden batıya, Erzincan civarına doğru daralarak, yaklaşık 10 km.lik dar bir zon halinde ilerler ve Tokat civarında 100 km. varan bir genişliktedir. KAMZ batıya doğru genişleyerek devam eder ve Marmara bölgesi en geniş olduğu yerdir (Şengör ve diğ., 2005).

KAF, doğu kesiminde saf sağ-yanal karakterindedir. Orta kesimlerde yanallı harekete eşlik eden sıkışmalı bir yapı gösterir ve batıya gittikçe gerilmeli bir özellik kazanır.

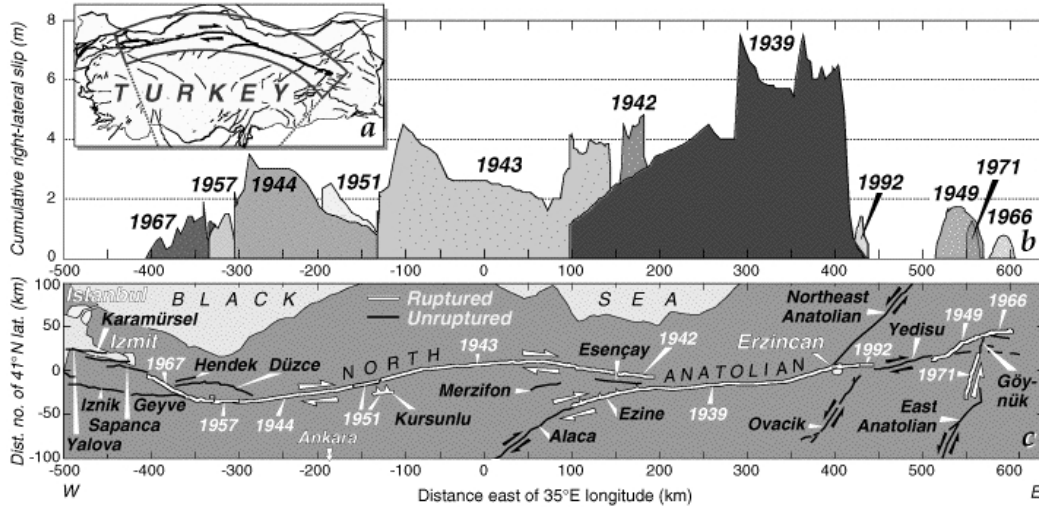
KAF doğuda Karlıova üçlü ekleminden batıya, Bolu civarına kadar tek bir zon halinde devam eder. Doğuda, Erzincan civarında Ovacık fayı, orta kesimde Tokat civarında Sungurlu fayı KAF'ın güneye doğru büküm yapmış kollarıdır. Doğru Marmara bölgesinde KAF Bolu'dan sonra iki kol halinde devam eder. Kuzey kol, Bolu'dan İzmit körfezine doğru uzanıp, buradan Marmara Denizi'nin kuzey kesiminden Saros körfezine uzanır. Güney kol ise Marmara denizi güney kıyılarına uzanıp Biga yarımadasında güneye bükülerek Ege denizine devam eder. Güncel GPS ölçümleri kuzey kol üzerindeki kayma hızının güney kola göre daha yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 1.15).

KAF tüm uzunluğu boyunca bütünüyle sismik olarak aktif bir zondur. 20 yy.'da bu zon üzerinde bir dizi yıkıcı deprem meydana gelmiştir. 1939 Erzincan depremi ile başlayan bu deprem serisi batıya doğru göç etmiş (Şekil 1.17) (Egeran ve Lahn, 1944; Ketin ve Rösli, 1953; Ambraseys 1970; Barka, 1992; Barka 1996; Stein ve diğ., 1997) ve bu göçün son ürünleri olarak 1999 İzmit ve Düzce depremleri meydana gelmiştir. Bu deprem göçü Stein ve diğ. (1997) tarafından Coulomb modellenmesi ile açıklanmış ve 1999 yılında gerçekleşen depremlerin yeri tahmin edilmiştir.

KAF'ın izlediği güzergaha bağlı olarak üzerinde üzerinde geç Miyosen yaşlarından Pleistosen yaşlarına kadar olan havzalar oluşmuştur. Bu havzalar oluşumları açısından çek-ayır, fay kaması, ve negatif çiçek yapısında olan havzalardır ve KAF'ın gelişimi ve yaşı hakkında önemli bilgiler sunarlar (Bozkurt, 2001; Şengör ve diğ., 2005 ve içindeki referanslar).

Şengör ve diğ. (2005) KAMZ boyunca inceledikleri morfolojik, jeolojik ve paleomanyetik özelliklere dayanarak deformasyonun doğudan batıya doğru genişleyerek ve gençleşerek devam ettiği görüşündedir.

Şengör ve diğ. (2005) KAF'ın 11 my önce Erzincan tarafında gelişmeye başladığını ve KAMZ'nun batıya doğru genişlediği teorisinin doğru kabul edilmesi halinde, ilk olarak yılda 11 cm.lik bir kayma hızıyla batıya ilerlemiş olması gerektiği görüşündedir. Yazarlar, KAMZ'nun gelişmeye başlama yaşını Orta-Geç Miyosen olarak belirlemişlerdir. KAF'ın Marmara denizine ulaşmasının günümüzden sadece 200 bin sene önce olduğunu, fakat bölgedeki makaslama deformasyonunun Geç Miyosen'de gelişmeye başladığı görüşündedirler.



Şekil 1.17 : 20.yy'da KAF üzerinde meydana gelen yıkıcı depremlerin doğudan batıya göçü (Stein ve diğ., 1997'den alınmıştır).

2. DOĞU MARMARA BÖLGESİNİN DEPREM TARİHÇESİ

Çalışma bölgesinde yer alan iki büyük şehir; İzmit ve Adapazarı'nda yerleşik yaşam başlangıcı İzmit için M.Ö. 12.yy, Adapazarı için ise M.Ö. 13.yy olarak kabul edilir. Bölgede 3000 yıldan fazla yerleşim olması, gerçekleşmiş tarihsel depremler hakkında bilgi toplanması açısından avantaj olmuştur.

Orta ve Doğu Marmara'da yüzey faylanması meydana getirmiş ve getirmesi olası depremlerin ayırtedilebilmesi amacıyla bölgeyi etkilemiş tarihsel dönem, aletsel dönem öncesi ve aletsel dönem depremleri incelenmiştir (Başvurulan kaynaklar ve deprem dönemi sınıflama başlıkları hakkında açıklama için Bölüm 1.2.7'ye bakınız).

İncelenen depremler içerisinde bölgedeki hafif etki yapan, hasar oluşturmayan veya tek bir kaynakta yetersiz bilgi ile yer almış olan depremler aşağıda ele alınmamıştır. Mümkün olduğunca, birden fazla kaynakta yer alan, büyüklüğü $M > 5$ olduğu düşünülen ve yüzey kırığı yaratabilecek kadar büyük etkileri olan depremler ele alınmıştır.

Her bir depremin tarihi başlık olarak kullanılmış ve bu başlık altında derlenen bilgiler sunulmuştur. Kullanılan yerleşim ve yapı adları tarihsel dönemdeki adlarıyla anılmış, parantez içerisinde bugünkü yerleşim veya yapı adı belirtilmiştir.

2.1 Tarihsel Dönem Depremleri

M.S. 69 ve 1915 yılları arasında Marmara bölgesini etkilemiş olan tarihsel depremler hakkında derlenen bilgiler, deprem tarihi başlık olarak kullanılarak aşağıda sunulmuştur.

M.S. 69 depremi:

Nikomedia'da (İzmit) şehri yerle bir eden çok yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1995). Guidoboni ve diğ. (1994)'de tarihçi Malalas ve Paschale'ın, Bithinya'nın başkenti Nikomedia'nın Tanrı'nın gazabıyla acı çektiği ve imparatorun harap olan şehri tekrar inşa ettiğini belirttiği yazılıdır.

M.S. 120/122/128 depremi:

M.S. 120/122 yılında meydana gelen bir deprem ile yıkılan Nikomedia, İmparator Hadrianus'un yardımları ile onarılır. Öztüre (1969) Sapanca Gölü ile İzmit körfezi arasında deprem nedeni ile kanal biçiminde çöküntüler meydana geldiğini, yer yer bataklıklar oluştuğunu, İmparator Hadrianus'un bu çöküntülerde biriken suları boşaltabilmek için kanallar açtığını belirtmiştir. Nikomedia Başpiskopos'u şehrin harap olduğunu, Nicea'da da (İznik) yıkımlar meydana geldiğini ve İmparator Hadrianus'un hazine kesesinden onarım işleri için destekte bulunduğunu belirtmiştir (Guidoboni ve diğ., 1994). Bu dönem sikkelerinin arka yüzünde şehir tanrıçası, İmparator Hadrianus'un önünde diz çökmüş olarak görülür (Şekil 2.1). Hatta sikkelerden birinin üzerinde "Restitutori Nicemediae" yani "Nikomedia'yı Restore/İnşa eden" lejandı görülür (Öztüre, 1969; Ambraseys ve Finkel, 1991; Guidoboni ve diğ., 1994; Çalık Ross, 2007). Bu deprem tarihçiler tarafından M.S.120, M.S.122 ve M.S.128 gibi farklı tarihlerde anılır (Guidoboni ve diğ., 1994). Öztüre (1969) deprem için MS.123 tarihini kullanmıştır.



Şekil 2.1 : İmparator Hadrianus'un depremden büyük hasar gören şehre (Nikomedia) yardım etmesinden sonra İmparator'a minnet ifadesi olarak basılan sikke.

Bu depremde yıkılmış olduğu bilinen yapılardan biri de, bir kısmı günümüze ulaşmış olan Ogüst tapınağıdır (Günümüzde "Ogüst tapınağı kalıntıları" olarak anılmaktadır ve İzmit ili Yenidoğan mahallesinde'dir).

Ambraseys (2005) Nikomedia'da olan depremin tarihini 120 olarak kabul eder ve 123 yılında meydana gelen depremin Cyzikus (Erdek)'da meydana gelen bir deprem olduğunu belirtir.

3 Mayıs 181 depremi:

181 yılı depremine tarihçi Malalas'ın yapıtlarında rastlanır. M.S. 3 Mayıs 181'de meydana gelen deprem, Nikomedia'da hissedildiği kadar Sangarius (Sakarya) nehri

ve Moudoupolis (Mudurnu) vadisinde de hissedilmiştir (Guidoboni ve diğ., 1994). Depremden sonra Remus ve Romulus'u emziren dişi kurt tasvirlerinin yer aldığı sikkeler basılır. Roma şehrinin kuruluşunu ifade eden ve bütün Roma kolonilerinde kullanılan bu tasvir, Bosch (1937) tarafından, şehrin yeniden kurulacak kadar büyük bir yıkıma maruz kalmış olduğu şeklinde yorumlanmıştır (Çalık Ross, 2007).

M.S. 268-270 depremi:

Eylül 269 ve Ağustos 270 yılları arasında Nikomedia ve Dacibyza (Gebze)'da peşpeşe depremler meydana gelir (Erel ve diğ., 2007). Guidoboni ve diğ. (1994), bu deprem hakkındaki tek kaynağı Malalas olarak gösterir ve Malalas'a göre, Nikomedia'nın karşılaştığı bu dördüncü büyük deprem, Dacibyza'ya (Gebze) kadar etkili olmuş ve Claudius'un hükümdarlığı (M.S. 268-270) dönemine denk gelmiştir.

22-28 Ağustos 358 depremi:

Bu depremin tarihi farklı kaynaklarda 22-28 Ağustos 358 tarihleri arasında değişmektedir (Guidoboni ve diğ., 1994). Guidoboni ve diğ. (1994) ve Öztüre (1969) Ammianus Marcellinus deprem hakkında yazdıklarının çevirisini sunmuştur. Bu çeviride Ammianus Marcellinus, tarihini 24 Ağustos 358 olarak verdiği depremin etkileri hakkında detaylı bilgi verir. Bu bilgilere göre; Nikomedia ve banliyöleri depremden dolayı çok ağır hasar görmüş, çok fazla can kaybı meydana gelmiş, artçı sarsıntılar bir süre devam etmiş, bir çok insan binaların yıkıntısı altında kalmış, 5 gün boyunca yangınlar devam etmiş, toprak kaymaları meydana gelmiş ve kıyıya güçlü dalgalar vurmuştur. Öztüre (1969)'da yer alan çeviride yangınların 50 gün sürdüğü yazılıdır.

Ambraseys (2005), bu deprem öncesinde bölgede şiddetli yağışlar meydana geldiğini ve güçlü sarsıntıyla beraber yağış dolayısıyla kaymaya hazır hale gelen yamaçların tetiklenip hareket etmesiyle denize dökülen malzemenin büyük dalgalara sebep olmuş olabileceğini düşünmüştür. Yazar, bu dalgaların sismik bir tsunami olarak ele alınmasının doğru olmayacağı, ama sismik tsunami gerçekleşmediğine dair herhangi bir kanıt da olmadığını belirtmiştir.

Nisibis (Nusaybin, Mardin) Eframı'nın hatıralarında da bu deprem nedeniyle şehrin yerle bir olduğu bilgileri yer almaktadır (Guidoboni ve diğ., 1994).

Libanius'un "Nikomedia'ya ağıt" adlı mersiyesinin bu depremten dolayı yazıldığı kabul edilir (Öztüre, 1969; Guidoboni ve diğ., 1994).

Guidoboni ve diğ. (1994) Hydatius'un bu deprem dolayısıyla Nikomedia'dan başka 150 şehirde de hasar oluştuğundan bahsettiğini belirtmiştir.

Rahip Theophanes, tarihçi Paschale, Philostorgius, Socrates, Sozomen, Theodoret ve Konstantinopolitan Konsulyası da bu depremin neden olduğu ağır yıkımdan bahsetmiştir (Guidoboni ve diğ., 1994).

362 yılında şehre gelen Roma İmparatoru Iulianus 358 yılında büyük bir deprem ile yıkılmış Nikomedia'nın onarımı için çok önemli bir bağışta bulunmuştur (Baydur, 1999)

26 Ocak 447 (ve 6 Kasım 447) depremi:

26 Ocak 447'de İstanbul'da çok fazla hasar oluşturan, aynı zamanda Bithinya, Hellespont (Çanakkale) ve Phrighya'da da hasara sebep olan büyük bir deprem farklı tarihçiler tarafından kayıt edilmiştir (Guidoboni ve diğ., 1994). Yazarlar, Evagrius adlı tarihçinin bu deprem hakkında yazdıklarının çevirisini sunmaktadır. Bu yazılanlarda, depremin İstanbul'da yarattığı ağır hasardan bahsedilmesinin yanı sıra, bazı kaynaklarda suyun kesildiği, su bulunmayan bazı yerlerde su çıkışı olduğu, denizde büyük dalgaların meydana geldiği ve ölmüş balıkların kıyıya vurduğu yer almaktadır. Aynı şekilde Nikomedia'da da ağır hasardan ve karadaki çöküntüler nedeniyle denizin şehre ilerlediğinden bahsedilmektedir.

Ambraseys (2005) 6 Kasım 447'de yaşanan deniz basması ve ölü balıkların kıyıya vurmasını, bu tarihteki deprem nedeniyle olan bir tsunami ile değil, şiddetli yağışın neden olduğu sel ve taşkınlar ile ilişkilendirmiştir.

24/25/26 Eylül 477/480 depremi:

Guidoboni ve diğ. (1994)'de yer alan tarihi dökümanların çevirilerine göre, İstanbul'da daha fazla olmak üzere İzmit'de de yıkımlar meydana getiren bu deprem Lapseki, Bozcaada ve Çanakkale civarında da hissedilmiştir.

Ambraseys (2005) bu deprem hakkında bir çok tarihçinin bilgi verdiğini, ama sadece bir tanesinin denizin karaya ilerlemesinden ve dalgalardan bahsettiğini belirtmiştir.

Yazar bölge belirtilmemiş olan bu olayın büyük ihtimalle İzmit Körfezi'nde gerçekleştiği şeklinde bir yorum yapmıştır.

Ambraseys (2005), kataloglarda yer alan bu depremin, aslında 6 Kasım 447 tarihinde meydana gelen deprem ile karıştırıldığını ve farklı bir deprem gibi eklendiğini belirtmiştir.

16 Ağustos 542 depremi:

Guidoboni ve diğ. (1994)'de yer alan bilgilere göre; Rahip Theophanes, 16 Ağustos 542 tarihinde İstanbul'da büyük bir deprem olduğunu, Yedikule civarında (Golden Gate) kiliselerin, evlerin ve şehir duvarlarının yıkıldığını, bugünkü Beyazıt meydanında bulunan heykellerden birinin elindeki mızrağın düştüğünü, Xerolophus (İstanbul'un yedinci tepesi, Cerrahpaşa)'ta bulunan bir diğer heykelin de sağ kolunun kırılarak yere düştüğünü, bir çok can kaybı yaşandığını belirtmiştir.

Guidoboni ve diğ. (1994), Teophanes'in bahsettiği heykellerdeki hasarın, dönemin yaşayan tarihçisi Malalas tarafından 15 Ağustos 554 yılında meydana gelen depremin neden olduğu hasarlar arasında anlatılmış olmasından dolayı Teophanes'in bu kaydına şüphe ile bakmıştır.

6 Eylül 543 depremi:

Guidoboni ve diğ. (1994); dönemin bir görgü tanığının (Efes Piskoposu) Cyzicus'un (Erdek) yarısının yerle bir olduğundan, diğer yarısının ağır hasar gördüğünden ve şehir duvarlarının da yıkıldığından bahsettiğini belirtmiştir. Guidoboni ve diğ. (1994) depremin neden olduğu bir tsunaminin de kayıt edildiğini belirtmiş ve bu tsunamiyi kataloguna şüpheli olarak eklemiştir. Ambraseys (2005) ise bahsedilen tsunami olayının bir sene sonra, 544 yılında Karadeniz kıyılarında meydana gelmiş olan bir taşkın ile karıştırıldığını, bu deprem ile ilgili Marmara'da herhangi bir tsunaminin meydana gelmediğini belirtmiştir.

Şubat 548 depremi:

Malalas, Procopius ve Theophanes 547-548 yılları kış aylarında Bizans'ta halkı korkutan bir çok deprem olduğundan bahseder. 548 yılı Şubat ayında ise İstanbul'u da korkutacak şekilde sarsan ve birçok yerden hissedilen bir deprem olmuştur (Guidoboni ve diğ., 1994).

15 Ağustos 554 depremi:

15 Ağustos 554 tarihinde gece vakti, İstanbul'da ağır hasar yapan, Ayosofya'nın kubbesinin yıkılmasının ve bugünkü Beyazıt meydanında yer alan heykellerin devrilmesinin yanısıra özellikle Yedikule kesiminde evlerin, hamamların ve kiliselerin yıkımına sebep olan bir deprem kayıtlara geçmiştir (Guidoboni, 1994; Sakin, 2002). Guidoboni ve diğ. (1994) Malalas'ın, 40 gün süren sarsıntılardan Nicea ve Nikomedia şehirlerinin de etkilendiğinden, Nikomedia'da göçük altından insanlar çıkarıldığından bahsettiğini belirtmiştir. Guidoboni ve diğ. (1994) bu depremi Nikomedia'da konumlandırır. Öztüre (1969) 554 ve 557 yıllarında meydana gelen depremlerden sonra Nikomedia'nın harap olduğunu, zarar gören yapılardan Nikomedia sarayı'nın restore edildiğini, yıkılan Sakarya köprüsünün ve Teodora hamamının (bugünkü Yukarıpazar hamamı) yeni baştan yapıldığını belirtmiştir.

14/23 Aralık 557 depremi:

Guidoboni ve diğ. (1994), birçok tarihi kaynakta, bu tarihte İstanbul, Trakya bölgesi, İzmit ve İzniç'i etkileyen yıkıcı bir depremden bahsedildiğini belirtir.

Guidoboni ve diğ. (1994)'de yer alan çevirilerden Agathias'ın anlattıklarına göre; sarsıntı büyük bir uğultu ve gürültü ile meydana gelmiş, insanlar evlerinden çıkmaya fırsat bulamamış, özellikle o tarihteki İstanbul limanının bulunduğu Rhegium bölgesinde çok fazla yıkım olmuş, çok fazla can kaybı olmuştur. Agathias'ın yazısı, evlerin çatılarının yerinden havalanıp, gökyüzü göründükten sonra çatıların yerine düşmesi gibi abartılı anlatımlar da içerir.

Guidoboni ve diğ. (1994)'de sunulan Malalas'a ait çeviride hem Constantine hem Theodosius tarafından inşa edilmiş olan şehir duvarlarının yıkıldığı, özellikle Hebdomon (bugünkü Bakırköy) tarafındaki kilise ve evlerin hasar gördüğü, bir kolon ve üzerindeki heykelin beraberce devrildiği, göçük altında insanların kurtarıldığı, sarsıntıların 10 gün devam ettiği ve İmparator Justinian'ın 30 gün boyunca yas tutup tacını giymediği bilgileri yer almaktadır.

Depremi 14 Aralık olarak tarihlendiren Rahip Theophanes'ın anlatımının çevirisinde, hem Constantine hem Theodosius tarafından inşa edilmiş olan şehir duvarlarının da yıkıldığı, birçok evin ve kilisenin yıkıldığı, özellikle Rhegium (Yeşilköy, İstanbul civarı) bölgesinde neredeyse yıkılmayan bina kalmadığı, Jucundianae sarayının (bugünkü Bakırköy'de yer almış olan bir saray) önünde bulunan kolonun devrildiği,

göçük altında kalan insanların 2-3 gün sonra kurtarılabildiği ve yakın şehirlerde de çok fazla hasar olduğu belirtilmiştir.

Suriye’de meydana gelen bir depremten sonra İstanbul’a doğru yola çıkmış olan Genç Aziz Symeon (*St.Symeon the Stylite the Younger*-Doğu Ortodoks kilisesi azizlerinden) İstanbul’da büyük bir deprem nedeniyle büyük hasar ve can kaybı olduğunu, Nikomedia’nın da harap olduğunu, Nicea’nın bir kısmının yıkıldığını ve İllirya’nın (bugünkü Dalmaçya kıyılarında yer almış olan eyalet) şehirlerinde de hasar meydana geldiğini belirtmiştir (Guidoboni ve diğ. 1994).

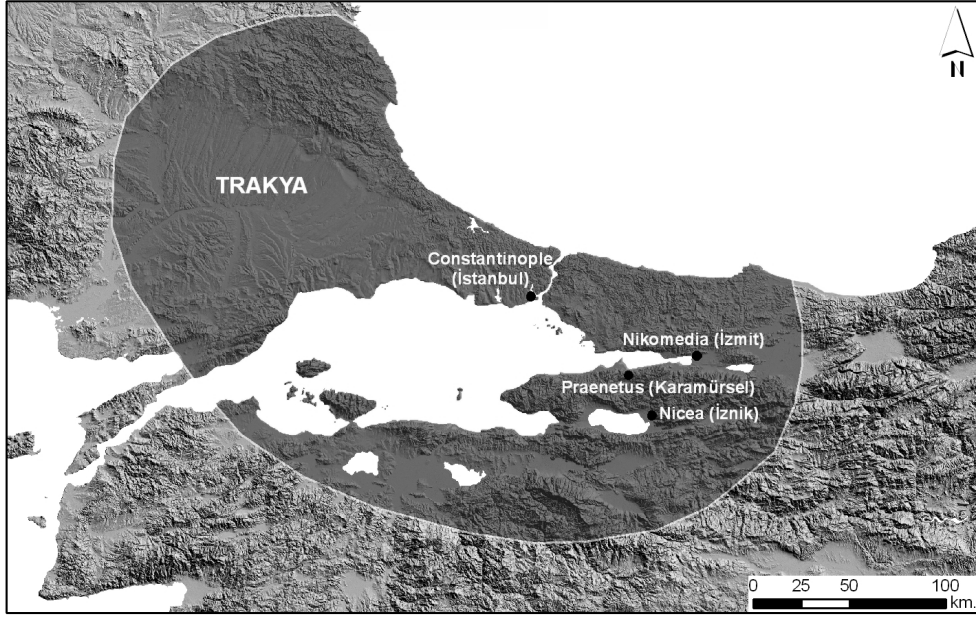
Guidoboni ve diğ. (1994)’de deprem hakkında verilen diğer iki çeviride de (Bizans tarihçisi Cedrenus ve Efes Piskoposu) yukarıdaki bilgiler verilmiştir.

Guidoboni ve diğ. (1994) Nikomedia ve Nicea’daki yıkımları göz önünde bulundurarak bu depremin 554 yılında olan deprem olabileceğini düşünmüş ama kaynaklarda bahsedilen İllirya şehirlerindeki hasarları bu şekilde açıklayamadığını belirtmiştir. Yazarlar, Van den Ven (1970)’in, Agathias ve Malalas’ın dökümanlarında yer alan bilgiler doğrultusunda bu depremin 557 olarak tarihlendirilmesinin mantıklı olacağını düşündüğünü belirtmişler ve kataloglarına bu depremi 554 depreminden ayrı olarak eklemişlerdir.

Depremin tarihi Capelle (1924) tarafından 559, Downey (1955) tarafından 14 Aralık 557, McCail (1967) tarafından ise 551 olarak ele alınmış ve McCail (1967) depremin lokasyonunu Malia Körfezi (Yunanistan güneyi) olarak vermiştir (Guidoboni ve diğ., 1994).

26 Ekim 740 depremi:

Theophanes 29 Ekim 740’da meydana gelen depremin İstanbul, Trakya ve Bithinya’da ciddi hasar oluşturduğunu, sarsıntıların bir yıl boyunca devam ettiğini ve halkın bu uzun süre devam eden sarsıntılar nedeniyle şehri terk ederek şehir etrafındaki köylere taşındığını belirtmiştir (Guidoboni ve diğ., 1994). Depremden etkilendiği bilinen yerleşimler İstanbul, İznik, İzmit, Yalova, ve Trakya’dır. Tarihçilerin verdiği bilgilere göre kiliseler, manastırlar, evler yıkılmış, bu yıkımlara bağlı can kayıpları yaşanmış, İstanbul’da surlarda bulunan heykeller devrilmiş, Aya İrini kilisesinin büyük bir kesimi hasar görmüş, İzmit ve Karamürsel oldukça ağır hasar görmüş, hatta İznik’te bir kilise hariç tüm yapılar yıkılmıştır (Şekil 2.2) (Guidoboni ve diğ., 1994, Sakin, 2002).



Şekil 2.2 : 26 Ekim 740 depremi nedeniyle hasar gören yerleşim birimleri (Guidoboni ve diğ. 1994’den değiştirilerek).

Ambraseys (2005) Marmara Denizi’nde adı belli olmayan bazı kesimlerde denizin kıyılardan geri çekildiğini belirtmiştir.

28 Mayıs 862 depremi:

Guidoboni ve diğ. (1994)’de çevirisi bulunan Theophanes Continuatus’un kayıtlarına göre 28 Mayıs 862’de meydana gelen bir deprem ve devam eden artçı sarsıntılar ile İstanbul şehrinde hasar oluşmuştur. Bu depremler sonucu kiliseler, evler ve heykeller yıkılmıştır. Bunlardan bilinenler: “*Victory of Golden Gate*” heykeli (bugünkü Yedikule’de yer almış olan Zafer heykeli) ve Deuteron Sarayı’nda bulunan kilisedeki heykellerdir. Bu bilgilere John Scylitzes şehir duvarlarında da yıkımlar olduğunu eklemiştir (Guidoboni ve diğ., 1994). Guidoboni ve diğ. (1994)’de yer alan bilgilere göre, Pseudo-Symeon Magister, Cedrenus ve Genesius da Deuteron Sarayı’nda bulunan St. Anne kilisesindeki heykellerin yıkılmasından bahsetmiştir.

Deuteron Sarayı’nın yeri kesin belli olmayıp bugünkü Sulukule’de olması yüksek bir olasılıktır (Url-2).

9 Ocak 869 depremi:

Downey (1955) depremin tarihini Symeon Magister’a dayanarak 9 Ocak 869 olarak kataloğuna eklemiş, Aya Sofya’nın hasar gördüğünü, Kutsal Havariler (Holy Apostles) Kilisesi’nin (bugünkü Fatih Camii’nin bulunduğu lokasyonda bulunmuş

olan kilise) yüksek olasılıkla bu tarihlerdeki bir deprem ile hasar gördüğünü belirtmiştir.

Pseudo-Symeon Magister 40 gün 40 gece süren sarsıntılar sonucu, aralarında St.Mary (bugünkü adıyla Sulu Manastır, Samatya'dadır) kilisesinin de bulunduğu bir çok kilisenin yıkıldığını kayıt etmiştir (Guidoboni ve diğ., 1994).

Leo Grammaticus depremin sebep olduğu hasarlara bugünkü Beyazıt meydanında yer almış olan bir heykelin (*globe of the Zodiac*) yıkılmasını da eklemiştir (Guidoboni ve diğ., 1994).

Guidoboni ve diğ. (1944), bu depremin "*the Scriptorum Originum Constantinopolitanarum*" da bahsedilen ve şehir duvarlarının yıkımına yol açan deprem ile aynı deprem olduğunu düşünmektedir.

M.S. 926/927 depremi:

Guidoboni ve diğ. (1994), Theophanes Continuatus ve Joannes Scylitzes adlı tarihçilerin 926/927 yılında çok yıkıcı ve güçlü bir depremten dolayı Trakya'daki yerleşimlerin çok büyük hasar görüp yerle bir olduğunu ve yerde yarıkların oluştuğundan bahsettiklerini belirtir.

Eylül 967 depremi:

Eylül 967 Claudiopolis (Bolu) şehrini yerle bir edecek kadar kuvvetli bir sarsıntı yaşanmıştır (Ambraseys ve Zapotek, 1969; Guidoboni ve diğ., 1994). Guidoboni ve diğ. (1994)'de depremin hissedildiği yerleşimler Bolu, Gerede, İstanbul ve Anadolu olarak belirtilmiştir. İstanbul'da hissedilen, fakat hasar oluşturmayan deprem, Guidoboni ve diğ. (1994) tarafından, tarihçilerin anlattıklarına dayanarak Eylül ayı sonunda bir günde meydana geldiğini kabul edilmiştir. Ambraseys ve Zapotek (1969) ise bir tarihçinin belirttiği tarih olan 2 Eylül tarihini kullanmıştır.

26 Ekim 989 depremi:

Leo Diaconus 26 Ekim 989'da İstanbul'da büyük bir deprem olduğunu, insanların göçük altında kaldığını, Bizans kulelerinin evlerin üstüne yıkılarak insanların ölümüne sebep olduğunu ve Aya Sofya'nın batı kubbesinin yıkıldığını belirtmiştir (Guidoboni ve diğ., 1994).

Joannes Scylitzes, Ekim 989'da çok güçlü bir sarsıntının, Aya Sofya'nın kubbesinin çökmesine, bir çok evin ve kilisenin yıkılmasına sebep olduğunu belirtmiştir (Guidoboni ve diğ., 1994).

Downey (1955) sarsıntıların hissedildiği bölgeleri, belirttiği tarihsel dökümanlara dayanarak; İstanbul, İzmit, Trakya, Bithinya, Lakonya ve hatta İtalya'dan bile hissedildiği bilgilerini katalogunda kullanmıştır.

Arap tarihçisi Al-Antaki'nin kayıtlarına göre Nikomedia'da (İzmit) da bir çok ev yıkılmıştır (Guidoboni ve diğ., 1994).

Ocak 1010 depremi:

1010 yılı Ocak ayında İstanbul'da güçlü bir şekilde hissedilen bir deprem olmuş ve bunu takiben bir kaç ay hissedilen artçı sarsıntılardan 9 Mart'da meydana gelen güçlü bir sarsıntı ile şehirde hasar oluşmuştur (Guidoboni ve Comastri, 2005). 9 Mart 1010'da meydana gelen bu deprem aşağıda ayrı bir başlık altında anlatılmıştır.

9 Mart 1010 depremi:

Guidoboni ve Comastri (2005)'de yer alan, Bizans tarihçisi Scylitzes'in deprem hakkında yazdıklarının çevirisinde, Ocak 1010 yılındaki korkutucu sarsıntıdan sonra artçı sarsıntıların devam ettiğini ve 9 Mart tarihinde meydana gelen bir depremin hem başkentte (İstanbul) hem de taşrada hissedildiği, İstanbul'da bulunan *Forty Martyrs* (Kırk Şehitler?) kilisesinin ve *All Saints* kilisesinin kubbelerinin meydana gelen bu deprem nedeniyle yıkıldığını ve imparator II. Basil'in (976-1025) bunları ivedilikle tamir ettirdiği bilgisi vardır. Janin (1969) ve Muller-Wiener (1977) *All Saints Kilisesi*'nin, Kutsal Havariler Kilisesi'ne (bugünkü Fatih Camii'nin bulunduğu lokasyonda bulunmuş olan kilise) yakın bir yerde olduğunu belirtmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

Scylitzes'in vermiş olduğu bilgiler Cedrenus ve Glycas tarafından da verilmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

Galanopoulos (1955) depremin lokasyonunu Gelibolu olarak kullanmıştır (Guidoboni ve Comastri, 2005). Ambraseys and Finkel (1991) Cedrenus'a dayanarak depremin tarihini 1011 olarak kullanmıştır (Guidoboni ve Comastri, 2005).

Bu deprem için diğer bir referans, 11. yüzyıl Bizans tarihçilerinden Attaliates'in 1063-1065 deprem serisini anlatımında, dönemin yaşlı insanların bu deprem

serisinin bir önceki “büyük deprem”e benzediğini, bir kısmının bu depremin daha hafif olduğunu söylerken bir kısmının ise “büyük deprem”in daha hafif olduğunu söylediklerini belirtmesidir (Guidoboni ve Comastri, 2005). Guidoboni ve Comastri (2005) 1063-1065 depremleri esnasında yaşlı insanların bahsettiği “büyük deprem” olarak anlatılan depremin, “40 gün süren sarsıntılar” beyanatından da yola çıkarak 9 Mart 1010 depremi olabileceğini düşünmüştür. Guidoboni ve Comastri (2005), Ocak 1010 depreminin ayın son günlerinde meydana gelmiş olması halinde 9 Mart tarihinin 40 gün sonrasına denk gelebileceği şeklinde bir hesap yapmıştır.

4 Aralık 1026 depremi:

Guidoboni ve Comastri (2005) bu depremin sadece Arap tarihçisi Al-Antaki’nin kayıtlarında, 4 Aralık 1026’da İstanbul’u sarsan ve birçok binanın yıkılmasına sebep olan bir deprem olarak geçtiğini belirtmiştir. Guidoboni ve Comastri (2005) her ne kadar diğer tarihçilerin bu olaya değinmediklerinin şaşırtıcı olduğunu düşünse de Al-Antaki’nin kayıtlarına güvendiği için bu depremi kataloğuna eklemiştir.

13 Ağustos 1032 depremi:

İki Bizans tarihçisi, Scylitzes ve Zonaras; 13 Ağustos 1032 tarihinde İstanbul’u sarsan bir deprem olduğunu ve bu depremden dolayı hasar gören, cüzzamlı hastaların tedavi gördüğü *St.Zoticus* hastanesi ile bugünkü Bozdoğan kemerinin Romanus III Argyrus (1028-1034) tarafından restore edildiğini belirtmişlerdir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

Mango (1962) de yer alan bilgiye göre, bu deprem ile Aya Sofya Kilisesi’nin doğu kubbesinin de yıkılmış olması mümkündür (Guidoboni ve Comastri, 2005).

Bu deprem Perrey (1850), Mallet (1853), Dück (1904) ve Ergin ve diğ. (1967) tarafından 1031 olarak tarihlendirilmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

6 Mart 1033 depremi:

6 Mart 1033 de İstanbul’da bir deprem olduğu bilgisi sadece Scylitzes’in kayıtlarında oldukça kısa olarak yer almaktadır (Guidoboni ve Comastri, 2005). Perrey (1850), Mallet (1853) ve Ergin ve diğ. (1967) depremin tarihini 1032 olarak vermişlerdir.

1 Eylül 1034 – 31 Ağustos 1035 depremi:

1 Eylül 1034 ve 31 Ağustos 1035 tarihleri arasında kuzey Anadolu’da gerçekleşen

bir büyük bir deprem 5 köyün yerle bir olmasına sebep olmuştur (Guidoboni ve Comastri, 2005). Ambraseys ve Zapotek (1969) depremin tarihini 3 Mayıs 1035 olarak vermiş ve Gerede'nin 40 km doğu kuzeydoğusunda Hamamlı-Bayındır köylerinde yer deformasyonlarından bahsedildiğini belirtmiştir.

18 Aralık 1036 depremi:

11. yüzyılın ikinci yarısında yaşamış olan Bizans tarihçisi Scylitzes 18 Aralık 1036 tarihinde İstanbul'da ikisi küçük biri büyük olan üç sarsıntının meydana geldiğini belirtmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005). Depremden bahseden diğer bir tarihçi olan Cedrenus depremin tarihini yanılarak 1037 olarak belirlemiş ve Dück (1904), Downey (1955), Ergin ve diğ. (1967) ve Ambraseys ve Finkel (1991) sadece Cedrenus'a dayanarak bu depremi 1037 depremi olarak değerlendirmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

2 Kasım 1037 – Ocak 1038 depremi:

Bizans tarihçisi Scylitzes'in kayıtlarında, 2 Kasım 1037 tarihinde İstanbul'da hissedilen ve artçı sarsıntıların 3 ay sürdüğü belirtilen bir deprem yer almaktadır (Guidoboni, 1944). Farklı araştırmacılar tarafından bu deprem farklı tarihlerde ele alınmıştır.

Von Hoff (1840) depremi 6 Kasım 1038 olarak tarihlendirip lokasyonu İstanbul olarak belirtmiş; Perrey (1850) ve Mallet (1853) 1038 tarihini vermiştir. Grumel (1958) depremin Trakya, Makedonya ve Teselya'yı etkilediğini düşünmüştür fakat Scylitzes'in belirttiğine göre bu tarihte bölgeyi etkileyen deprem değil kıtlıktır. Dück (1904), Downey (1955) ile Papazachos ve Papazachou (1997) depremin tarihini 2 Kasım 1038; Ergin ve diğ. (1967) ise 1038/39 olarak belirtmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

1 Eylül 1038 – 31 Ağustos 1039 depremi:

Guidoboni ve Comastri (2005), 11. yüzyılın ikinci yarısında yaşamış olan Bizans tarihçisi Scylitzes'in kayıtlarında, 1 Eylül 1038 ve 31 Ağustos 1039 tarihleri arasında İstanbul'da sıklıkla hissedilen sarsıntıların gerçekleştiğinden bahsettiğini belirtmiştir.

Mallet (1853), Baronius'a dayanarak, Bizans tarihçileri tarafından bu depremlerden bahsedilmediğine dikkat çekmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

Aralık 1041 – Nisan 1042 depremi:

Guidoboni ve Comastri (2005), 11. yüzyılın ikinci yarısında yaşamış olan Bizans tarihçisi Scylitzes'in kayıtlarında, 1041 yılının Aralık ayından 1042 yılının Nisan ayına kadar İstanbul'da sarsıntıların hissedildiğinden bahsettiğini belirtmiştir.

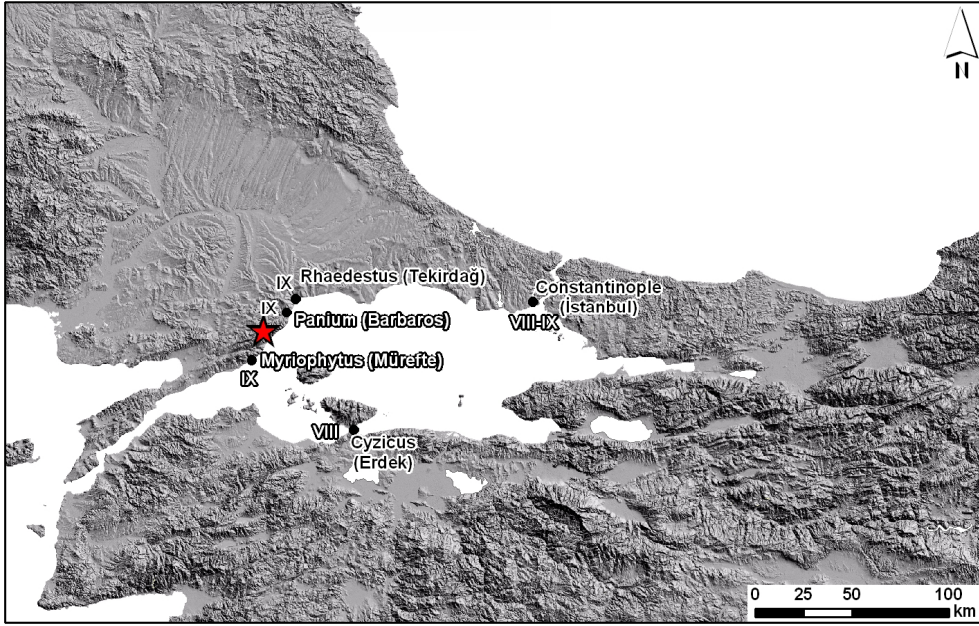
Bonito (1691) bu sismik olayların tarihini 1043 olarak belirtmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

23 Eylül 1063 depremi:

Guidoboni ve Comastri (2005) bu depremi bizzat yaşamış olan, 11. yüzyıl Bizans tarihçisi Attaliates'in sözlerinin çevirisine yer vermiştir. Buna göre; 23 Eylül 1063 tarihinde Marmara Denizi kıyılarındaki yerleşimlerde hasara ve can kaybına sebep olan bir deprem olmuştur. Güney Trakya kıyılarında Rhaedestus (Tekirdağ) ve Panium (Barbaros) yerleşimleri hasar görmüş, özellikle Myriophytus'da (Mürefte) çok fazla hasar ve yaşam yitimi meydana gelmiştir. Marmara Denizi güneyinde, Cyzicus'da (Erdek) bir Yunan tapınağı yıkılmıştır. İstanbul ilinde de bazı kiliseler ya tamamen ya da kısmen yıkılmış, bir çok ev de hasar görmüştür (Şekil 2.3). Depremi meydana getiren şokun hemen arkasından peşpeşe gelen güçlü 3 şok hasar boyutunu arttırmıştır. Aynı gece, ilkinde kıyaslandığında daha küçük olan 10-12 sarsıntı daha meydana gelmiştir.

Guidoboni ve Comastri (2005), Sathas (1876)'ın 1064 yılında yazılmış, Psellus'a ait bir mektupda Cyzicus için Psellus'un şu sözleri kullandığını belirtmiştir: "Bir zamanların ünlü metropolü, yılların getirdiği dertlerle şu an için unutulmuş bir harabe. Geçen sene Tanrı şehri öyle güçlü sarstı ki şehir bu kutsal öfkeyi son damlasına kadar içti."

Guidoboni ve Comastri (2005); bu depremle ilgili yazılı eserler arasında, Psellus'un mektubundan başka bir diğer mektubun, bir hitabenin ve bir şiirin yazıldığından bahseder. Bu depremin değişik araştırmacılar tarafından 1064 ve 1065 olarak yanlış tarihlendirildiğini fakat 23 Eylül 1063 tarihinin şüphesiz doğru olduğunu da eklemiştir.



Şekil 2.3 : 23 Eylül 1063 depremi nedeniyle hasar gören yerleşim birimleri ve önerilen merkez üssü lokasyonu (Guidoboni ve diğ. 1994’den değiştirilerek).

Eylül 1063 – Eylül 1065:

23 Eylül 1063 depreminden sonra Attalates seyrek olarak sarsıntıların iki sene boyunca devam ettiğini, dönemin yaşlı insanların bu deprem serisinin bir önceki “büyük deprem”e benzediğini, bir kısmının bu depremin daha hafif olduğunu söylerken bir kısmının ise “büyük deprem”in daha hafif olduğunu söylediklerini belirtmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005). Guidoboni ve Comastri (2005) yaşlı insanların bahsettiği “büyük deprem” olarak anlatılan depremin, “40 gün süren sarsıntılar” beyanatından da yola çıkarak 9 Mart 1010 depremi olabileceğini düşünmüştür.

Eylül 1065 depremi:

Eylül 1065 tarihinde Attalates, 23 Eylül 1063 depreminden bu yana iki senedir süren sarsıntılardan daha güçlü, fakat 1063 depreminden daha zayıf bir deprem ile Nicea’da St. Sophia kilisesinin, şehir duvarlarının ve binaların yıkıldığını ve bu depremin iki yıldır devam eden sarsıntıların sonuncusu olduğunu belirtmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

6 Aralık 1090 depremi:

Glycas (Bizans tarihçisi) ve Zonaras 6 Aralık 1090’da İstanbul’da birçok evin, kemerlerin ve kiliselerin yıkılmasına ve can kaybına sebep olan bir deprem olduğunu

belirtmişlerdir. Bu deprem farklı araştırmacılar tarafından 1082, 1083, 1084, 1085 ve 1088 olarak da tarihlendirilmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

11 Mart 1231 depremi:

11 Mart 1231’de insanların “çok büyük” olarak tanımladığı, evlerin, kiliselerin ve şehir duvarlarının yıkımına sebep olan bir deprem İstanbul’da hissedilmiştir. Depremden sonra Kutsal Havariler (Holy Apostles) Kilisesi (bugünkü Fatih Camii’nin bulunduğu yerde yer almış olan kilise) dönemin imparatoru tarafından tekrar inşa edilmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

10-12 Ağustos 1265 depremi:

1265 yılı Ağustos ayı başlarında Procennenus (Marmara) Adası’nda hissedilen ve oluşan sismik kökenli bir heyelan ile adanın batı kıyısında bulunan Galenolimen (Çınarlı) köyünün toprak altında kalmasına sebep olan bir deprem, olayı yaşayan Bizanslı tarihçi Pachymeres tarafından anlatılmıştır (Guidoboni ve Comastri, 2005).

1-13 Haziran 1296 depremi:

1 Haziran 1296 tarihinde İstanbul’da hasar verici bir deprem olmuştur. Bu depremden 15 gün önce ay tutulması olduğu belirtilmiştir. Eski binaların birçoğunun yıkılmasına sebep olduğu gibi yeni binalarda da yıkımlar meydana gelmiş, şehir duvarlarında çatlaklar oluşmuştur. 1010 depreminde hasar görmüş olan All Saints kilisesinin çatısının bir kısmı bu depremde tekrar yıkılmıştır. İmparator Michael VIII Palaeologus (1261-1282) tarafından dikilmiş olan bronz *Archangel Michael* heykeli bulunduğu kolonun üzerinden düşmüştür. Haziran ve Temmuz aylarında hissedilen sarsıntılar arasında 13 Haziran’da güçlü bir sarsıntı daha meydana gelmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

Muller-Wiener (1977), İmprator tarafından şehir duvarlarının tamir edildiğini, *Archangel Michael* heykelinin geri dikildiğini ama *All Saints* kilisesinin bu yıkımdan sonra tamir edilmediğini ve yıkıntılarının 1391 yılında Altın Kapı’nın (Yedikule) tamiratında kullanıldığını belirtmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

17 Ocak 1332 depremi:

17 Ocak 1332’de İstanbul’da hissedilen bir deprem meydana gelmiştir. Deprem tarihsel kaynaklarda “büyük” olarak tanımlanmış olsa da etkileri anlatılmamıştır

(Guidoboni ve Comastri, 2005).

Guidoboni deprem hakkındaki tek kaynağı, dönemin yaşayan Bizans tarihçilerinden Nicephorus Gregoras olarak göstermiştir. Bu kaynakta 13 Şubat 1332’de yaşamını yitiren İmparator Andronicus II Palaeologus’un ölecek olmasına işaret eden felaketler olarak bir güneş tutulması, bir ay tutulması ve bir depremden bahsedilir.

Grumel (1958) depremin tarihini 11 Şubat 1332; Perrey (1850) 11 ya da 12 Şubat 1332; Bonito (1691), von Hoff (1840), Antonopoulos (1980) ve Soloviev ve diğ. (2000) 12 Şubat 1332; Dück (1904) ve Papazachos ve Papazachou (1997) 12 Şubat 1331 olarak belirlemişlerdir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

18 Ekim 1343 depremi:

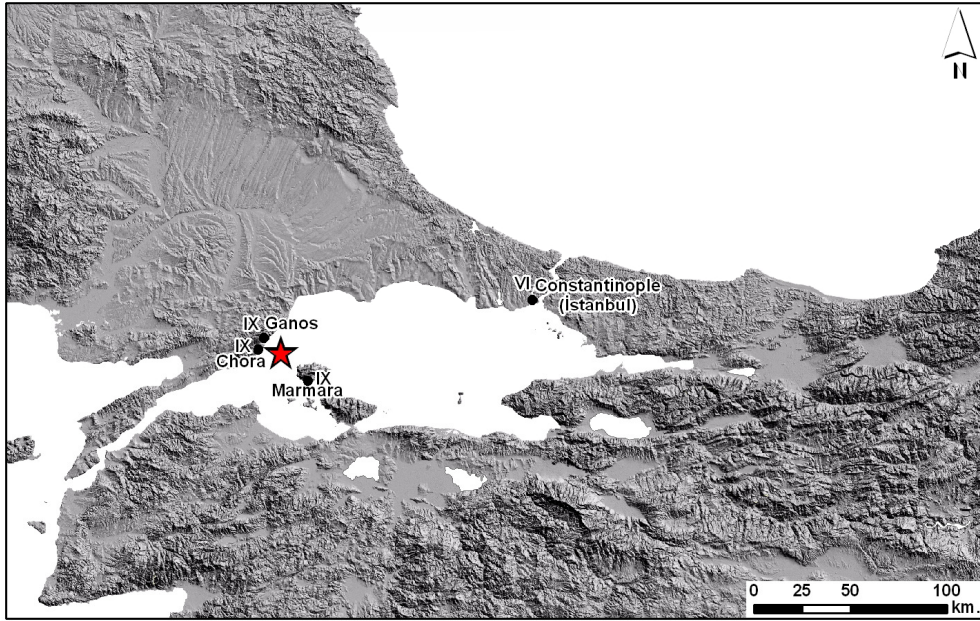
18 Ekim 1343 tarihinde ise iki güçlü sarsıntı daha hissedilmiştir. Lysimachia (bugün Saros körfezi yakınlarında bulunan Ortaköy) ve Gelibolu’da ise bu sarsıntılar İstanbul’da hissedildiğinden daha hafif yaşanmıştır. Deniz yaklaşık 1.8 km lik bir mesafe boyunca karaya ilerlemiş, kıyıda bulunan tekneler karaya savrulmuş, deniz bir müddet sonra geri çekildiğinde etrafta çamur ve ölü balıklar kalmıştır. Karada denizen bıraktığı malzeme yüzünden insanların sokaklarda yürümesi güç olmuştur. Oluşan bu tsunaminin nereleri etkilemiş olduğu belirsizdir ve kayıtlarda gösterilen tek coğrafi mekan *Stauros*, yani, bugünkü Beylerbeyi kuzeyidir (Guidoboni ve Comastri, 2005; Ambraseys, 2005).

6 Kasım 1344 depremi:

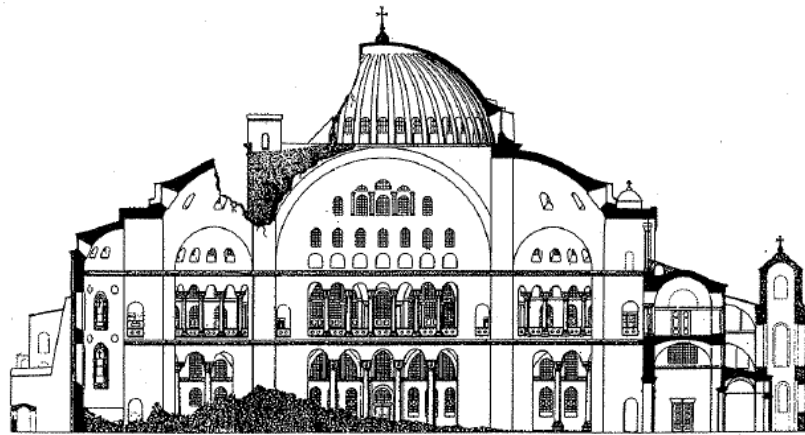
1343 sonbaharından 1344 yaz aylarına kadar süren sarsıntıları, 1344 sonbahar aylarında İstanbul’u ve Marmara Bölgesinde en batı kesimlerinde Trakya kıyılarını etkileyen sarsıntılar takip etmiştir. Bu sarsıntılardan en güçlüsü 6 Kasım 1344’de meydana gelmiş, Ganos (Gaziköy) kalesinin tamamen tahrip olmasına, Chora (Hoşköy) kale duvarlarının yıkımına ve burada bulunan evlerin yarısının yıkılmasına sebep olmuştur. Chora’da 300 den fazla insan yıkıntılar altında kalmıştır. Marmara Adası’nda bulunan kale duvarları bu deprem nedeniyle yıkılmıştır (Şekil 2.4). İstanbul’da ise Aya Sofya kilisesi ve Kutsal Havariler (Holy Apostles) kilisesinde (bugünkü Fatih Camii’nin bulunduğu lokasyonda yer almış olan kilise) hasar kaydedilmiştir. Aya Sofya’nın bir önceki 1343 depreminde doğu kesimi hasar gören kubbesinde tekrar yıkılmalar meydana gelmiştir (Şekil 2.5). 1296 depreminde

etkilenmiş olan Kutsal Havariler (Holy Apostles) kilisesinde bir kolon üzerinde duran St.Michael heykeli tekrar zarar görmüştür.

Guidoboni ve Comastri (2005) tarihsel kaynaklardan topladıkları bilgiler doğrultusunda 19 Mayıs 1346'da Aya Sofya Kilisesi'nin ana kubbesinin doğu kesiminin ve küçük kubbelerinden birinin tekrar yıkıldığını, fakat bu yıkımın yeni bir depremle değil, 1343 ve 1344 depremlerinin neden olduğu hasar sonrasında yeterli onarımın gerçekleşmemiş olmasından ötürü olduğunu ayrıca belirtir. Yazarlar, Grumel (1958)'in bu depremi 1341 olarak yanlış tarihlendirdiğini belirtmiştir.



Şekil 2.4 : 6 Kasım 1344 depremi nedeniyle hasar gören yerleşim birimleri ve önerilen merkez üssü lokasyonu (Guidoboni ve Comastri, 2005'den değiştirilerek).



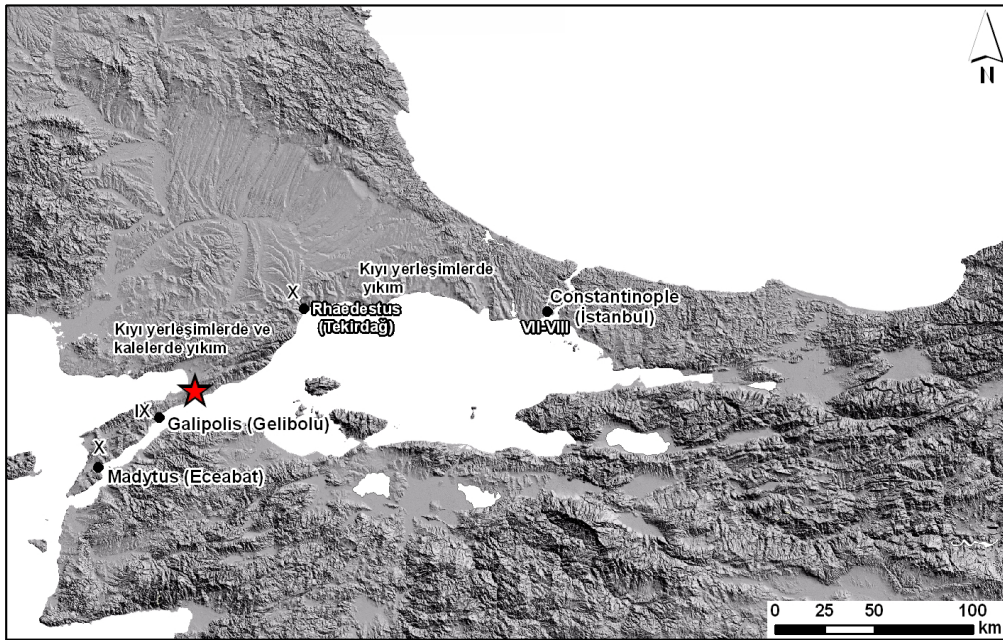
Şekil 2.5 : 6 Kasım 1344 depreminden iki sene sonra 19 Mayıs 1346'da Aya Sofya Kilisesi ve kubbesinin batı kesimindeki hasar (Antoniadis 1907).

1 Mart 1354 depremi:

1 Mart 1354’de Marmara Denizi’nin kuzey kıyılarında hasar meydana getiren bir sarsıntı olmuştur. Madytus (Eceabat) ve Rhaedestus (Tekirdağ) arasında yer alan nerdeyse tüm yerleşimler ve kaleler bu deprem nedeni ile ciddi hasar görmüş, Gelibolu ve yakın civarında bulunan şehir duvarları yıkılmıştır. İstanbul’da birçok büyük bina ve şehir duvarları yıkılmıştır. Tenedos (Bozcaada)’da da depremin etkileri olmuştur (Şekil 2.6). Bu deprem çok fazla can kaybına sebep olmuştur, fakat kayıpların sayısı hakkında bir bilgi yoktur.

Guidoboni ve Comastri (2005) 1 Mart 1354 depremi esnasında İstanbul’daki evinde bulunan Bizans tarihçisi Nicephorus Gregoras’ın yazdıklarının çevirisini sunmuştur. Bu çeviriye göre, tarihçinin evinin bazı kesimlerinde hasar meydana gelmiş, kitapları yere saçılmış ve tarihçi ayakta durmakta zorlanmıştır.

Bu deprem, bazı tarihçiler tarafından mart ayı başlarında ve bahar aylarında olmak üzere iki ayrı deprem gibi ele alınmıştır fakat ortada tek bir deprem vardır (Guidoboni ve Comastri, 2005).



Şekil 2.6 : 1 Mart 1354 depremi nedeniyle hasar gören yerleşim birimleri ve önerilen merkez üssü lokasyonu (Guidoboni ve Comastri, 2005’den değiştirilerek).

15 Mart 1419 depremi:

Arap tarihçisi Al-Maqrizi’nin kayıtlarına göre 15 Mart 1419 tarihinde Bursa’da güçlü bir deprem meydana gelmiş, deprem esnasında gürültülü sesler duyulmuş ve bu

deprem şehir duvarları ve tüm evlerin yıkılmasına sebep olmuştur (Guidoboni ve Comastri, 2005). Guidoboni ve Comastri (2005) Al-Maqrizi'nin kayıtlarının çevirisini sunmuştur. Bu çeviride, yukarıdaki bilgilere ek olarak; deprem anında yer hareketinin batıdan doğuya doğru hissedildiği, sarsıntıların ilk 3 gün sıklıkla olmak üzere yaklaşık 40 gün boyunca her gün en az bir ya da dört kere hissedildiği ve bir sene kadar sarsıntıların devam ettiği, Mısır piramitlerinin yarısı kadar büyüklükte bir kayanın dağdan yuvarlandığı, yeni bir su kaynağının oluştuğu, nehirlerin taşıdığı, insanların şehrin dışına sığındığı bilgileri yer almaktadır. Yine aynı tarihçinin verdiği bilgilere dayanarak Ozansoy (2000), depremin tarihinin 25 Mayıs 1419 olduğu, özellikle İzmit körfezi ve doğusunda etkili olan bu depremin Kastomonu, Amasya, Tokat'da da hissedildiği, Bursa'da büyük hasar yarattığı bilgisine yer vermiştir.

Ergin ve diğ. (1967) bu depremi 1415 olarak tarihlendirmiş; Papazachos ve Papazachou (1997) depremin büyüklüğünü (M) 6,8, şiddetini ise IX (MM) olarak hesaplamış; Poirier ve Taher (1980) depremin şiddetini X ve XI (MM) arasında vermiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

19 Aralık 1419 – 16 Ocak 1420 depremi:

Guidoboni ve Comastri (2005) 19 Aralık 1419 ve 16 Ocak 1420 tarihleri arasında bir günde meydana gelen deprem için tek kaynağı Arap tarihçisi Al-Maqrizi olarak gösterir. Al-Maqrizi sadece bir çok yerde hasar olduğunu ve deniz seviyesinde alışılmadık değişiklikler olduğunu belirtir. Bu depremin Bizans tarihçileri tarafından kaydedilmemiş olması yazarları endişelendirse de Al-Maqrizi'nin kayıtlarına güvenmemek için herhangi bir sebep bulunmadığını da belirtmişlerdir.

Poirier and Taher (1980) depremi 11 Mayıs 1419 olarak yanlış tarihlendirip, şiddetini IX (MM) olarak vermiş; Evangelatou-Notara (1993) ile Papazachos ve Papazachou (1997) tarihi 25 Mayıs 1419 olarak verip şiddetini VI (MM), büyüklüğünü (M) ise 6.6 olarak belirlemişlerdir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

1489 ya da 1490 depremi:

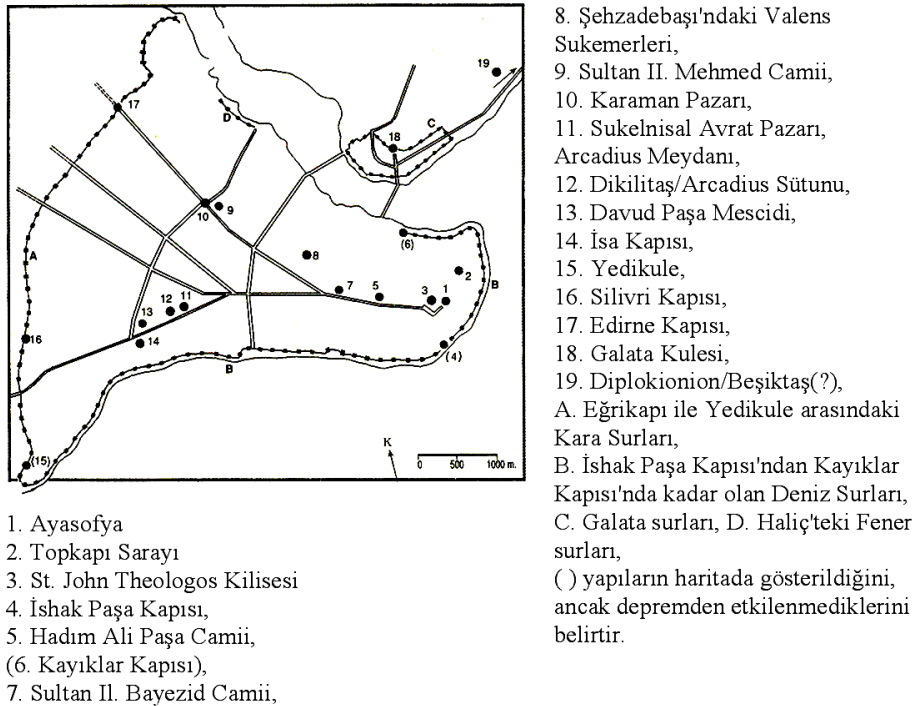
Guidoboni ve Comastri (2005), Figliuolo (2002)'de yer alan, Naples kralının kızı Ferrara düşesi Eleonora'ya yazdığı bir mektupta, İstanbul'da meydana gelen bir depremin anlatıldığını belirtmiştir. Mektupda bahsedildiği üzere İstanbul'da çok

büyük bir deprem olmuş, deprem sonrasında bir yıldırım yüzünden şehirde yangın çıkmıştır.

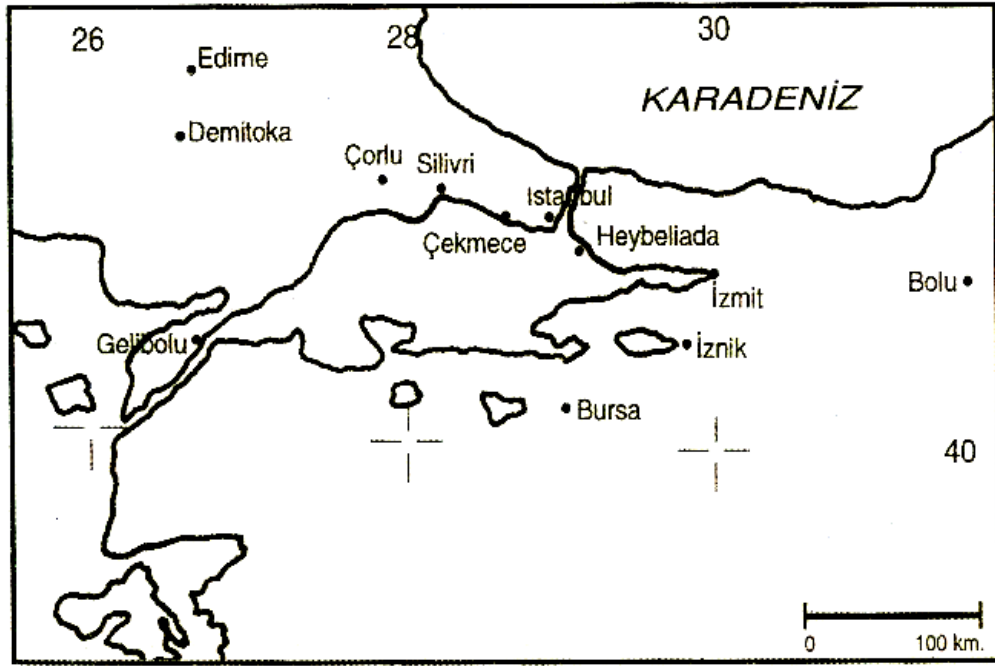
Bu deprem, Bonito (1691) tarafından 1489 ya da 1490 olarak tarihlendirilmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005). Ambraseys ve Finkel (1991) depremin 16 Haziran 1489 tarihinde meydana geldiğini ve bazı minarelerin yıkıldığını belirtmiştir (Guidoboni ve Comastri, 2005).

10 Eylül 1509 depremi:

Ambraseys ve Finkel (1995), Osmanlı tarihçisi Ruhi ve Venedikli Marino Sanudo'nun belgelerine dayanarak 10 Eylül 1509 depremine dair bilgi vermiştir. Buna göre, en büyük hasar İstanbul şehrinde gerçekleşmiştir (Şekil 2.7). İstanbul'dan başka Gelibolu, Edirne, Silivri, Çorlu, İzmit körfezi etrafındaki yerleşim bölgelerinde de ciddi hasar oluşmuş ve Bolu'da, Bolu kalesi duvarları ve kuleleri deprem nedeniyle yıkılmıştır (Şekil 2.8). İzmit körfezinde kıyı boyunca yer alan surlarda onarım kabul etmeyecek kadar büyük yıkımlar olmuştur (Öztüre, 1969). Aynı yılın Ekim ve Kasım aylarında devam eden sarsıntılarda Edirne ilinde de hasar olduğu kaydedilmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1995). Ambraseys ve Jackson (2000) depremin büyüklüğünü (M_s) 6,8-7,2 olarak hesaplamıştır.



Şekil 2.7 : İstanbul'da 10 Eylül 1509 depreminden etkilenen yapıların konumlarını gösteren taslak harita (Ambraseys ve Finkel, 1995'ten değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 2.8 : 10 Eylül 1509 depremi nedeniyle hasar oluşan yerleşim birimleri (Ambraseys ve Finkel, 1995’ten alınmıştır).

Ambraseys (2001) 1509 depremini bölgede gerçekleşmiş olan tarihsel ve aletsel depremler ile hasar dağılımı ve tektonik açıdan karşılaştırmış ve bu karşılaştırmının sonucunda, bu depremin anlatıldığı gibi “küçük kıyamet” olmadığı, bölgede olagelen diğer yıkıcı depremler gibi bir deprem olduğu görüşündedir. Yazar, depremin merkez üssünü Bakırköy açıklarında konumlandırmıştır ve Büyükçekmece açıklarından Tuzla açıklarına kadar, deniz içerisinde yaklaşık 70 km.lik bir faylanma ile (M_s) 7,2 büyüklük tahmininde bulunmuştur.

10 Mayıs 1556 depremi:

İstanbul, Bursa ve Aydıncık’da (Edincik) hasara sebep olan bir deprem olmuştur (Şekil 2.9). İstanbul ve Bursa’da çok sayıda ev, cami ve şehir surları yıkılmış, İstanbul’da Aya Sofya ve II. Mehmet Camileri de hasar görmüştür (Ambraseys ve Finkel, 1995). Ambraseys ve Jackson (2000) bu depremi Kapıdağ güneyinde konumlandırmış ve büyüklüğünü (M_s) 7,2 olarak hesaplamıştır.



Şekil 2.9 : 10 Mayıs 1556 depremi (Hess, 1910).

1 Ekim 1567 depremi:

Ambraseys ve Finkel (1995) İzmit ve İstanbul'da bir kaç evin yıkılmasına ve bir yeni evin de hasar görmesine neden olan bir depremi kataloglarına eklemiştir ve hasarın, Sapanca'ya kadar ulaştığı ve burda heyelanlara sebep olduğu bilgisi katalogta yer almaktadır. Bu tarihte İzmit'te esir olan İsviçreli bir papazın anılarında, 1 Ekim 1567'de diğer esirlerle beraber tutuklu bulunduğu binada çok güçlü bir sarsıntı yaşadıkları yer almaktadır (Zachariadou, 2001).

1592 depremi:

Ambraseys ve Finkel (1995) iki modern kaynaktan (Wulzinger, 1932; İstanbul, 1967) 1592 yılında İstanbul'da hissedilen bir depremin II. Mehmet Camii'nde hasara sebep olduğunu belirtmiştir.

11 Temmuz 1690 depremi:

İstanbul'da Sultan II. Mehmed Camii'nin bazı kubbelerinin çatlamasına ve Topkapı civarındaki kara surlarının yıkılmasına, Büyükçekmece'deki Sultan II. Mehmed Camii'nin minaresinin yıkılmasına ve içinde ibadet edilemeyecek kadar hasar görmesine sebep olan bir deprem meydana gelmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1995). Artçı şokları birkaç gün boyunca hissedilmiş olan bu deprem, diğer yerleşimler ile ilgili herhangi bir bilgi bulunmayışı nedeniyle Ambraseys ve Finkel (1995) tarafından kıyıda açıkta bir deprem olarak yorumlanmıştır.

25 Mart 1712 depremi:

Katip Çelebi'nin kronolojisinde yer aldığı üzere, bu tarihte İstanbul'da çeşitli camilerin ve evlerin hasar görmesine neden olan bir deprem meydana gelmiş, ertesi gün bir sarsıntı daha hissedilmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1995).

6 Mart 1719 depremi:

İstanbul'da iki camiyi harabeye çeviren ve can kaybına neden olan kuvvetli bir deprem hissedildi (Ambraseys ve Finkel, 1995).

25 Mayıs 1719 depremi:

Marmara Denizi'nin doğu kesiminde, 25 Mayıs 1719 tarihinde İstanbul, Pazarköy (Orhangazi-Bursa), Bursa, Karamürsel, Yalova, Kazıklı, İzmit ili ile İzmit körfezinin her iki yakasındaki köy ve kasabalar, Sapanca'dan Düzce'ye kadar bulunan yerleşim birimlerinde hasar ya da ağır hasar meydana getiren bir deprem olmuştur. Trakya'nın iç kesimlerinde de hasar oluştuğuna dair bilgi vardır (Şekil. 2.10 ve 2.11) (Ambraseys ve Finkel, 1995). Ambraseys ve Finkel (1995)'de yer alan tarihsel belge çevirilerinde; İzmit ili hakkında, kentin beşte dördünün bu deprem nedeniyle yıkıldığı, 4000 kadar can kaybı olduğu, deniz kenarında bulunan gümrük binasının tamamen denize gömüldüğü bilgileri vardır. Hasar Karamürsel'de çok ağırdır. Düzce ve Sapanca da yerle bir olmuş, ağır hasar ve can kaybı meydana gelmiştir. Ambraseys ve Jackson (2000) bu depremin merkezini İzmit körfezinde konumlandırmış ve büyüklüğünü (Ms) 7.4 olarak hesaplamıştır.

10 Haziran 1730 depremi:

Ambraseys ve Finkel (1995)'de Selanik ile İstanbul arasındaki yol üzerinde bulunan köylerde büyük hasar olduğundan ve Saros bölgesinde muhtemelen depremin verdiği hasar yüzünden yapılan onarım çalışmalarından bahsedilmiştir.

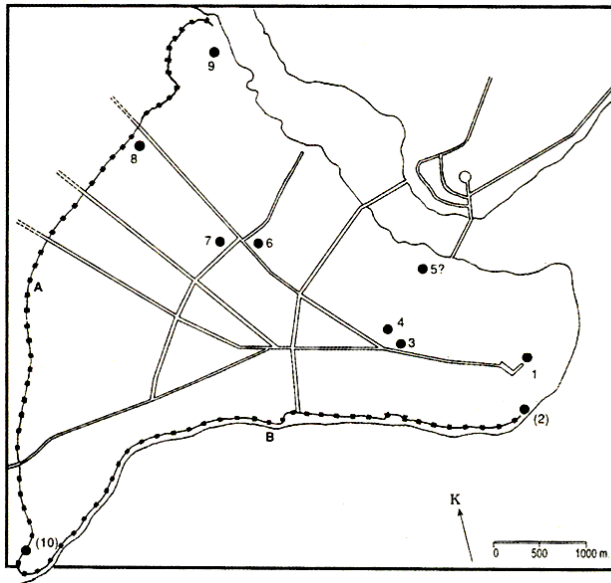
29 Temmuz 1752 depremi:

Öncü şokların ardından Trakya'da meydana gelen deprem özellikle Havsa, Hasköy, Zerna (İbriktepe), Kozköy ve Ferecik köylerinde ağır hasar meydana getirip can kaybına neden olmuştur. Edirne'de ev ve kamu binaları yıkılmış, 100 kişi yaşamını yitirmiştir. Evreşe (Kadıköy), Bozcaada ve Molivo (Midilli adasında Mollalar kasabası) kalelerinde yapılan onarım çalışmaları da bu deprem ile ilişkilendirilmiştir.

Deprem İzmir’de hafif, İstanbul’da ise kuvvetli bir şekilde hissedilmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1995).



Şekil 2.10 : 25 Mayıs 1719 depremi nedeniyle hasar oluşan yerleşim birimleri Ambraseys ve Finkel, 1995’ten alınmıştır).



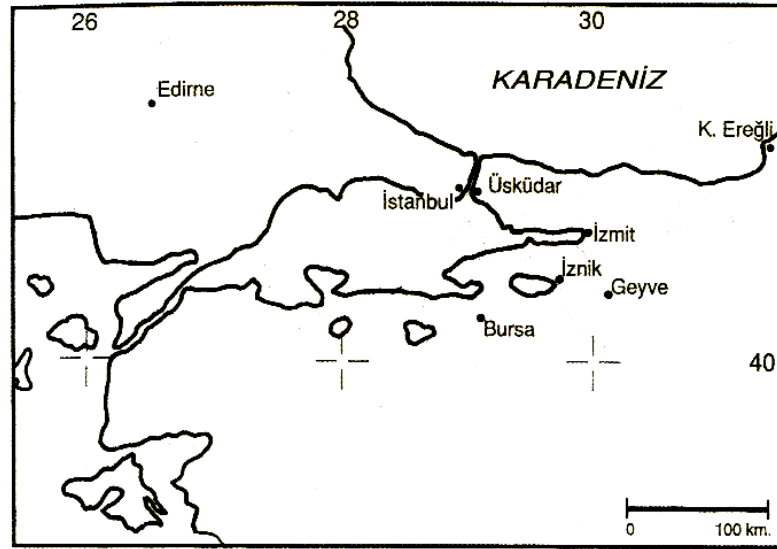
1. Ayasofya
 - (2. Ahır Kapısı)
 3. Sultan Bayezid Camii
 4. Eski Saray
 - 5? Sinan Paşa Camii
 6. Sultan II. Mehmed Camii
 7. Bali Paşa Camii
 8. Mihrimah Camii
 9. St. Demetrius Kananu Kilisesi
 - (10. Yedikule)
 - A. Kara Surları
 - B. Deniz Surları ve kuleler
- () yapıların haritada gösterildiğini, ancak depremden etkilenmediklerini belirtir

Şekil 2.11 : İstanbul’da 25 Mayıs 1719 depreminden etkilenen yapıların konumlarını gösteren taslak harita (Ambraseys ve Finkel, 1995’ten değiştirilerek alınmıştır).

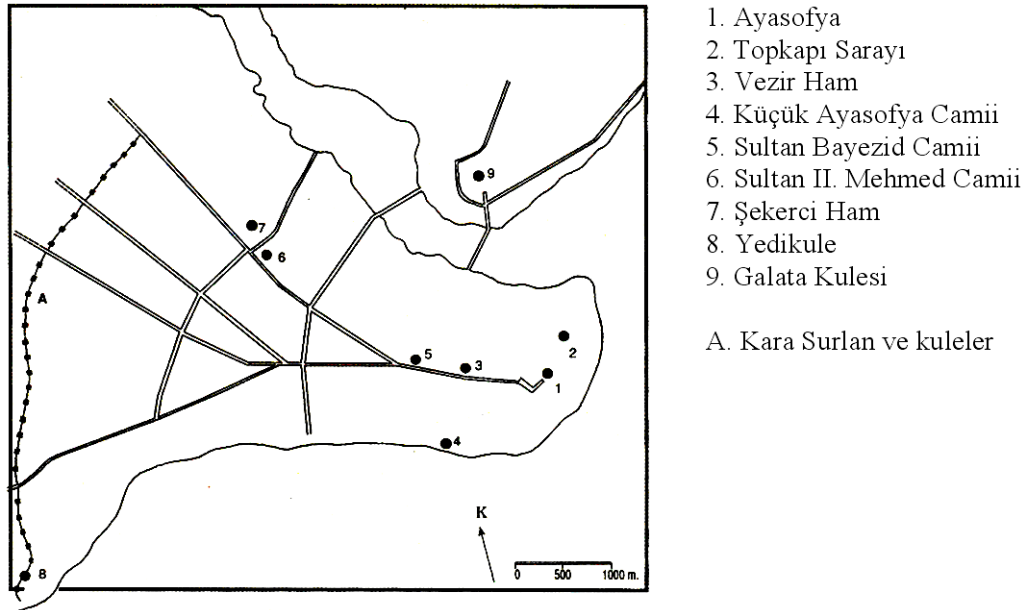
2 Eylül 1754 depremi:

Öncü sarsıntılar serisi sonrasında meydana gelen deprem özellikle İzmit Körfezi etrafındaki yerleşimlerde çok ağır hasar yaratırken, İstanbul’da da ağır hasar

meydana getirmiştir (Şekil 2.12 ve 2.14) (Ambraseys ve Finkel, 1995). Ambraseys ve Finkel (1995)'te yer verilmiş olan bir dönem mektubuna göre İstanbul'un doğu kesimindeki hasar daha batısına göre daha ciddi olmuştur. İzmit'in büyük bir kısmının yıkılmasına ve çok can kaybı olmasına sebep olan deprem, Bursa ve İzmit'te bir kaç evin yıkılmasına da sebebiyet vermiş; Karadeniz Ereğlisi, Edirne ve Geyve'de hissedilmiştir (Şekil 2.12) (Ambraseys ve Finkel, 1995). Ambraseys ve Jackson (2000) depremin büyüklüğünü (Ms) 6.8-7.2 arası hesaplamış ve merkeş üssünü Adalar'ın yaklaşık 15 km. güneydoğusunda vermiştir.



Şekil 2.12 : 2 Eylül 1754 tarihinde meydana gelen depremde etkilenen yerleşim birimleri (Ambraseys ve Finkel, 1995'ten alınmıştır).



Şekil 2.13 : İstanbul'da 2 Eylül 1754 depreminden etkilenen yapıların konumlarını gösteren taslak harita (Ambraseys ve Finkel, 1995'ten alınmıştır).



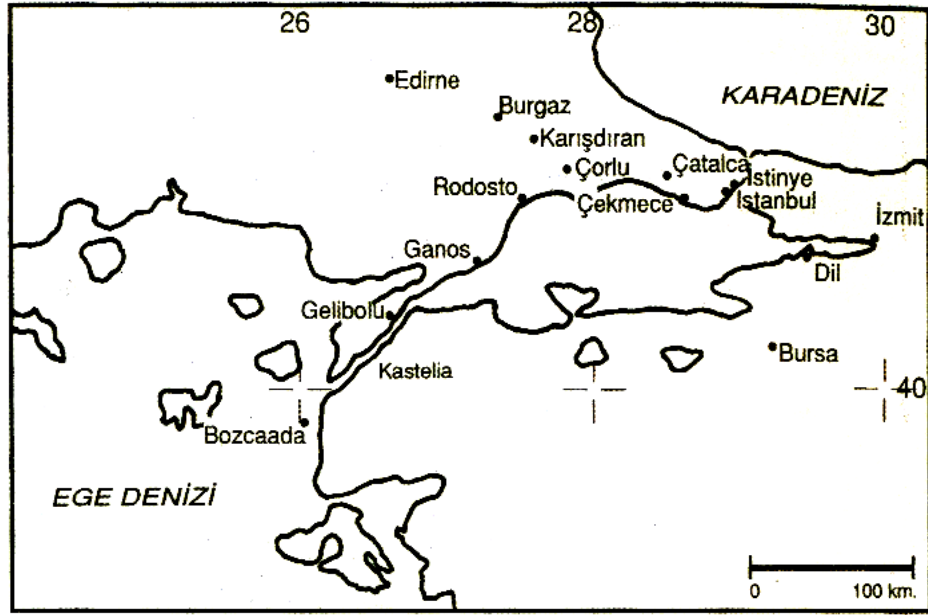
Şekil 2.14 : 1 Eylül 1754 depremi ve İstanbul’da hasar (Toinet, 1982).

22 Mayıs 1766 depremi:

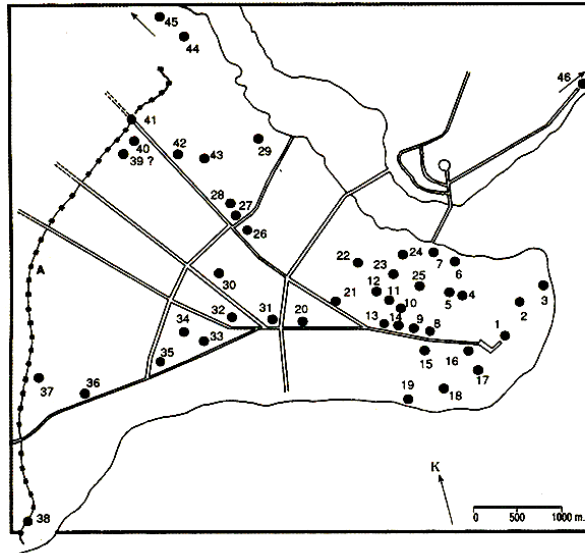
Marmara Denizinin doğu kesimlerinde etkili olan bir deprem meydana gelen deprem İzmit-Tekirdağ arasında, Trakya’nın iç kısımlarına ve Marmara Denizi’nin güneyine kadar olan yerleşimlerde ağır hasar meydana getirmiştir (Şekil 2.15). İstanbul ve batısında (Çatalca ve Çekmece) hasar ağırken daha batıda meydana gelen hasarlar hafif olmuştur. İstanbul’un doğusunda meydana gelen hasar batıya göre daha ciddidir (Şekil 2.16) (Ambraseys ve Finkel, 1995). İzmit körfezindeki birçok yerleşimin yerle bir olduğu, İzmit ilinin ağır darbe aldığı bilgileri mevcuttur (Öztüre, 1969, Ambraseys ve Finkel, 1995). İzmit körfezi, Boğaziçi ve Mudanya körfezinde sismik deniz dalgasından bahsedilir (Ambraseys ve Finkel, 1995). Ambraseys ve Jackson (2000) depremin büyüklüğünü (Ms) 6.8-7.2 olarak hesaplamış ve merkezi üssünü Adalar’ın yaklaşık 10 km. güneybatısında vermiştir.

5 Ağustos 1766 depremi:

Marmara Denizi batısında Tekirdağ, Gelibolu, Biga, Bursa, İstanbul ve Edirne’ye kadar hasara sebep olan bir deprem meydana gelmiştir. Tekirdağ-Mürefte arasında daha ciddi olmak üzere, Gelibolu, Saros ve Bozcaada’da da ciddi yıkımlardan bahsedilmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1995).



Şekil 2.15 : 22 Mayıs 1766 tarihinde meydana gelen depremde etkilenen yerleşim birimleri (Ambraseys ve Finkel, 1995'ten alınmıştır).



1. Ayasofya
2. Topkapı Sarayı
3. Odun Kapısı
4. Kayış Mustafa Ağa Camii
5. Hoca Paşa Camii
6. Bahçe Kapısı
7. Valide Camii
8. Vezir Ham
9. Dikilitaş'taki Atık Ali Paşa Camii
10. Nuruosmaniye Camii
11. Kapalı Çarşı
12. Eski Saray
13. Sultan Bayezid Camii
14. Çorlulu Ali Paşa Camii

15. Tavukpazan'daki Hüseyin Ağa Camii
16. Firuz Ağa Camii
17. Sultan (I.) Ahmed Camii
18. Küçük Ayasofya'daki Hüseyin Ağa Camii
19. Kadirga Sarayı
20. Laleli Camii
21. Şehzade Camii
22. Süleymaniye Camii
23. Örücüler Çarşısı
24. Sinan Ağa Camii
25. Çuhacılar Ham
26. Sultan II. Mehmed Camii
27. Şekerciler Ham
28. Hafız Ahmed Camii
29. Selimiye Camii
30. İskender Paşa Camii
31. Esir Pazarı
32. Gazi Murad Paşa Camii
33. İbrahim Paşa Mektebi
34. Haseki Sultan Camii
35. Gazi Davud Paşa Camii
36. Koca Mustafa Paşa Camii
37. İbrahim Paşa Camii
38. Yedikule
- 39? Edimekapı'daki Atık Ali Paşa Camii
40. Mihrimah Camii
41. Edime Kapısı
42. Karagümrük'teki Atık Ali Paşa Camii
43. Nişancı Mehmed Paşa Camii
44. Emir Buhari Tekkesi'nin Mescidi
45. Eyüp Ansari Camii
46. Beşiktaş Sarayı

A. Kara Surları

Şekil 2.16 : İstanbul'da 22 Mayıs 1766 depreminden etkilenen yapıların konumlarını gösteren taslak harita (Ambraseys ve Finkel, 1995'ten değiştirilerek alınmıştır).

24 Kasım 1863 depremi:

24 Kasım 1863 tarihinde Bolu’da çok hasar yapan bir deprem meydana gelmiştir (Ambraseys ve Zapotek, 1969).

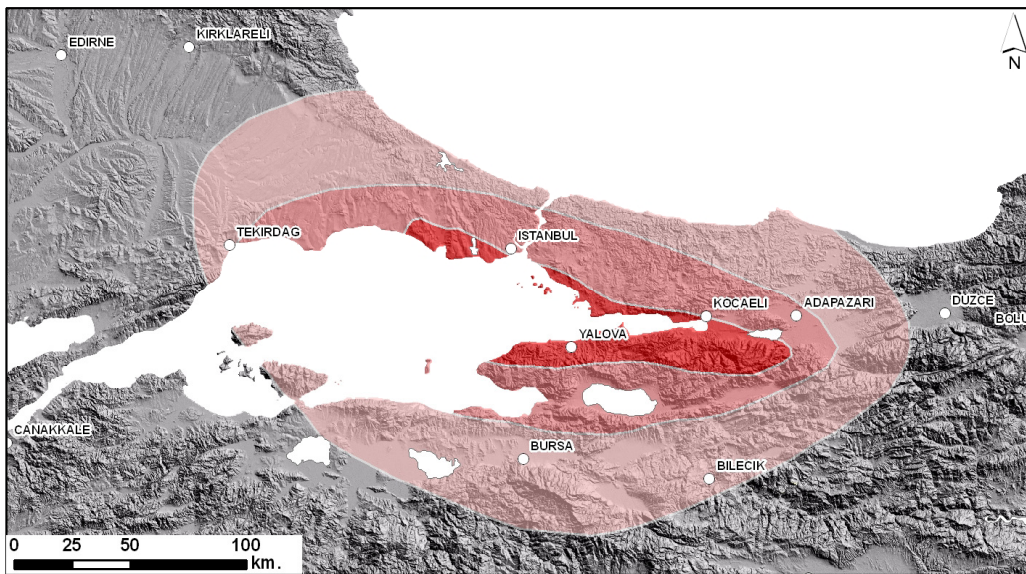
19 Nisan 1878 depremi:

Adapazarı ve İzmit illerinde çok fazla ölüm ile sonuçlanan, Sapanca ve Eşme’nin tamamıyla yıkımına yol açan bir deprem meydana gelmiştir (Ambraseys ve Zapotek, 1969; Zachariadou, 2001).

10 Temmuz 1894 depremi (Büyük İstanbul Depremi):

Öztin (1994), Eginitis (1894) tarafından hazırlanan rapora göre, 10 Temmuz 1894 depreminin Çatalca’dan Adapazarı’na kadar olan bölgede ağır hasar oluşturduğunu, en ağır hasarın ise Marmara Adaları’nda meydana geldiğini belirtmiştir. Deprem, İstanbul il sınırları içinde 474 kişinin yaşamını yitirmesine, 482 kişinin yaralanmasına, 387 dayanıklı yapı ile 1087 ev ve 299 dükkanın önemli ölçüde hasar görmesine yol açmıştır (Öztin, 1994).

Ambraseys ve Zapotek (1969), Dybowski (1894)’ün gözlemlerine dayanarak, bu depremin Marmara’da değil, Doğu Marmara’da Adapazarı-Sapanca-İzmit boyunca olan bir faylanma sonucu olduğunu; Sieberg (1932)’ye dayanarak, depremin merkez üssünün 1967 Mudurnu Vadisi depreminin merkez üssünden uzak olamayacağını belirtmiştir. (Bu deprem hakkında detaylı bilgi için bakınız: Öztin, 1994)



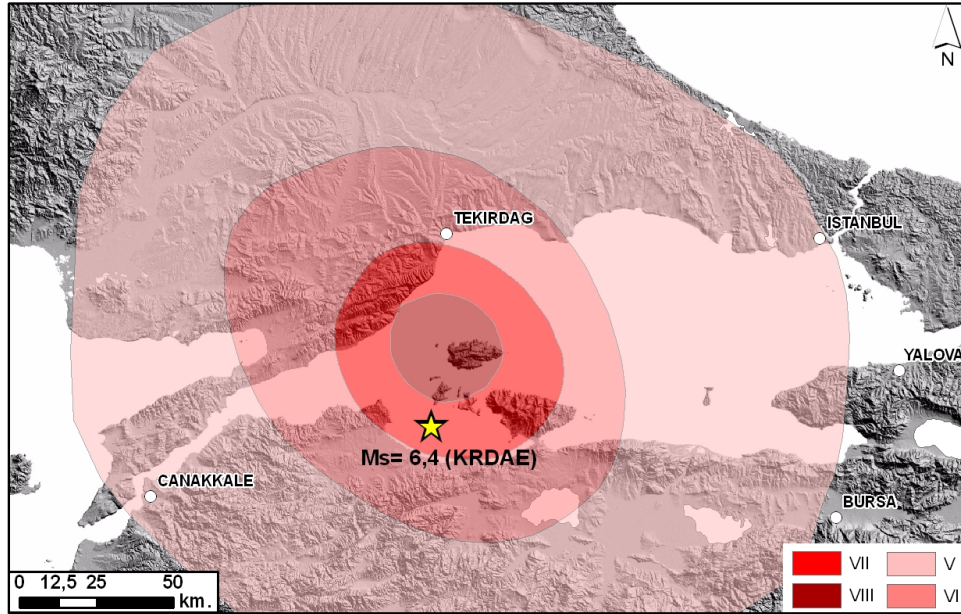
Şekil 2.17 : 10 Temmuz 1894 depremi eşşiddet haritası (Eginitis, 1894’den değiştirilerek).

2.2 Aletsel Dönem Öncesi Depremleri

Doğu Marmara bölgesi ve civarında, aletsel öncesi dönemde (1915-1960 yılları arası) dört hasar yapıcı ve geniş etkisi olan deprem ve bu depremlere bağlı artçı sarsıntılar meydana gelmiştir.

2.2.1 4 Ocak 1935 Marmara Adaları depremi

Marmara Adaları ve Erdek'te yıkıcı olan deprem İstanbul, Edirne ve İzmir'de kuvvetlice hissedilmiştir (Pınar ve Lahn, 1952). Deprem sonrasında hissedilen üç şiddetli artçı sarsıntı daha meydana gelmiş ve artçı sarsıntılar 7 Mart 1935 tarihine kadar sürmüştür. Deprem 5 kişinin yaşamını yitirmesine 30 kişni de yaralanmasına sebep olmuştur. Depremin büyüklüğü KRDAE ve Ambraseys (1988) tarafından $M_s=6,4$ olarak hesaplanmıştır. Bu depreme ait eşşiddet haritası Ambraseys (1988) tarafından hazırlanmıştır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 : 4 Ocak 1935 Marmara Adaları depreminin eşşiddet haritası (Ambraseys, 1988'den değiştirilerek).

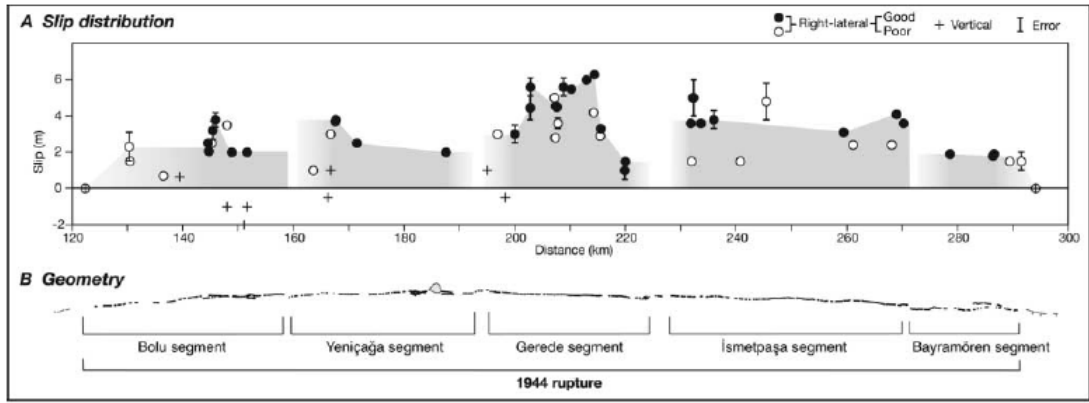
2.2.2 20 Haziran 1943 Hendek-Adapazarı depremi

20 Haziran 1943'te saat 15:32'de Adapazarı-Hendek civarında yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın raporuna göre deprem nedeniyle 304 kişi yaşamını yitirmiş, 234 kişi yaralanmış, 5975 yapı onarılamayacak kadar ve 4361 yapı onarılabilecek şekilde zarar görmüştür (Eyidoğan ve diğ., 1991).

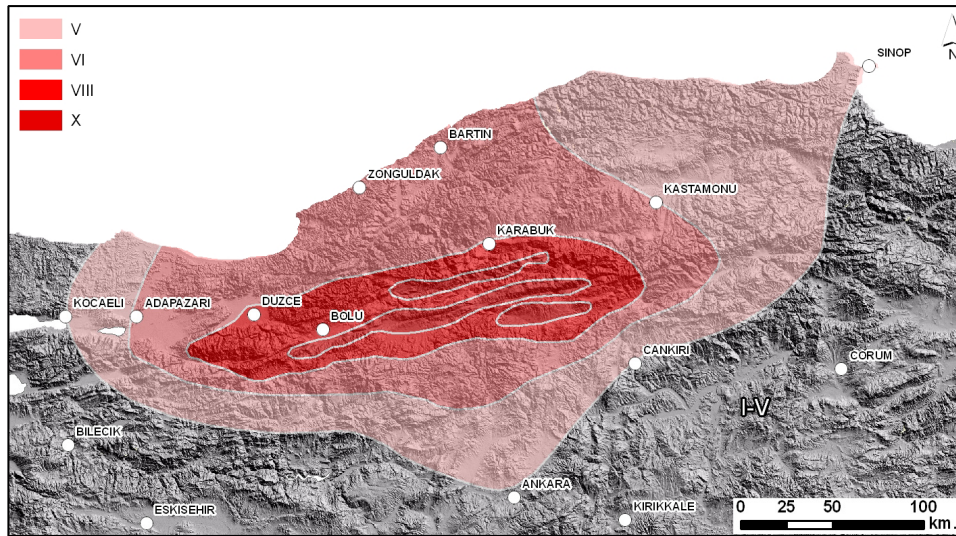
büyükliğini (M_s) 7,3 olarak belirlemiştir. Barka (1996) deprem büyüklüğü-kayma miktarı ilişkisinden depremin büyüklüğünü (M_w) 7,4 olarak saptamıştır. Ergin ve diğ. (1967) depremin eşşiddet haritasını hazırlamıştır (Şekil 2.21).

Öztürk ve diğ. (1985) oluşan yüzey kırığının Abant Gölü'nden Bayramören ilçesinin batısına kadar 165 km olduğunu, Ketin (1969) ve Ambraseys (1970) ise yüzey kırığının Bayramören'e kadar uzandığını ve uzunluğunun 180 km olduğunu söylemişlerdir.

Kondo ve diğ. (2005) 1944 depremi sonucunda oluşan yüzey kırığını, batıdan doğuya Bolu, Yeniçağa, Gerede, İsmetpaşa, Bayramören olmak üzere 5 farklı segment halinde 180 km olarak haritalamıştır. Yazarlar, deprem nedeniyle ötelenmiş 47 yapıda ölçümler yapmış ve 6 metreye varan tekil ötelenme değerleri ölçülmüştür (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 : 1 Şubat 1944 Bolu-Gerede depremi sonucu oluşan ötelenme değerleri (Kondo ve diğ., 2005'ten alınmıştır).



Şekil 2.21 : 1 Şubat 1944 Bolu-Gerede depreminin eşşiddet haritası (Ergin ve diğ., 1967'den değiştirilerek).

1 Şubat tarihini takip eden yakın zamanlarda meydana gelen artçı sarsıntılar ile can ve mal kaybı olmuştur. 10 Şubat 1944'de Bolu-Düzce arasında yıkıcı bir deprem meydana gelmiş; 15 Şubat 1944'de diğer bir deprem Düzce'de 80 kişinin ölümüne ve 3000 evin yıkılmasına sebep olmuş; 11 Mart 1944'de güçlü bir artçı deprem Gerede'de 700 can kaybı ve 5000 evin yıkılmasına sebep olmuş; 5 Nisan 1944'de meydana gelen bir deprem 1944 Bolu depremi ile ilgili fayın en batı kesimi olan Akyokuş-Mudurnu arasında 30 ölüm ve 900'den fazla evin yıkılması ile sonuçlanmıştır (Ambraseys ve Zapotek, 1969, Eyidoğan ve diğ., 1991).

1944-45 arasında devam eden artçılarla batı kesimlerde hasarlar devam etmiştir (Ambraseys ve Zapotek, 1969; Eyidoğan ve diğ., 1991). 21 Kasım 1952'de meydana gelen bir deprem ile Arifiye'de maddi hasar meydana gelmiştir (Ambraseys ve Zapotek, 1969; Eyidoğan ve diğ., 1991)

2.2.4 26 Mayıs 1957 Abant depremi

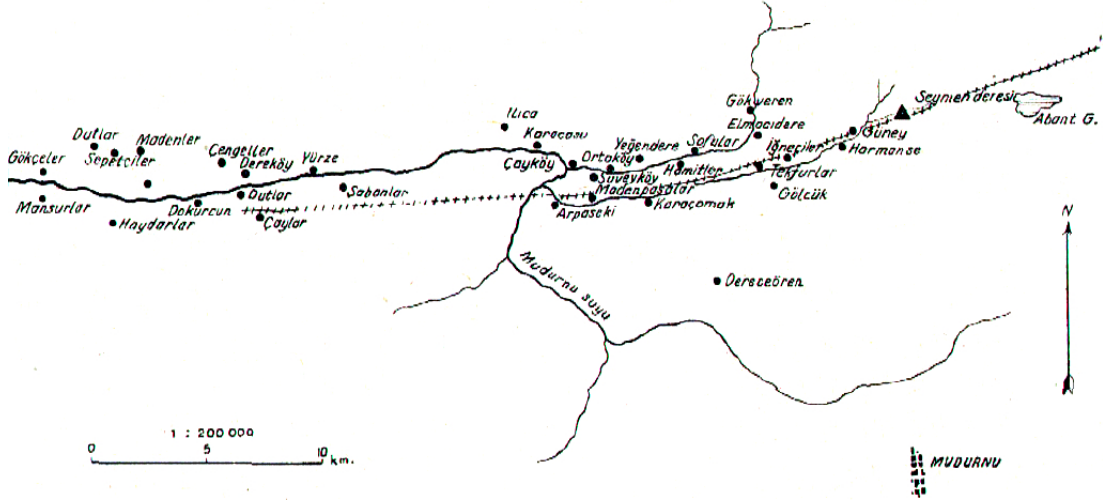
26 Mayıs 1957 Pazar günü sabah 06:34 'de, 1944 depremi yüzey kırığının batısında, Abant Gölü-Dokurcun arasında 40 km'lik bir yüzey kırığı oluşturan 7,1 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir (Öcal, 1959; Ambraseys ve Zapotek, 1969). Deprem nedeniyle 52 kişi yaşamını yitirmiş, 5200 binada hasar oluşmuştur (KRDAE).

KRDAE kayıtlarına göre ilk 24 saatte birkaç yüz artçı sarsıntı olmuştur. Bunlardan biri saat 08:54'de meydana gelen 5,6 büyüklüğünde bir deprem; diğeri ise, saat 09:36'da meydana gelen 6,0 büyüklüğünde bir depremdir. 4 ay boyunca KRDAE tarafından 2000'den fazla artçı sarsıntı kaydedilmiştir. 21 Eylül 1957'de saat 20:16'da 5,7 büyüklüğünde bir deprem daha kaydedilmiştir (Ambraseys ve Zapotek, 1969).

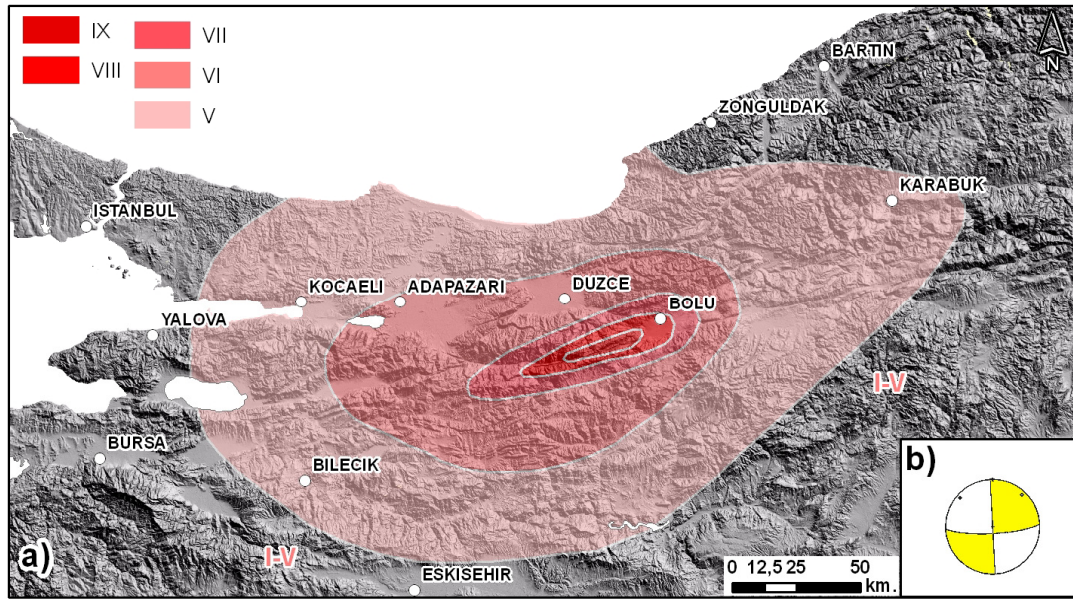
26 Mayıs 1957 Abant depremin fay düzlem çözümü McKenzie (1972) tarafından yapılmış ve sağ yönlü doğrultu atım hareketi belirlenmiştir. (Şekil 2.23)

1957 depremi sonucu, 1944 Bolu-Gerede depreminin yüzey kırığının en batı ucundan itibaren Dokurcun civarına kadar 40 km'lik yüzey kırığı gelişmiştir (Öcal, 1959) (Şekil 2.22). Ketin (1969) 1957 depremi ile oluşan yüzey kırığı üzerinde 1,6 m sağ-yanal, 0,4 m düşey yer değiştirme ölçmüştür. Dereceviran köyünde, 1944 Bolu depreminde oluşan yüzey kırığı üzerinde 1957 depreminde tekrar bir açılma olduğu bildirilmiştir (Öcal, 1959).

Hendek-Adapazarı arasında 23 Kasım 1958, 27 Mart 1961 ve 9 Haziran 1961 tarihlerinde tekrar sarsıntılar hissedilmiştir (Ambraseys ve Zapotek, 1969).



Şekil 2.22 : Ocal (1959) tarafından haritalanan 26 Mayıs 1957 Abant depreminin yüzey kırığı (Öcal, 1959'dan alınmıştır).



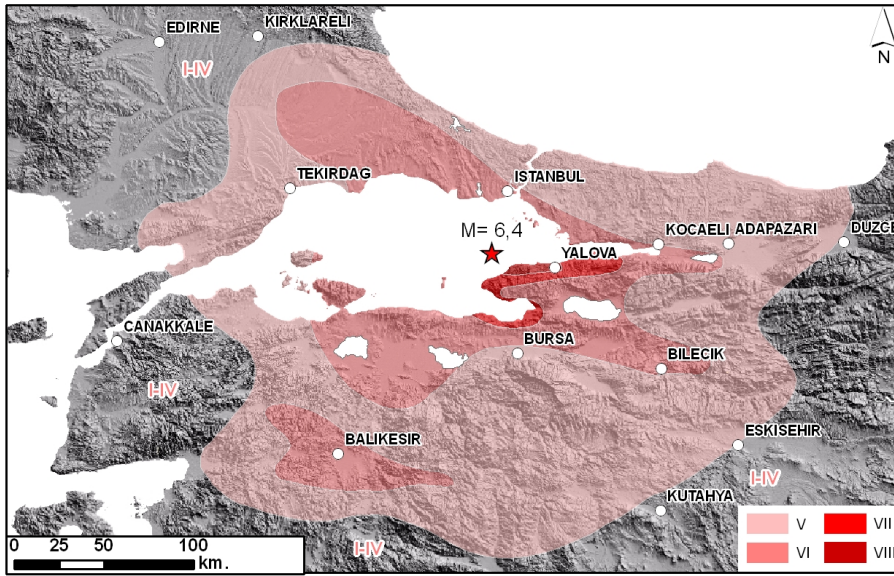
Şekil 2.23 : a) 26 Mayıs 1957 Abant depreminin eşsiddet haritası (Ergin ve diğ., 1961'den değiştirilerek). b) 26 Mayıs 1957 Abant depreminin McKenzie (1972) tarafından yapılan fay düzlem çözümü (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı: 87/78/180).

2.3 Aletsel Dönem Depremleri

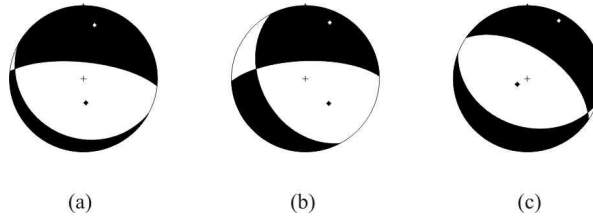
Aletsel dönemde (1960-1999 tarihleri arası) bölgede beş ayrı yıkıcı ve hasar yapıcı deprem ve bu depremlerin artçı sarsıntıları meydana gelmiştir.

2.3.1 18 Eylül 1963 Doğu Marmara (Çınarcık) depremi

En fazla Yalova, Çınarcık ve civarlarında yıkıcı etkiler yapan deprem Armutlu, Mudanya ve gemlik'te de şiddetli olarak hissedilmiş, İstanbul ve Bursa'da hafif hasar meydana gelmiştir (Özçiçek, 1964). Ambraseys ve Jackson (2000) depremin merkez üssünü Armutlu kuzeyinde konumlandırmış ve büyüklüğünü (M_s) 6,4 olarak hesaplamıştır (Şekil 2.24). Depremin fay düzlem çözümlerinde normal faylanma baskındır (McKenzie, 1972; Jackson ve McKenzie, 1984; Eyidoğan ve diğ., 1991; Taymaz ve diğ., 1991) (Şekil 2.25).



Şekil 2.24 : 18 Eylül 1963 Doğu Marmara depreminin eşşiddet haritası (Özçiçek, 1964'den değiştirilerek).



Şekil 2.25 : 18 Eylül 1963 Doğu Marmara depreminin fay düzlem çözümleri. a) McKenzie (1972) tarafından yapılan fay düzlem çözümü (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı: 118/20/-69) b) Jackson ve McKenzie (1984) tarafından yapılan fay düzlem çözümü (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı: 268/70/-125). c) Taymaz ve diğ. (1991) tarafından yapılan fay düzlem çözümü (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı: 304/56/-82)

2.3.2 22 Temmuz 1967 Mudurnu Vadisi depremi

22 Temmuz 1967 tarihinde KAF'ın batı kesiminde 7,1 büyüklüğünde meydana gelen deprem sonucunda 86 kişi yaşamını yitirmiş, 332 kişi yaralanmış ve 5000'den fazla yapı hasar görmüştür (Ambraseys ve Zapotek, 1969).

Ambraseys ve Zapotek (1969) yaptıkları detaylı haritalama çalışmasında depremin yüzey kırığını, doğuda Abant gölü'nden batıda Karapürçek (Adapazarı) güneyine kadar sürekli haritalamışlardır. 50 km'lik bu kesimden sonra, yüzey kırığı Sapanca Gölü güneyine doğru kesikli olarak takip edilmiş ve toplam haritalanan uzunluk 80 km.yi bulmuştur (Şekil 2.26). Yazarlar, bu 80 km'lik yüzey kırığının doğudaki 25 km sinin 1957 depremi yüzey kırığı ile çakıştığını, yer yer tamamen aynı noktadan geçtiğini belirtmişlerdir. 1967 depremi yüzey kırığının takip edildiği deformasyon zonunun genişliği 1-3 km arasındadır ve faylanma sonucu meydana gelen maksimum sağ yanal yerdeğiştirme 1.9 m, düşey yer değiştirme ise 1.2 m'dir (Ambraseys ve Zapotek, 1969).

Kalafatçıoğlu (1967) depremden hemen sonra yapmış olduğu arazi gözlemlerinde, Sapanca Gölü-Kuzuluk (Akyazı) arasında Ambraseys ve Zapotek (1969)'dan farklı lokasyonlarda deformasyonlardan bahsetmiştir. Bunlardan en dikkat çekici olanlar ise; Sakarya Nehri üzerindeki köprü civarında K60°D yöneliminde kademeli (*en-echelon*) kırıklar; Aşağıkirazca köyünde yüzlerce metre uzunluğunda kademeli (*en-echelon*) yarıklar ile sıvılaşmalar ve kuzey kesimde 15 cm'lik düşme kaydedilmiş olmasıdır.

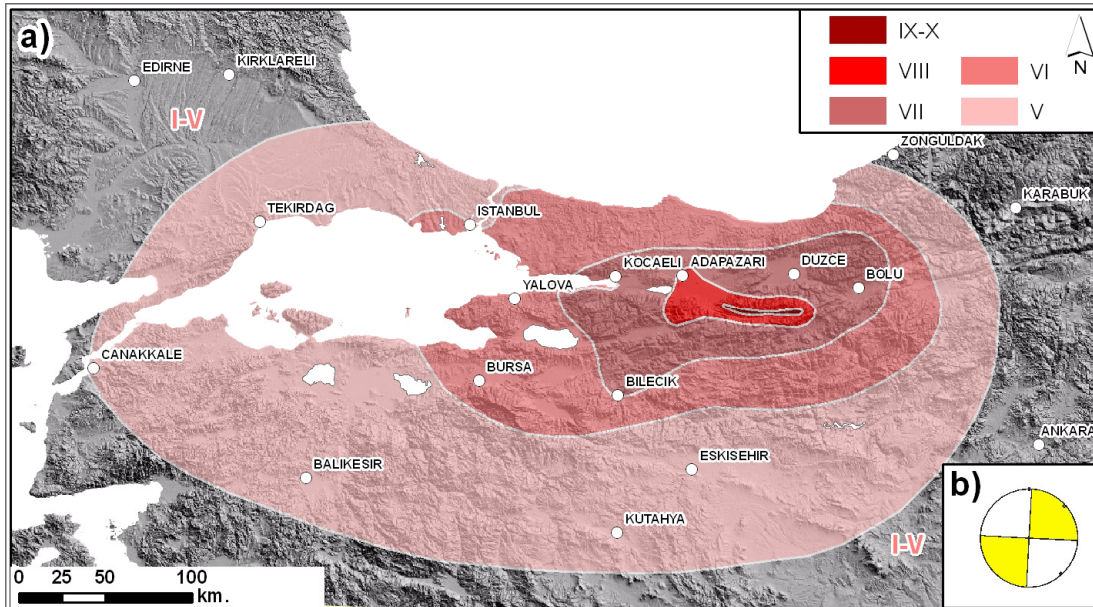
Ikeda ve diğ. (1991) Akyazı'nın 12 km güneydoğusunda, Çakaloğlu civarında, 1967 depremi yüzey kırığı üzerinde hendek çalışması yaptıkları lokasyonda 1967 depremi faylanmasıyla tek seferde oluşan, 50-100 cm arasında değişen düşey yer değiştirmeler ölçmüşlerdir.

Ergin ve diğ. (1971) deprem sonrası eşşiddet haritası hazırlamıştır (Şekil 2.27a).

Depremin fay düzlem çözümü McKenzie (1972) tarafından yapılmış ve sağ yönlü doğrultu atım hareketi belirlenmiştir (Şekil 2.27b).



Şekil 2.26 : 22 Temmuz 1967 Mudurnu Vadisi depremi sonucunda oluşan yüzey kırığı (yüzey kırığı Ambraseys ve Zapotek 1969'dan sayısallaştırılmıştır).



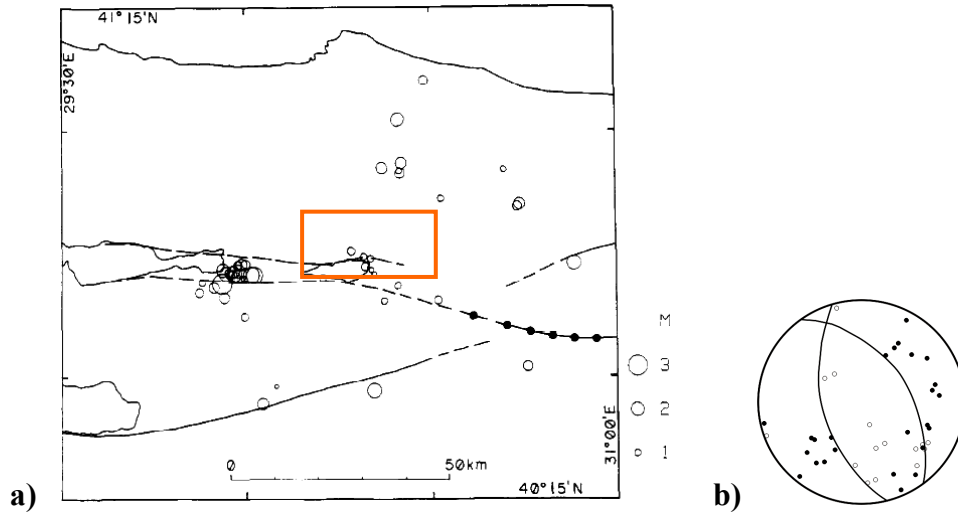
Şekil 2.27 : a) 22 Temmuz 1967 Mudurnu Vadisi depreminin eşiddet haritası (Ergin ve diğ., 1971'den değiştirilerek). b) 22 Temmuz 1967 Mudurnu Vadisi depreminin McKenzie (1972) tarafından odak mekanizması çözümü. (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı:93/90/180)

1967 deprem etkinliğinin ardından bölgedeki mikro deprem aktivitesi farklı araştırmacılar tarafından gözlenmiştir. Uz (1969) depremin artçı sarsıntılarının tümünün episantrın batısında kaldığını ve doğuda Dokurcun, batıda İzmit, kuzeyde Kandıra, güneyde ise Bilecik olmak üzere geniş bir alana yayıldığını belirtmiştir. Yazar; büyüklüğü 4 ve daha büyük olan artçı deprem lokasyonlarının, Adapazarı ile Akyaşı arasında, ana şokun güneyinde olmak üzere Dokurcun vadisinin batı ucunda toplandığını belirtmiştir. Cramplin ve diğ. (1985) bölgede KAF'nın kuzey ve güney

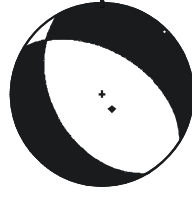
kollarını görecekle şekilde sismik bir ağı kurmuş ve kuzey kol üzerinde mikrosismik aktivitesinin yoğun olduğunu belirtmişlerdir. Iio ve diğ. (1991) hem kuzey hem güney kol üzerindeki mikro deprem aktivitesini belirleyebilmek amacıyla bölgede 9 sismoloji istasyonu kurmuş, bölgede 16 Temmuz-30 Eylül 1988 tarihleri arasında meydana gelen depremleri kaydetmiştir. Bu çalışma sonucunda depremlerin kuzey kol üzerinde yoğunlaştığı gözlenmiştir (Şekil 2.28a), 1967 depreminin batısındaki alanda izlenen sismik aktiviteden, ağırlıklı olarak normal faylanma mekanizması hesaplanmış ve odak derinliklerinin 5-15 km arasında olduğunu belirtilmiştir (Şekil 2.28b). Şekil 2.28a'daki depremlerin bir sonraki depremin (17 Ağustos 1999) merkez üssünde yoğunlaşmış olması dikkat çekicidir.

Evans ve diğ. (1985) 29.9°D-30.1°D boylamları arasındaki (İzmit-Sapanca Gölü arasında kalan alan) mikro depremlerden yanal atım bileşenli normal faylanma mekanizması çözmüşlerdir.

22 Temmuz-20 Eylül 1967 tarihleri arasında devam eden artçı sarsıntılardan 18 Eylül 1967'de meydana gelen iki artçı deprem Doğançay ve Bağlarbaşı (Geyve'nin 7 km kuzeyi) hasarlı yapıları yıkılmasına sebep olmuştur (Ambraseys ve Zapotek, 1969).



Şekil 2.28 : 1967 depremi artçı şok aktivitesi **a)** 16 Temmuz-30 Eylül 1988 tarihleri arasında Doğu Marmara bölgesinde kurulan 9 sismoloji istasyonu ile izlenen deprem aktivitesi (Iio ve diğ., 1991). **b)** Soldaki şekilde turuncu dikdörtgen içerisinde kalan depremler ile çözülen faylanma mekanizması (Iio ve diğ., 1991).



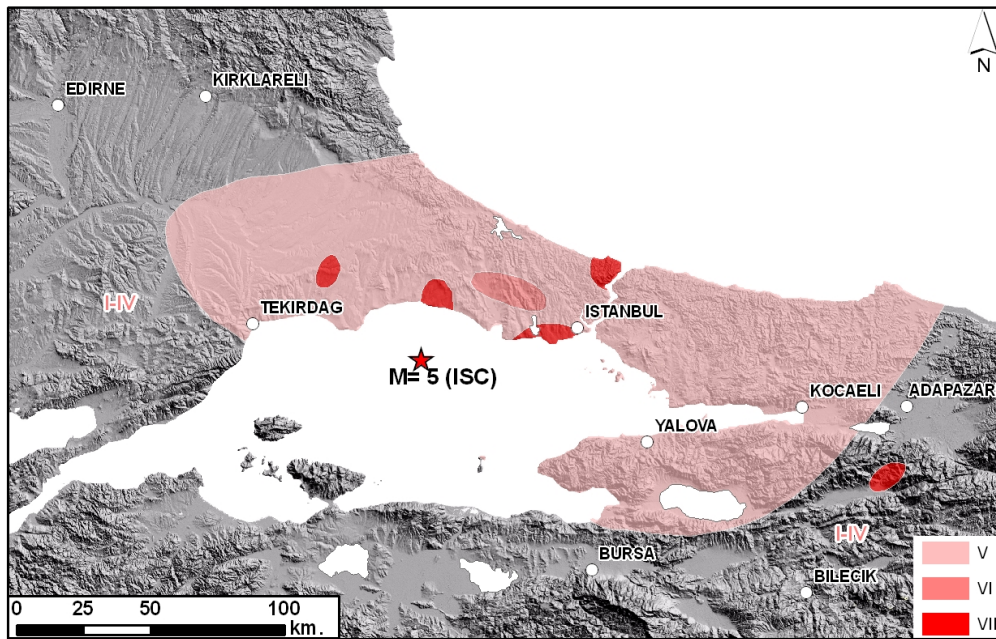
Şekil 2.29 : 30 Temmuz 1967 tarihinde meydana gelen artçı bir şokun fay düzleminin McKenzie (1972) tarafından çözümü (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı: 151/44/-167).

Mudurnu Vadisi depreminden 8 gün sonra, 30 Temmuz 1967 tarihinde saat 01:31'de $M=5,5$ büyüklüğünde meydana gelen bir deprem ile gayriresmi kayıtlara göre bölgede 1000 yapı daha yıkılmış ve bu depremin akabinde $M=5$ büyüklüğünde iki artçı deprem daha meydana gelmiştir (Ambraseys ve Zapotek, 1969).

McKenzie (1972), 1967 depremi batısında 30 Temmuz 1967 tarihinde meydana gelen büyük artçı depremin fay düzlem çözümünü yapmış ve normal faylanma mekanizması çözmüştür (Şekil 2.29).

2.3.3 24 Nisan 1988 Kuzey Marmara Denizi depremi

Marmara Denizi'nde 24 Nisan 1988 günü saat 20:49'da $M=5$ (ISC) büyüklüğünde meydana gelen deprem Çorlu ve Çatalca'da hasar, Zeytinburnu, Bakırköy ve Sarıyer'de cam kırılmaları ve hafif hasar oluşmasına sebebiyet vermiştir (Şekil 2.30) (Eyidoğan ve diğ. 1991).



Şekil 2.30 : 24 Nisan 1988 Kuzey Marmara Denizi depreminin eşşiddet haritası (Eyidoğan ve diğ. 1991).

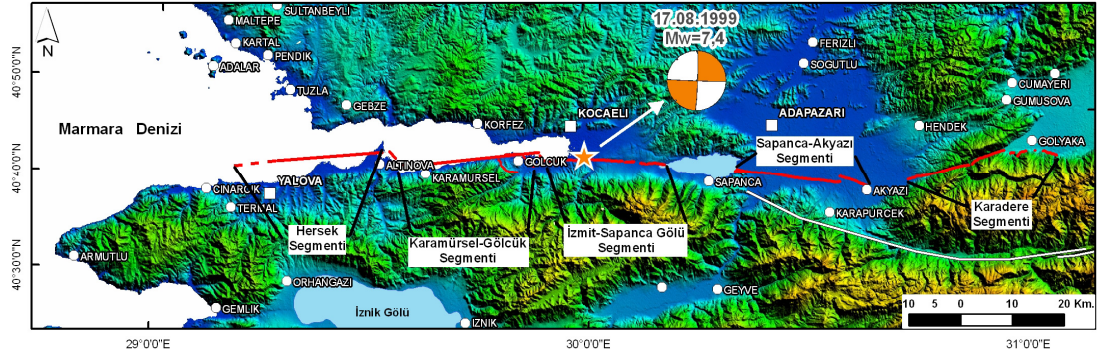
2.3.4 17 Ağustos 1999 İzmit depremi

17 Ağustos 1999 günü yerel saat ile 03:02 de merkez üssü İzmit olan $M_w=7,4$ büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve Başbakanlık Kriz Merkezinin dökümanlarına göre, 17 Ağustos 1999 depremi sebebiyle 6.441 konut ve 10.901 işyeri ağır hasara, 67.242 konut ve 9.927 işyeri orta hasara, 80.160 konut ve 9.712 işyeri hafif hasara uğramıştır (Şekil 2.31). Deprem, 17.479 kişinin yaşam kaybına, 43.953 kişinin ise yaralanmasına neden olmuştur (Özmen, 2000) Bu deprem, insan kaybı açısından değerlendirildiğinde, 1939 yılında oluşan Erzincan depreminden ($M_s=7.8$, yaşam kaybı= 32.962) sonra son yüzyılda meydana gelen ikinci en büyük depremdir.

Odak derinliği 13 km olan (Ergin ve diğ., 2000; Ruff ve McNamara, 2000; Özalaybey ve diğ., 2002) deprem ile İzmit Körfezi ve Gölyaka (Düzce) arasında yaklaşık 150 km uzunluğunda bir yüzey kırığı oluşmuştur (Şekil 2.32) (Barka ve diğ., 2002). Bu kırık değişik araştırmacılar ve kurumlar tarafından haritalanmış ve farklı segmentler tanımlanıp adlanmıştır (Örn: Barka ve diğ., 2002; Langridge ve diğ., 2002; Hartleb ve diğ., 2002; Lettis ve diğ., 2002; Emre ve diğ., 2003a). Barka ve diğ. (2002) 5 farklı segment tanımlayıp adlamıştır. Bu segmentler, batıdan doğuya doğru; Hersek, Karamürsel-Gölcük, İzmit-Sapanca, Sapanca-Akyazı ve Karadere segmentleridir. Segmentler arasında, sağa sıçramalar nedeniyle farklı ölçeklerde çek-ayır havzaları gelişmiştir. Karadere segmenti dışındaki segmentlerin konumu yaklaşık doğu-batı yönlü, Karadere segmenti ise $K60^{\circ}-70^{\circ}D$ konumludur (Barka ve diğ., 2002).

İzmit depreminin hemen sonrasında yapılan artçı deprem, GPS, inSAR (Sentetik Açıklık Radar İnterferometrisi) çalışmaları deprem ile meydana gelen kırılmanın Hersek deltası batısında da devam ettiğini göstermiştir (Armijo ve diğ., 2000; Delouis ve diğ., 2000; Ergin ve diğ., 2000; Eyidoğan ve diğ., 2000; Horasan ve diğ., 2000; Lettis ve diğ., 2000; Özel ve diğ., 2000, Pınar ve diğ., 2000; Woith ve diğ., 2000; Wright ve diğ., 2000). Bazı araştırmacılar kırılmanın Adalar'ın doğusuna kadar meydana geldiği, bazı araştırmacılar ise kırılmanın Yalova açıklarına kadar uzandığı görüşündedir.

İzmit depreminin sebep olduğu yüzeydeki en yüksek ötelenme değeri 5.2 m ile Sapanca gölü doğusunda ölçülmüştür. Delouis ve diğ. (2002) SAR, GPS, sismolojik



Şekil 2.32 : 17 Ağustos 1999 İzmit depreminin yüzey kırığı ve tanımlanan segmentler (Barka ve diğ., 2002)

Bu tez çalışması, 1999 İzmit depremi sonucunda yüzey kırığı gelişen segmentlerden İzmit-Sapanca, Sapanca-Akyazı ve Karadere segmentlerini kapsamaktadır. Bu segmentler tez çalışması kapsamında tekrar incelenmiş, halen korunmuş olan lokasyonlarda elektronik teodolit ile ötelenmeler ölçülmüş ve önceki çalışmaların sonuçlarına eklenmiştir. Aşağıda, 1999 İzmit depremi sonucu yüzey kırığı gelişen segmentler batıdan doğuya doğru anlatılacaktır.

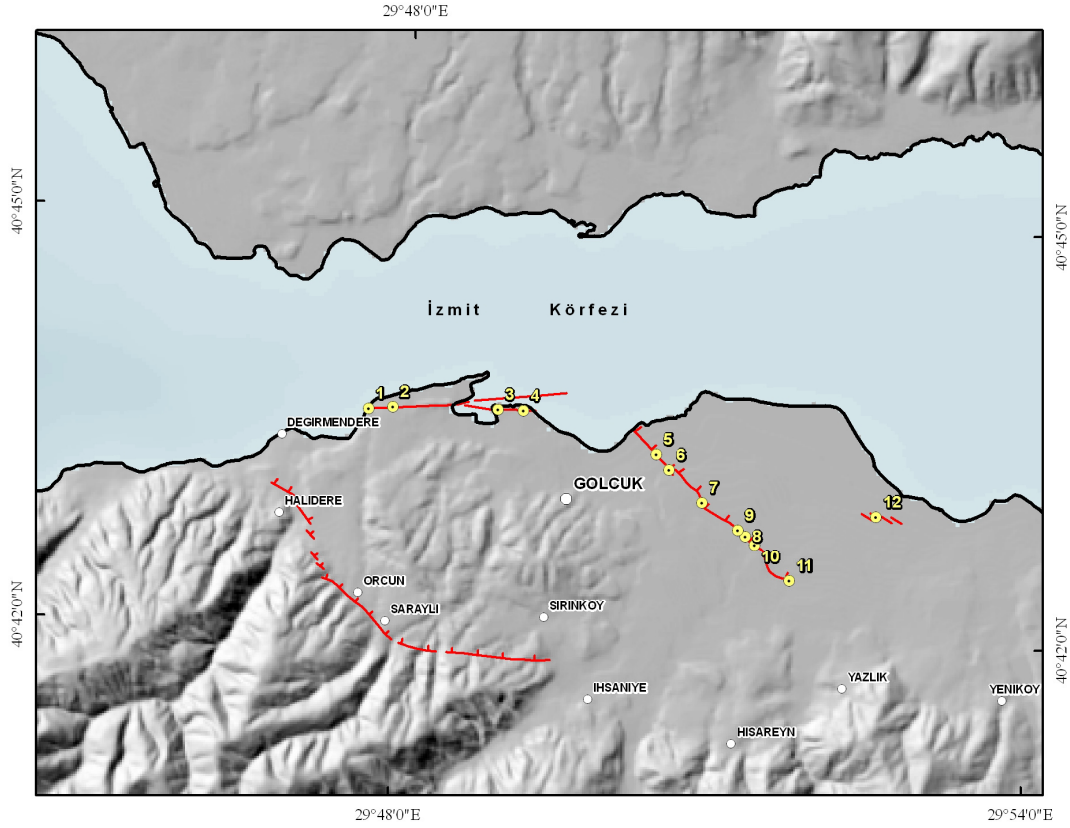
2.3.4.1 Hersek segmenti

Hersek segmenti, Armijo ve diğ. (2000) ve Wright ve diğ. (2000) tarafından batıda Yalova ili kuzeyinden doğuda Hersek deltasına K80°D yönelimiyle devam eden bir segment olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.33). Deprem sonrasında yapılan artçı deprem kayıtları bu segmentin Yalova batısına doğru uzandığını göstermiştir (Ito ve diğ., 2002; Karabulut ve diğ., 2002; Özalaybey ve diğ., 2002). Çakır ve diğ. (2003a) inSAR verileri ile yaptıkları çalışma sonucunda, bu segmentin Hersek yarımadasının 30 km batısına kadar devam ettiğini ve batıya doğru kayma değerlerinin 2 m'den sıfıra doğru azaldığını belirtmişlerdir.

2.3.4.2 Karamürsel-Gölcük segmenti

Karamürsel-Gölcük segmenti Karamürsel-Değirmendere arasında ve yaklaşık 20 km uzunluğundadır. Segment karada sadece 2 km ve D-B gidişli olarak görülür. Segmentin batı devamı denizin altında kalır. Doğu devamında ise İzmit-Sapanca Gölü segmentinin sağa sıçrayarak devam etmesi ile oluşan bir normal faylanma görülür. KB-GD gidişli bu kırık karada 4 km boyunca izlenir. Karamürsel-Gölcük segmentinde maksimum yer değiştirme 4.7 m olarak ölçülmüştür. Normal fay üzerindeki maksimum düşey yer değiştirme ise 2.05 m'dir. Normal fayın, 8 km

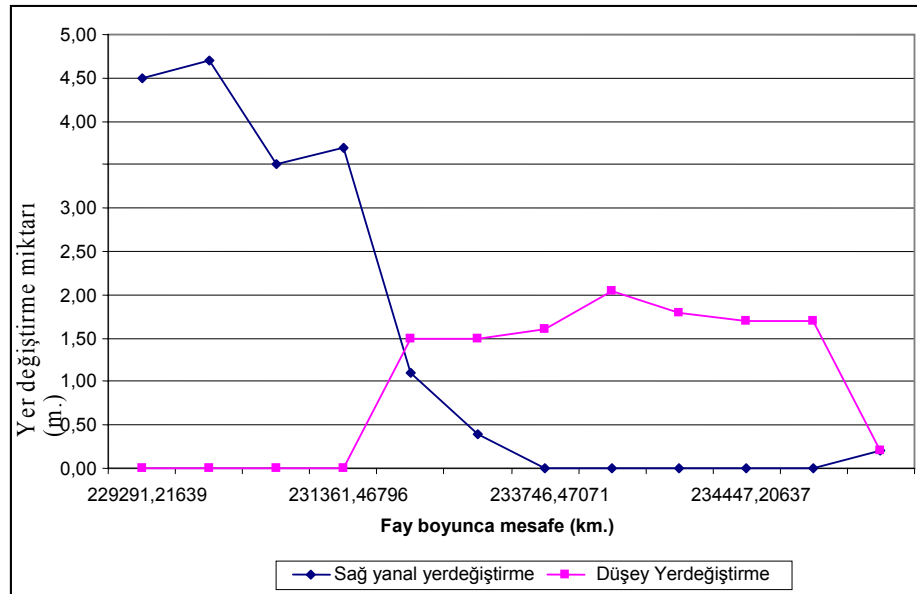
batısında benzer konumlu bir diğer normal fay gelişmiştir. Bu fay üzerindeki maksimum düşey yerdeğiştirme ise 20 cm'dir. (Çizelge 2.1, Şekil 2.33, 2.34).



Şekil 2.33 : Karamürsel-Gölcük segmenti yüzey kırığı ve yer değiştirme ölçülen noktalar (Barka ve diğ. 2002'den değiştirilerek) (Ölçüm değerleri için Çizelge 2.1'e bakınız).

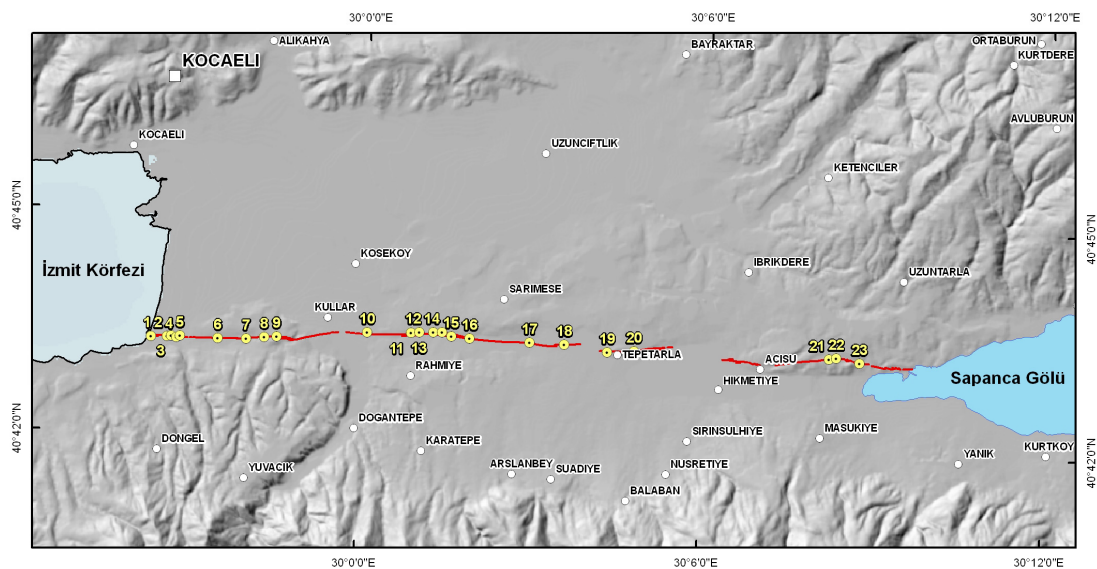
Çizelge 2.1 : Karamürsel-Gölcük segmenti üzerinde 1999 İzmit depremi sonrasında ölçülen yerdeğiştirme değerleri (Barka ve diğ., 2002) (Konumlar için Şekil 2.33'e bakınız).

Lokasyon No	Koordinatlar (UTM-ED50)		Yerdeğiştirme (m)		Açıklama	
	lon	lat	Sağ yanal	Düşey	Ötelenen nesne	Ölçüm tipi
1	229291	4513407	4,5	0	Mendirek	
2	229612	4513427	4,7	0	Beton duvar	Teodolit
3	231018	4513389	3,5	0	İskele	DGPS
4	231361	4513374	3,7	0	Dere yatağı	DGPS
5	233140	4512784	1,1	1,5	Beton duvar	DGPS
6	233308	4512578	0,4	1,5	Beton duvar	DGPS
7	233746	4512140	0	1,6	çimen sınırı	Şerit metre
8	234325	4511679	0	2,05	çimen sınırı	DGPS
9	234230	4511767	0	1,8	çimen sınırı	DGPS
10	234447	4511569	0	1,7	yol	DGPS
11	234911	4511081	0	1,7	yol	DGPS
12	236072	4511948	0,2	0,2	çimen sınırı	Şerit metre



2.3.4.3 İzmit-Sapanca Gölü segmenti

İzmit-Sapanca Gölü segmenti, İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü batısı arasında yaklaşık D-B uzanır ve toplam uzunluğu, 19 km'si karada olmak üzere yaklaşık 25 km'dir (Şekil 2.35). Tepetarla doğusu ve batısında sağa sıçramalar yaparak Sapanca Gölü kuzeybatısından göle girer. Segment üzerinde ölçülen maksimum sağ yanal yer değiştirme 3 m, ortalama yer değiştirme ise 2.1 m'dir (Çizelge 2.2, Şekil 2.35, ve 2.36).

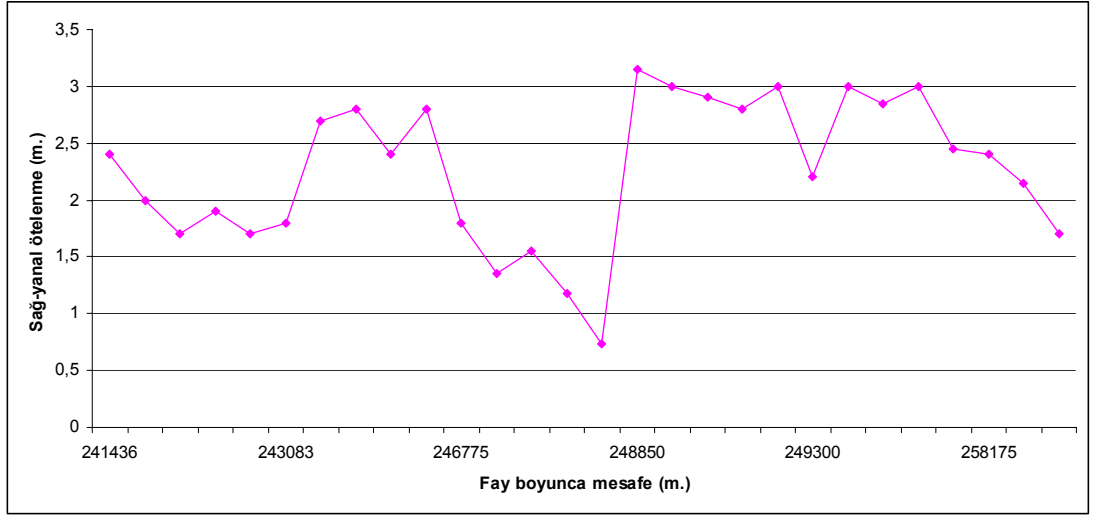


1999 İzmit depremi ile İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde oluşan ötelenme değerleri ve ölçüm bilgileri Çizelge 2.2’de sunulmuş, ölçüm yapılan lokasyonlar harita (Şekil 2.35) üzerinde gösterilmiş ve bu değerler Şekil 2.36’da grafik halde sunulmuştur. Tez çalışması kapsamında ölçülen ötelenme değerleri lokasyon numarası başlık olarak kullanılıp aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.37-2.39).

Çizelge 2.2 : İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde yer değiştirme değerleri (Barka ve diğ., 2002 ve Rockwell ve diğ., 2002 ile birleştirilerek).

Lokasyon No	Koordinatlar (UTM-ED50, 36Z)		Yerdeğiştirme (m)	Açıklama	
	Lon.	Lat.		Ötelenen nesne	Ölçüm tipi
1	241436	4512442	2,4	Elektrik direkleri	Şerit metre
2	241826	4512440	2	Toprak yol	Şerit metre
3	241936	4512455	1,7	Bahçe çiti	Şerit metre
4*	242056	4512417	1,9	Beton duvar	Şerit metre
5	242142	4512453	1,7	Tarla kenarı	Şerit metre
6	243082	4512389	1,8	Tarla kenarı	Şerit metre
7	243779	4512373	2,7	Asfalt yol	Şerit metre
8a*	244150	4512382	2,8	Beton duvar	Teodolit
8b*	244232	4512407	2,4	Beton duvar	Teodolit
9	244534	4512425	2,8	Bahçe çiti	Teodolit
10	246775	4512530	1,8	Tarla kenarı	Şerit metre
11	247850	4512515	1,35	Bahçe çiti	Şerit metre
12	248060	4512525	1,55	-	Şerit metre
13	248400	4512525	1,18	Tarla kenarı	Şerit metre
14	248625	4512525	0,73	Toprak yol	Şerit metre
15a*	248850	4512425	3,15	Ağaç sırası	Teodolit
15b*	248850	4512425	3	Ağaç sırası	Teodolit
15c*	248850	4512425	2,9	Ağaç sırası	Teodolit
15d*	248850	4512425	2,8	Ağaç sırası	Teodolit
15e*	248850	4512425	3	Ağaç sırası	Teodolit
16	249300	4512370	2,2	Ağaç sırası	Teodolit
17	250775	4512270	3	Bahçe çiti	Teodolit
18	251630	4512220	2,85	Tarla kenarı	Şerit metre
19	252690	4512035	3	Tren rayları	Teodolit
20	253355	4512050	2,45	Beton duvar	Şerit metre
21	258175	4511850	2,4	Elektrik direkleri	Şerit metre
22	258350	4511875	2,15	Tarla kenarı	Şerit metre
23	258925	4511750	1,7	Ağaç sırası	Şerit metre

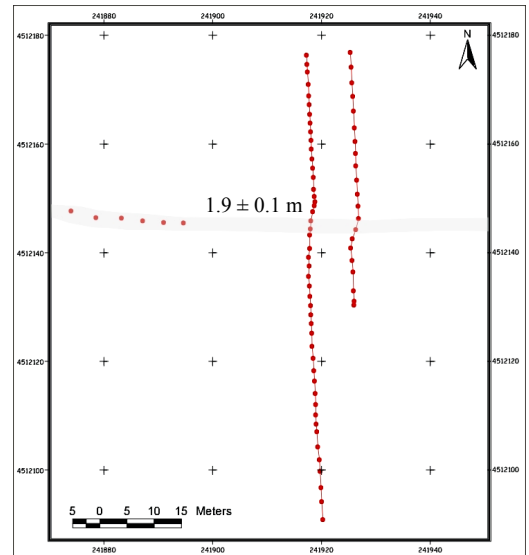
* Bu çalışmada ölçülen yer değiştirme değerleri



Şekil 2.36 : İzmit-Sapanca Gölü segmentinde 1999 Ağustos depremi ile oluşmuş sağ-yanal yer değiştirme dağılımı.

Lokasyon-4:

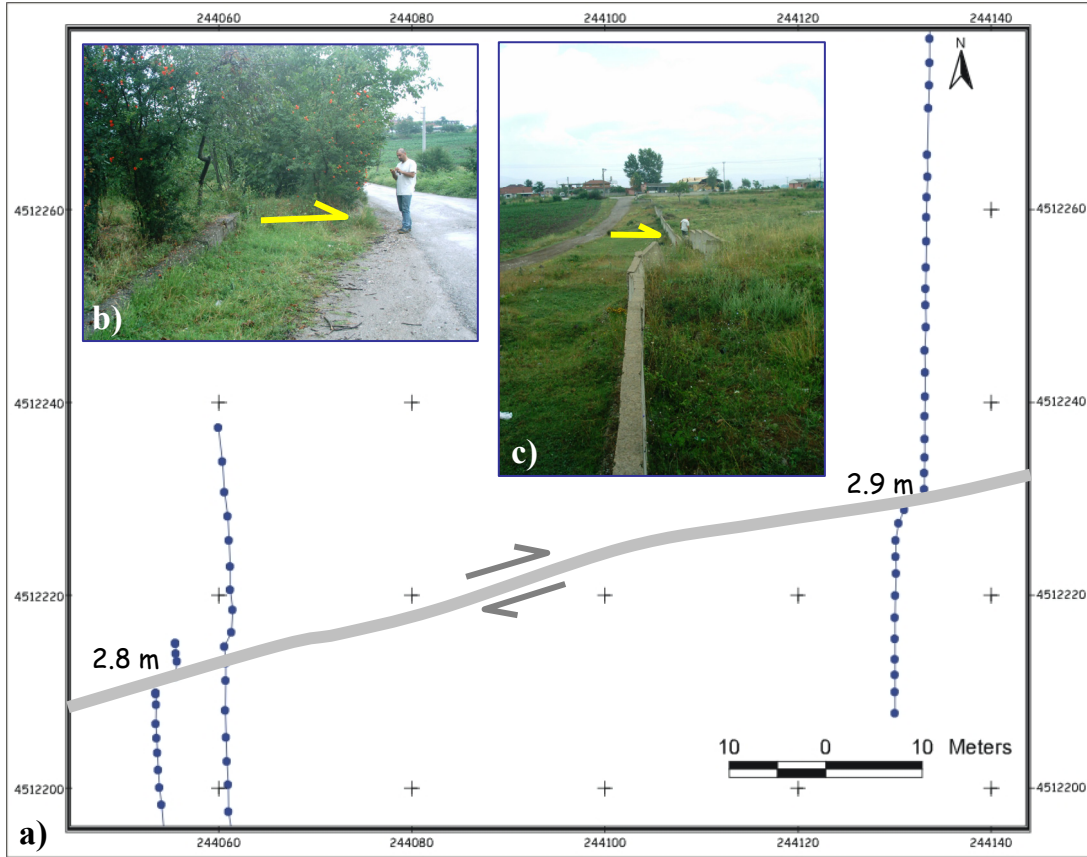
İzmit körfezinin 725 m doğusunda yüzey kırığı iki kol halinde izlenir ve bir su kanalını sağ-yanal öteler. Kanal kenarı elektronik teodolit ile haritalanmış ve 1.9 m sağ-yanal yer değiştirme ölçülmüştür (Şekil 2.37). Yaklaşık 50 m güneyinden geçen diğer kol üzerindeki yer değiştirme değeri bu kesimde kanal kenarı tamir edildiği için ölçülememiştir.



Şekil 2.37 : İzmit körfezi doğusunda bir su kanalında 1999 İzmit depremi ile oluşan sağ-yanal ötelenme ve kanal kenarının haritası (fotoğrafın bakış yönü kuzeydir).

Lokasyon-8a ve 8b:

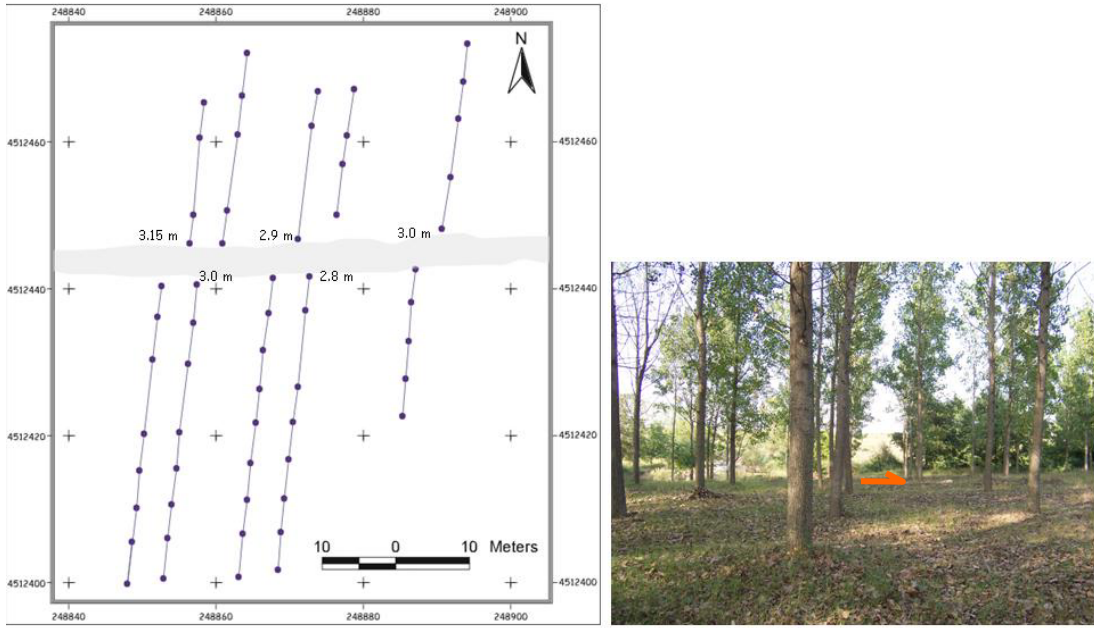
İzmit körfezinin yaklaşık 3 km doğusunda, Yaylacık köyünde, bir bahçe duvarı ve 1999 İzmit depremi ile içinde bulunan apartmanların tamamının yıkıldığı bir sitenin duvarında sağ-yanal ötelenme meydana gelmiştir. Ötelenmiş yapıların elektronik teodolit ile haritalanması sonucunda, bahçe duvarında 2,8 m, yaklaşık 80 m doğusunda bulunan site duvarında ise 2,9 m sağ-yanal yer değiştirme ölçülmüştür (Şekil 2.38).



Şekil 2.38 : İzmit körfezinin 3 km doğusunda, Yaylacık köyünde izlenen ötelenmiş yapılar. **a)** Lokasyon 8a ve 8b'de ötelenen yapıların haritası. **b)** Lokasyon 8a'da bahçe duvarında izlenen sağ-yanal ötelenme (bakış kuzeydir). **c)** Lokasyon 8b'de izlenen duvar ötelenmesi (bakış kuzeydir).

Lokasyon-15:

Sarımeşe köyü güneybatısında yüzey kırığı bir kavaklık içerisinde geçer ve kavak ağacı sıralarında sağ-yanal ötelenmeler meydana getirmiştir. Lokasyonda beş ağaç sırası haritalanmış ve 2,9 ile 3,15 m arasında değişen sağ-yanal yer değiştirmeler ölçülmüştür (Şekil 2.39).



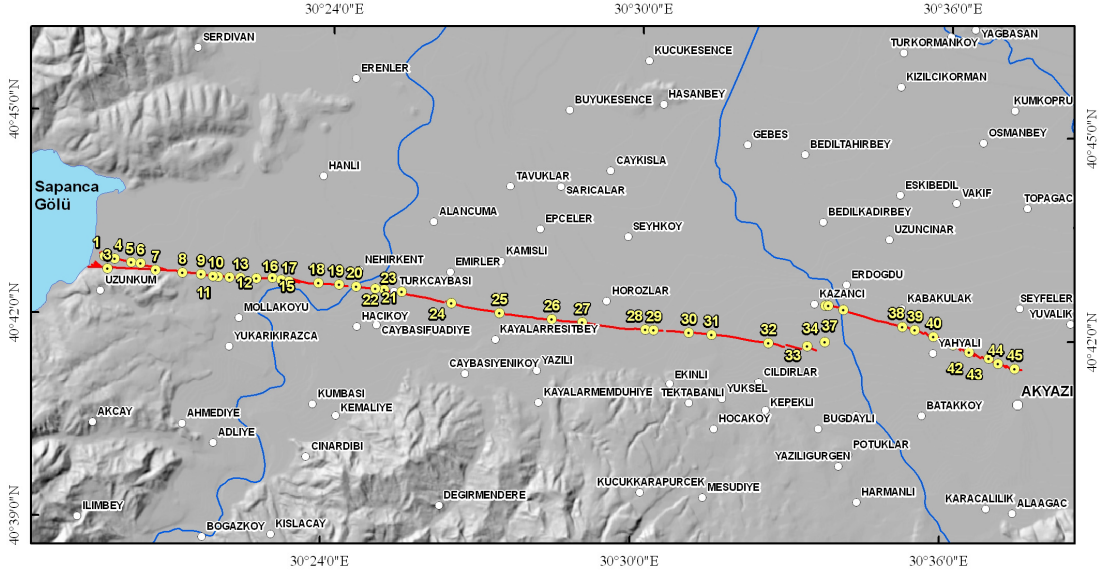
Şekil 2.39 : Lokasyon 15’de 1999 İzmit depremi yüzey kırığı sonucu ötelenen kavak ağaçları sıralarının haritası ve yer değiştirme miktarları (fotoğrafın bakış yönü kuzeydir).

2.3.4.4 Sapanca-Akyazı segmenti

Sapanca-Akyazı segmenti Sapanca Gölü’nün güneydoğu kenarından yaklaşık K75°-80°B uzanımıyla doğuya doğru takip edilir. Akyazı (Adapazarı) batısında sola sıçrama yapar ve oldukça düşük ötelenme değerleriyle kademeli olarak Akyazı kuzeyinde sonlanır (Langridge ve diğ., 2002) (Şekil 2.40). Segmentin toplam uzunluğu yaklaşık 25 km’dir ve segment üzerindeki en yüksek ötelenme değeri Arifiye ilçesinde, kavak ağaçlarındaki yer değiştirmelerden 5.1 m olarak ölçülmüştür (Barka ve diğ., 2002, Langridge ve diğ., 2002). Bu değer 17 Ağustos 1999 İzmit depreminde meydana gelen en yüksek yer değiştirmedir. Segment üzerinde 80 cm’yi bulan düşey ötelenmeler de gözlenmiştir.

1999 İzmit depremi ile segment üzerinde oluşan ötelenme değerleri Çizelge 2.3’de sunulmuş, ölçüm lokasyonları harita (Şekil 2.40) üzerinde gösterilmiş ve bu değerler Şekil 2.48’de grafik olarak sunulmuştur.

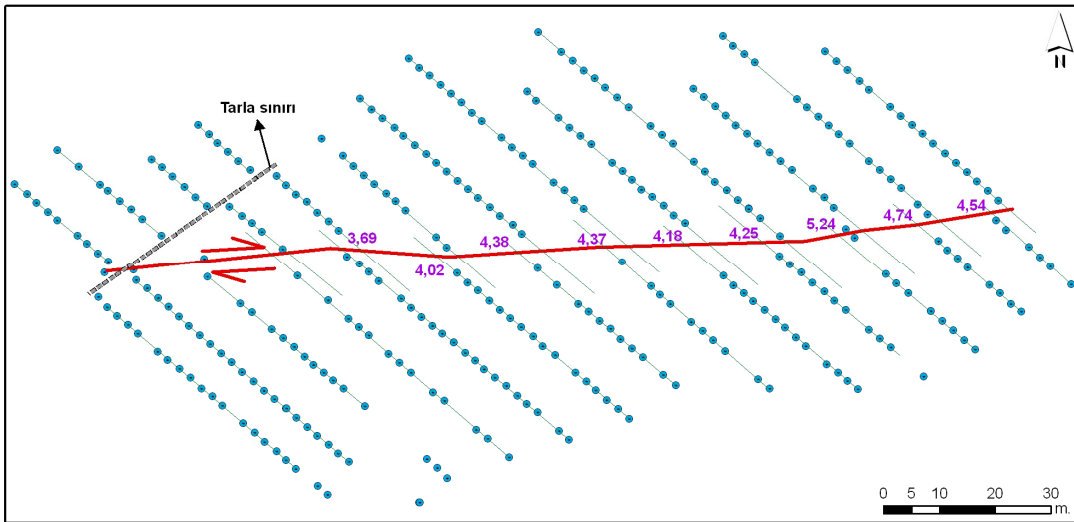
Bu çalışma esnasında, 2004 yılı yaz aylarında, 1999 depremi ile oluşmuş ve halen korunmuş olan ötelenmiş 7 adet unsur (yol, ağaç sırası, bahçe çiti vb.) elektronik mesafe ölçer ile haritalanmış ve ötelenme değerleri belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamında ölçülen ötelenme değerleri Çizelge 2.3’e eklenmiş ve lokasyon numarası başlık olarak kullanılıp aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 2.40 : Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde 1999 İzmit depremi ile oluşmuş yer değiştirme ölçüm noktaları (Langridge ve diğ., 2002'den değiştirilerek).

Lokasyon-11:

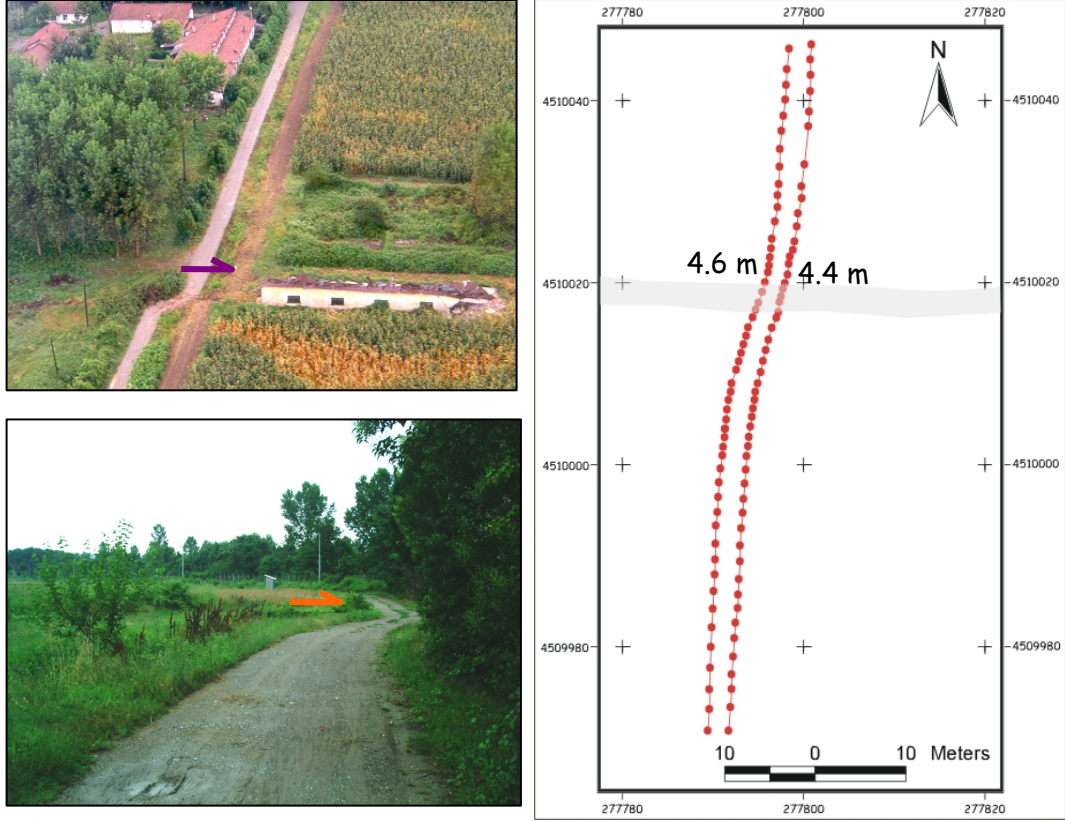
Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde en yüksek sağ-yanal ötelenme değeri Arifiye ilçesindeki bir kavaklıkta, kavak ağaçlarının yer değiştirmesinden ölçülmüştür (Langridge ve diğ., 2002; Rockwell ve diğ., 2002). Bu ağaç sıraları elektronik teodolit ile tekrar haritalanmış ve her bir ağaç sırasındaki yer değiştirme değeri ölçülmüştür. En yüksek sağ-yanal yer değiştirme, doğudan 3. ağaç sırasında 5.24 m'dir (Şekil 2.41).



Şekil 2.41 : Arifiye ilçesindeki kavak ağaçları sıralarının 1999 İzmit depremi yüzey kırığı sonucu ötelenme miktarları ve yüzey kırığı.

Lokasyon-12:

Arifiye doğusunda ötelenen toprak bir yolda ortalama 4.5 m sağ-yanal ötelenme ölçülmüştür (Şekil 2.42).



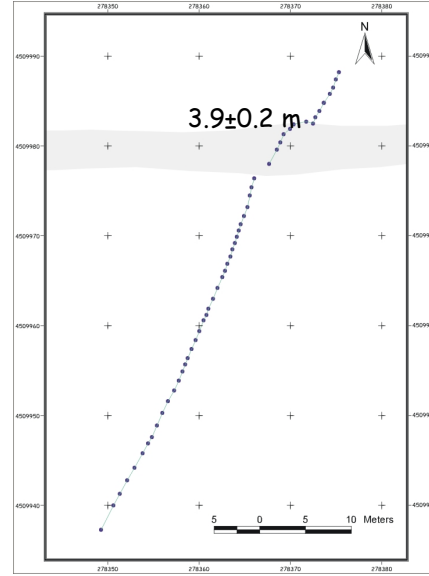
Şekil 2.42 : 2 numaralı lokasyonda ötelen toprak yol ve haritası (Sol üstteki fotoğraf Prof. Dr. Aykut Barka tarafından depremden kısa bir süre sonra çekilmiştir. Sol alttaki fotoğrafta bakış yönü güneyedir).

Lokasyon-14:

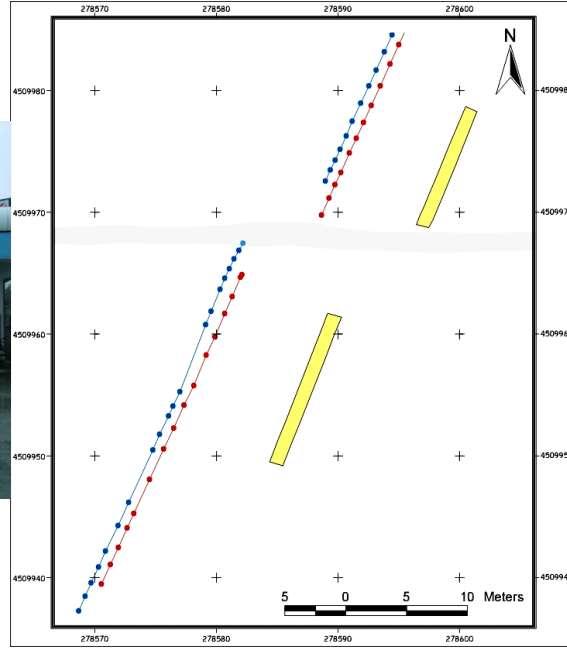
Sakarya nehri batısında Arbaş Ağaç Kaplama fabrikası kenarında 1999 İzmit depremi ile ötelenen yolda aletli haritalama sonucunda 3.9 m sağ-yanal ötelenme ölçülmüştür (Şekil 2.43).

Lokasyon-15:

Sakarya nehri batısında bir benzin istasyonunda, 1999 İzmit depremi sonucunda ötelenen benzin pompaları ve benzin istasyonunun kaldırım kenarı haritalanmış, kaldırım kenarında 4.3 m, benzin pompalarında ise 4.43 m sağ-yanal ötelenme ölçülmüştür (Şekil 2.44).



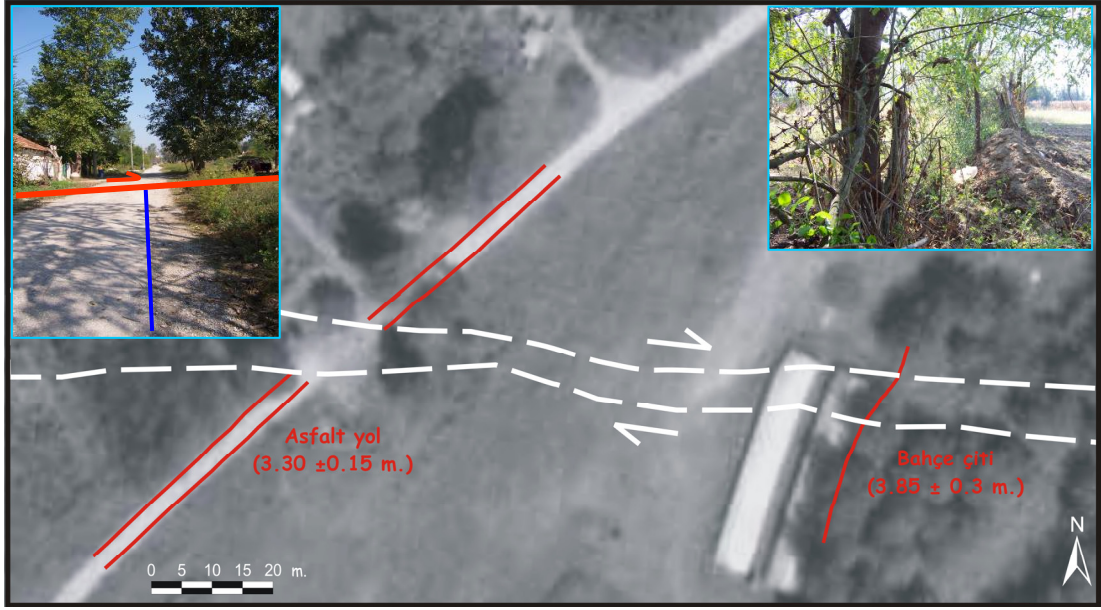
Şekil 2.43 : 3 numaralı lokasyonda ötelenen asfalt yol ve batı kenarının haritası (fotoğrafın bakış yönü güneyedir).



Şekil 2.44 : 4 numaralı lokasyonda ötelenen kaldırım kenarı, benzin pompaları ve haritası (Mavi kırmızı nokta ve çizgiler kaldırım, sarı dikdörtgenler benzin pompalarını gösterir, fotoğrafın bakış yönü kuzeydir).

Lokasyon-19:

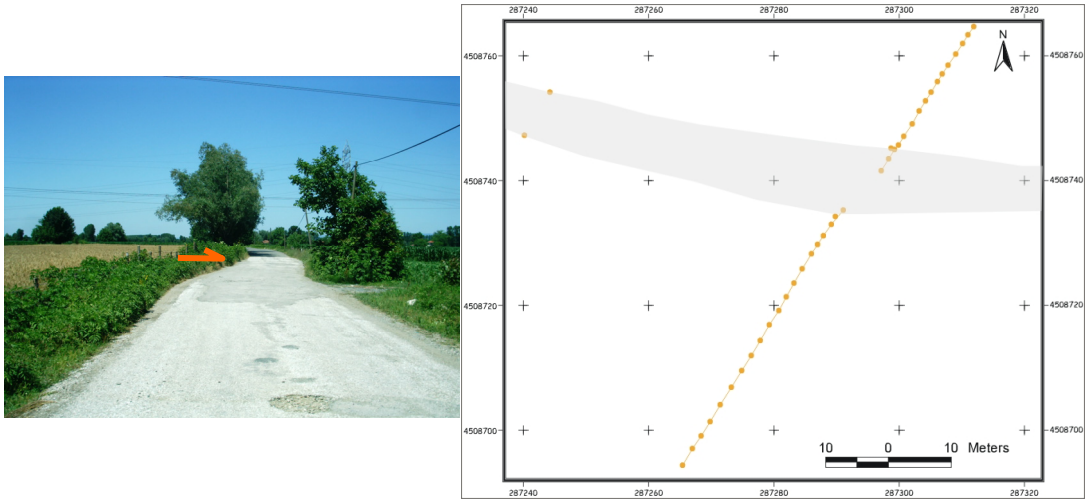
Sakarya nehrinin hemen batı kenarında 1999 yüzey kırığı asfalt bir yolu ve bir bahçe çitini sağ-yanal ötelemiştir. Ötelenen asfalt yol ve bahçe çitinin haritalanması sonucunda, yolda 3.3 m, bahçe çitinde ise 3.8 m ötelenme değeri ölçülmüştür (Şekil 2.45).



Şekil 2.45 : Sakarya nehri batısında 1999 İzmit depremi ile ötelenmiş yapılar ve ötelenme değerleri.

Lokasyon-27:

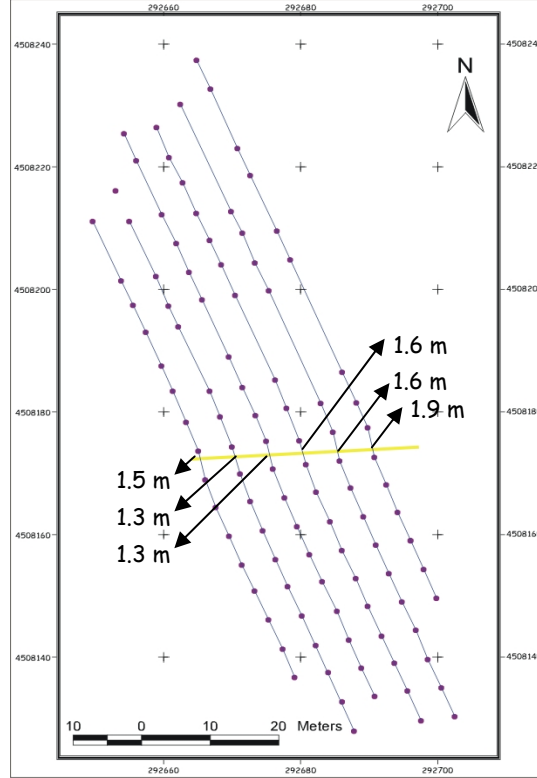
Sakarya nehrinin yaklaşık 6 km doğusunda, Horozlar köyü güneybatısında 1999 İzmit depremi ile ötelenmiş olan asfalt bir yol haritalanmıştır. Depremde tahrip olan yol, sonrasında tamir edildiği için, yoldaki ötelenmenin korunmuş olduğu batı kenarı dikkate alınmıştır. Haritalama sonucunda 2.4 m sağ-yanal ötelenme ölçülmüştür (Şekil 2.46).



Şekil 2.46 : 6 numaralı lokasyonda ötelenen asfalt yol ve haritası (fotoğrafın bakış yönü kuzeydir).

Lokasyon-30.

Akyazı ilçesinin yaklaşık 7 km doğusunda Çıldırlar köyü kuzeyinde 1999 depremi yüzey kırığı kavak ağaçları arasından geçer ve ağaç sıralarında sağ-yanal ötelenmeler meydana getirmiştir. Haritalanan bu ağaç sıralarından 1.3 ila 1.9 m arasında değişen ötelenme değerleri ölçülmüştür (Şekil 2.47).



Şekil 2.47 : Çıldırlar köyü kuzeyinde 1999 depremi ile ötelenen kavak ağaçları sıralarının haritası ve yer değiştirme miktarları (fotoğrafın bakış yönü kuzeydir).

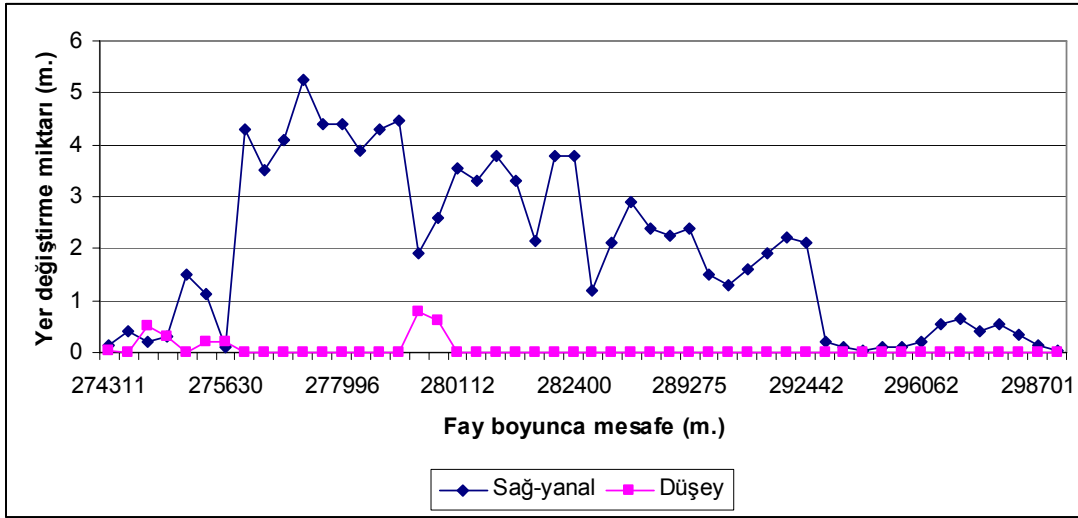
Çizelge 2.3 : Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde yerdeğiştirme ölçümleri (Barka ve diğ., 2002 ve Langridge ve diğ., 2002 ile birleştirilerek).

Lokasyon No	Koordinatlar (UTM-ED50)		Yerdeğiştirme (m)		Açıklama	
	lon	Lat	Sağ yanal	Düşey	Ötelenen nesne	Ölçüm tipi
1	274311	4510577	0,14	0,03	Toprak	Şerit metre
2	274351	4510254	0,42	0	Toprak	Şerit metre
3	274413	4510552	0,2	0,5	Toprak	Şerit metre
4	274502	4510502	0,29	0,3	Asfalt yol	Şerit metre
5	275021	4510392	1,5	0	Toprak	Şerit metre
6	275251	4510366	1,13	0,2	Toprak yol	Şerit metre
7	275630	4510193	0,1	0,2	Asfalt yol	Şerit metre
8	276385	4510127	4,3	0	Tarla kenarı	Şerit metre
9	276901	4510056	3,5	0	Asfalt yol	Şerit metre
10*	277255	4510027	4,1	0	Ağaç sırası	Teodolit

Çizelge 2.3 (devam): Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde yerdeğiştirme ölçümleri (Barka ve diğ., 2002 ve Langridge ve diğ., 2002 ile birleştirilerek).

11*a	277391	4510005	3,69	0	Ağaç sırası	Teodolit
11b*	277391	4510005	4,02	0	Ağaç sırası	Teodolit
11c*	277391	4510005	4,38	0	Ağaç sırası	Teodolit
11d*	277391	4510005	4,37	0	Ağaç sırası	Teodolit
11e*	277391	4510005	4,18	0	Ağaç sırası	Teodolit
11f*	277391	4510005	4,25	0	Ağaç sırası	Teodolit
11g*	277391	4510005	5,24	0	Ağaç sırası	Teodolit
11h*	277391	4510005	4,74	0	Ağaç sırası	Teodolit
11i*	277391	4510005	4,54	0	Ağaç sırası	Teodolit
12*	277724	4509978	4,4	0	Toprak yol	Teodolit
13	277996	4509960	4,4	0	Beton duvar	Şerit metre
14*	278405	4509935	3,9	0	Asfalt yol	Teodolit
15a*	278860	4509955	4,3	0	Beton kaldırım	Teodolit
15b*	278860	4509955	4,45	0	Benzin pompaları	Teodolit
16	279130	4509884	1,9	0,8	Yol	Şerit metre
17	279344	4509860	2,6	0,6	-	Şerit metre
18	280112	4509797	3,55	0	Tarla kenarı	Şerit metre
19a*	280698	4509755	3,3	0	Asfalt yol	Teodolit
19b*	280698	4509755	3,8	0	Bahçe çiti	Teodolit
20	281164	4509726	3,3	0	Ağaç sırası	Şerit metre
21	281678	4509650	2,15	0	Asfalt yol	Şerit metre
22	281929	4509613	3,8	0	Çit + yol	Şerit metre
23	282400	4509545	3,8	0	Beton duvar	Şerit metre
24	283750	4509262	1,2	0	Asfalt yol	Şerit metre
25	285072	4509013	2,1	0	Tarla kenarı	Şerit metre
26	286513	4508809	2,9	0	Ağaç sırası	Şerit metre
27*	287338	4508733	2,4	0	Asfalt yol	Teodolit
28	289068	4508554	2,25	0	Traktör izleri	Şerit metre
29	289275	4508535	2,4	0	Su kanalı	Şerit metre
30a*	290240	4508465	1,5	0	Ağaç sırası	Teodolit
30b*	290240	4508465	1,3	0	Ağaç sırası	Teodolit
30c*	290240	4508465	1,6	0	Ağaç sırası	Teodolit
30d*	290240	4508465	1,9	0	Ağaç sırası	Teodolit
31	290869	4508416	2,2	0	Ağaç sırası	Şerit metre
32	292442	4508166	2,1	0	Bataklık kenarı	Şerit metre
33	293454	4508095	0,2	0	Tarla kenarı	Şerit metre
34	293950	4508200	0,1	0	Beton duvar	Şerit metre
35	293983	4509216	0,05	0	Beton duvar	Şerit metre
36	294056	4509199	0,1	0	Asfalt yol	Şerit metre
37	294492	4509100	0,1	0	Asfalt yol	Şerit metre
38	296062	4508633	0,2	0	Asfalt yol	Şerit metre
39	296444	4508521	0,55	0	Asfalt yol	Şerit metre
40	296937	4508342	0,65	0	Asfalt yol	Şerit metre
41	297452	4508125	0,4	0	Bahçe çiti	Şerit metre
42	297929	4507902	0,55	0	Ağaç sırası	Şerit metre
43	298459	4507737	0,35	0	Asfalt yol	Şerit metre
44	298701	4507598	0,15	0	E-5	Şerit metre
45	299082	4507486	0,05	0	Asfalt yol	Şerit metre

* Bu çalışmada ölçülen yer değiştirme değerleri

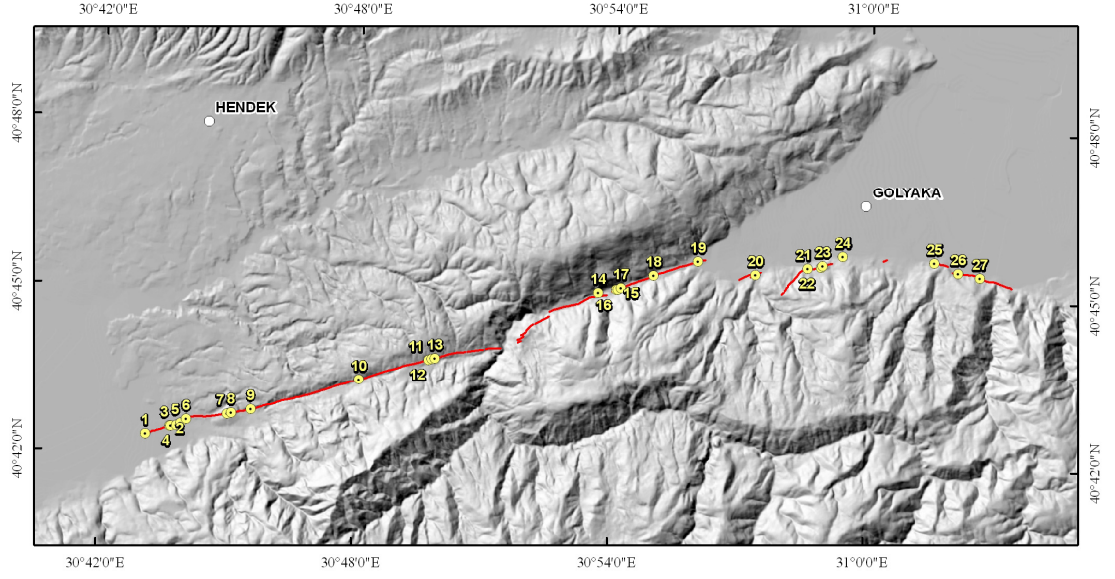


şekil 2.48 : Sapanca-Akyazı segmentinde 1999 Ağustos depremine bağlı yer değiştirme dağılımı.

2.3.4.5 Karadere segmenti

Karadere segmenti, Akyazı doğusundan Düzce ovasına kadar Karadere boyunca $K60^{\circ}-65^{\circ}D$ uzanımıyla izlenir ve yaklaşık 25 km uzunluğundadır (Barka ve diğ., 2002; Hartleb ve diğ., 2002) (şekil 2.49). Segment üzerinde maksimum sağ yanall yerdeğiştirme bir yol ötelenmesinden 1.55 m olarak ölçölmüştür. Emre ve diğ. (2003a) segment üzerinde, kuzey bloğun yükselmesi şeklinde, 50 cm'ye varan düşey yer değiştirmeler de ölçmüştür. Karadere segmenti, hem doğrultusu hem de düşük ötelenme değerleriyle diğer segmentlerden farklı özellikler sunar.

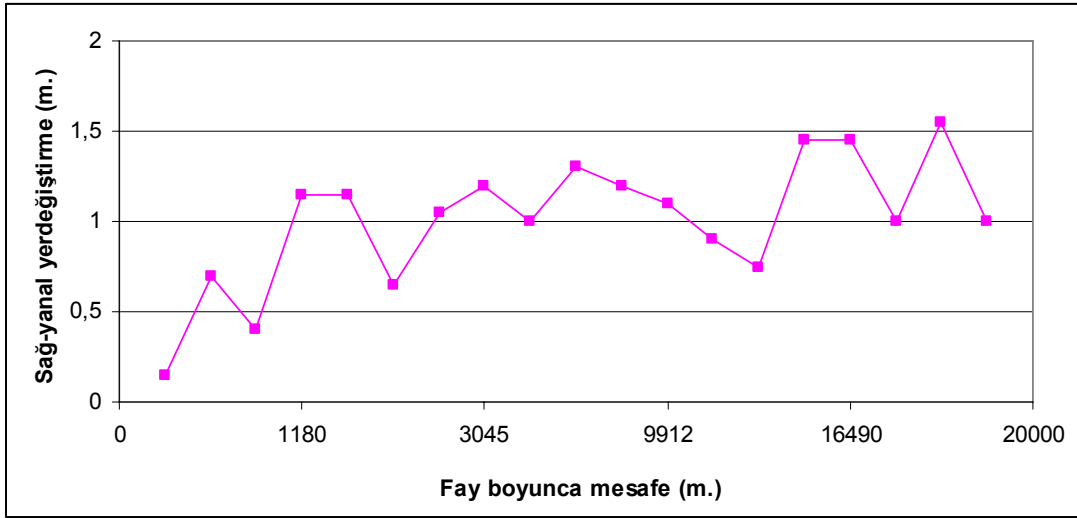
17 Ağustos 1999 İzmit depreminde Gölyaka güneyinde, Düzce segmentinin batı kesiminde, üzerinde çok düşük yer değiştirmeler meydana gelen küçük kırıklıklar oluşmuştur. Bu kesim 12 Kasım 1999 Düzce depreminde önemli ölçüde düşey yer değiştirmelerle tamamen kırılmıştır. Segment üzerinde ölçölen yer değiştirme lokasyonları şekil 2.49'da harita üzerinde gösterilmiş, ötelenme değerlerine ilişkin açıklamalar Çizelge 2.4'de verilmiş ve şekil 2.50'de grafik halde sunulmuştur. Düzce segmenti üzerinde 17 Ağustos 1999 depreminde meydana gelen yer değiştirmeler de şekil 2.49 üzerinde numaralandırılmış (lokasyon no: 20-27) ve Çizelge 2.4'e eklenmiştir.



Şekil 2.49 : Karadere segmenti yüzey kırığı haritası ve ölçüm lokasyonları. (Hartleb ve diğ., 2002’den değiştirilerek).

Çizelge 2.4 : Karadere segmenti üzerinde yer değiştirme ölçümleri. (Barka ve diğ., 2002 ve Hartleb ve diğ., 2002 ile birleştirilerek).

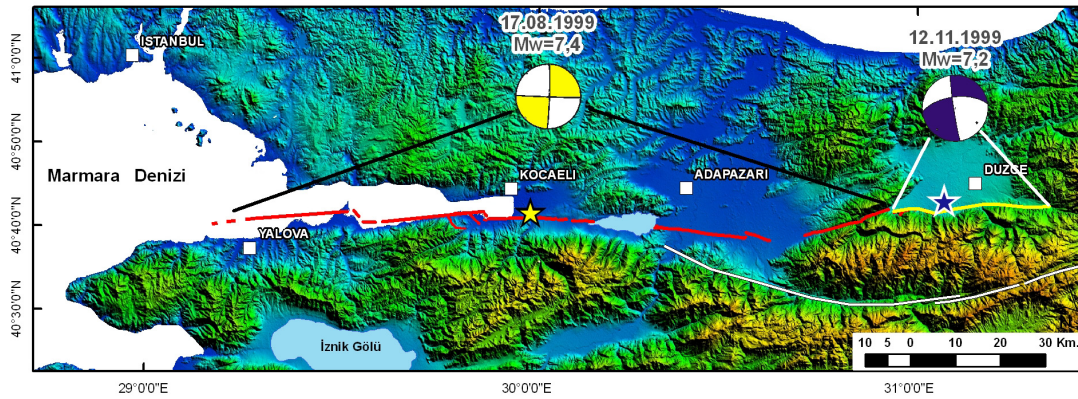
Lokasyon No	Koordinatlar (UTM-ED50)		Yerdeğişirme (m)	Açıklama	
	lon	Lat		Ötelenen nesne	Ölçüm tipi
1	307268	4508633	0,15	-	Şerit metre
2	308057	4508878	0,70	Bahçe çiti	Şerit metre
3	308100	4508885	0,40	-	Şerit metre
4	308275	4508905	1,15	Tekerlek izleri	Şerit metre
5	308452	4508967	1,15	Beton duvar	Şerit metre
6	308605	4509100	0,65	Bahçe çiti	Şerit metre
7	309962	4509287	1,05	-	Şerit metre
8	310117	4509313	1,20	Bahçe çiti	Şerit metre
9	310754	4509417	1,00	Ağaç sırası	Şerit metre
10	314327	4510417	1,30	Beton duvar	Şerit metre
11	316630	4511075	1,20	Bahçe çiti	Şerit metre
12	316735	4511100	1,10	Beton duvar	Şerit metre
13	316857	4511125	0,90	-	Şerit metre
14	322235	4513275	0,75	-	Şerit metre
15	322845	4513370	1,45	Yol	Şerit metre
16	322890	4513385	1,45	Bahçe çiti	Şerit metre
17	322990	4513435	1,00	Bahçe çiti	Şerit metre
18	324065	4513845	1,55	Yol	Şerit metre
19	325550	4514300	1,00	Ağaç sırası+yol	Şerit metre
20	327450	4513850	0,24	-	Şerit metre
21	329170	4514060	0,10	-	Şerit metre
22	329561	4514087	0,20	-	Şerit metre
23	329665	4514150	0,50	Bahçe çiti	Şerit metre
24	330330	4514450	0,03	Toprak	Şerit metre
25	333365	4514235	0,02	Toprak	Şerit metre
26	334150	4513885	0,05	Toprak	Şerit metre
27	334875	4513735	0,02	Toprak	Şerit metre



Şekil 2.50 : Karadere segmenti üzerinde 17 Ağustos 1999 İzmit depremine bağlı yer değiştirme dağılımı.

2.3.5 12 Kasım 1999 Düzce depremi

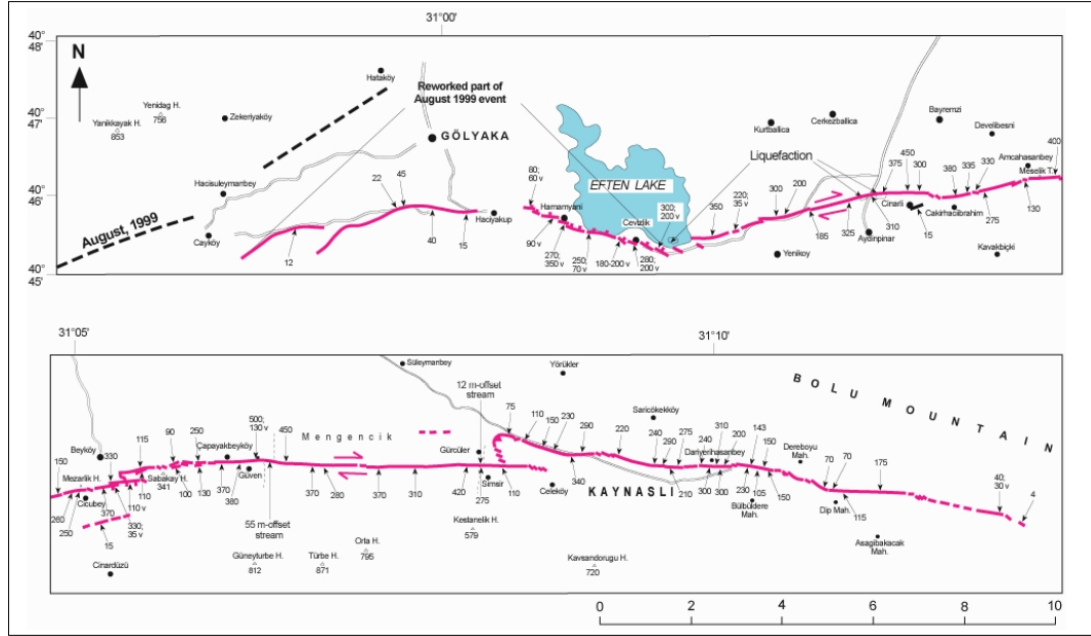
17 Ağustos 1999 İzmit depreminden yaklaşık 3 ay sonra, 12 Kasım 1999 tarihinde KAF'ın Düzce havzasının güneyini sınırlayan kesimi üzerinde yıkıcı ve yüzey kırığı oluşturan bir deprem daha meydana gelmiştir. Yerel saat ile 18:57' de, 40.75°K enlemi 31.16°D boylamında, 10 km derinlikte ve $M_w=7.2$ büyüklüğünde meydana gelen deprem ile yaklaşık 40 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşmuştur (Akyuz ve diğ., 2002). Depremin fay düzlem çözümü (Tibi ve diğ., 2001) normal bileşenli sağ-yanal faylanmayı göstermektedir (Şekil 2.51).



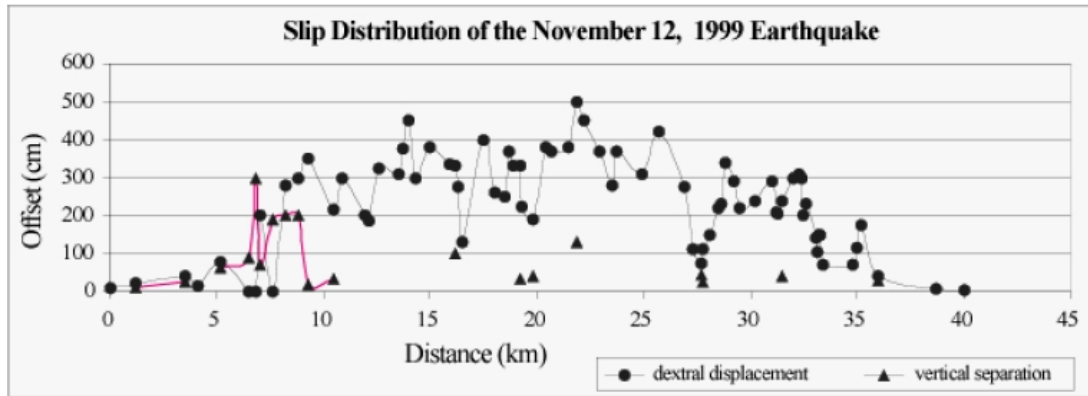
Şekil 2.51 : 12 Kasım 1999 Düzce depremi yüzey kırığı ve fay düzlem çözümü. 1999 depremleri yüzey kırıkları (Barka ve diğ., 2002) ve Düzce depremi fay düzlem çözümü (Tibi ve diğ., 2001) (Doğrultu/Eğim/Kayma açısı: 263/62/-176).

Efteni gölü batısında, 1999 İzmit depremi ile yüzey faylanması gelişen kesimde bu depremde tekrar yüzey kırığı gelişmiş ve Kaynaşlı ilçesinin yaklaşık 10 km doğusuna

kadar bu yüzey kırığı izlenmiştir (Şekil 2.52). Deprem nedeniyle gelişen en yüksek düşey yer değiştirme Efteni Gölü civarında 3,5 m, sağ-yanal yerdeğiştirme ise Mengencik batısında, Güven köyü civarında 5 m olarak ölçülmüştür (Şekil 2.52 ve 2.53) (Akyüz ve diğ., 2002).



Şekil 2.52 : 12 Kasım Düzce depreminin yüzey kırığı ve ötelenme değerleri (Akyüz ve diğ., 2002'den alınmıştır).



Şekil 2.53 : 12 Kasım Düzce depremine bağlı yer değiştirme dağılımı (Akyüz ve diğ., 2002'den alınmıştır).

2.4 Tarihsel ve Aletsel Dönem Deprem Verilerinin Değerlendirmesi

Marmara bölgesi yüzyıllar boyunca bir çok topluluk için yaşam merkezi olmuştur. Bu durum, eski depremler hakkında tarihsel dökümanlardan bilgi sağlanması açısından avantaj oluşturur. En büyük dezavantaj yaşanan sarsıntıların genellikle şehir merkezlerinde kaydedilmiş olması, taşra ve banliyölerdeki durum hakkında

yeterli bilginin tarihsel kaynaklardan sağlanamamasıdır. Nikomedia (İzmit) buna iyi bir örnektir. Tarihsel dökümanlarda, M.S. 2 ve 4. yy. aralığında önemli ve büyük bir şehir olan Nikomedia’da ve civarında gerçekleşen depremler hakkında detaylı bilgiye rastlanır. Hatta 120 yılında meydana gelen depremde anlatılan yüzey deformasyonları şiddetle muhtemel bir yüzey kırığını işaret etmektedir. Fakat M.S. 4. yy’da şehir girdiği savaşlar ve yaşanan depremler sonucunda zayıflar, 5 yy.’da artık önemini yitirir ve bundan sonra tarihsel kaynaklarda Nikomedia’ya dair detaylı bilgi elde etmek zordur.

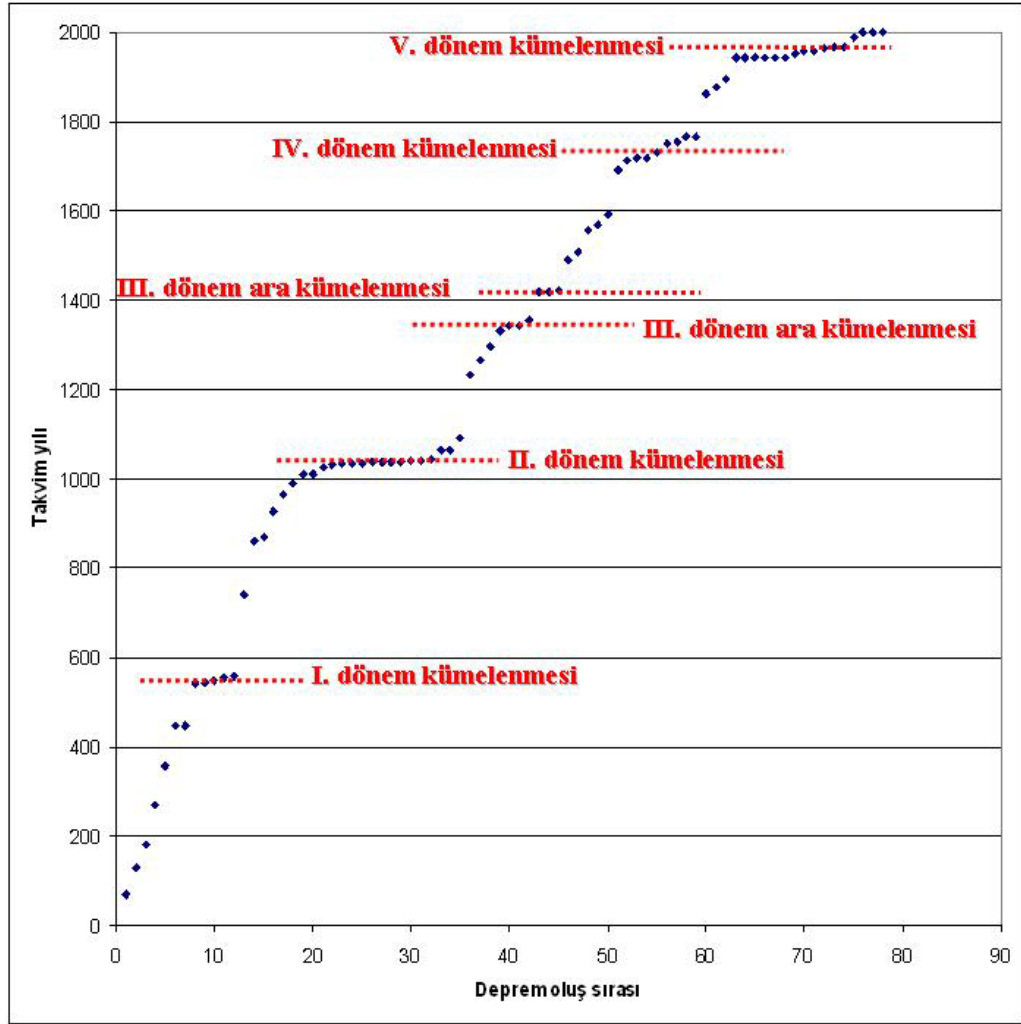
İncelenen dökümanlarda yer alan depremlerin hemen hemen hepsi İstanbul’daki etkileri ile yer almaktadır. Bu durum depremlerin en fazla etkilediği bölgeyi, buradaki etkilerini, büyüklüğünü, yüzey kırığı oluşturup oluşturmadığını tahminini zorlaştırmaktadır. Bazı depremler ise sadece tek bir tarihsel kaynaktan, etkileri açıklanmadan, sadece “çok büyük bir deprem meydana geldi” gibi ifadeler ile yer alır ve bu durumda kaynağın yazarına ne derece itimat edileceğine karar vermek zordur.

Bu çalışma kapsamında Bölüm 1.2.7.’de sunulan kaynaklar taranmış ve tez yazarı kaynaklardaki yorumları da gözönünde bulundurup, güvenilir ve somut bilgi içerdiğine kanaat getirdiği deprem bilgilerine bu bölümde yer vermiştir. Seçilen bu depremler, KAF’ın kuzey kolu üzerinde gerçekleşmiş ya da gerçekleşmiş olma ihtimali olan ve büyüklüğü muhtemelen 5’in üzerinde olan depremlerdir. Etkisi hafif olan, belirsizlikler (ör: aynı depremin birbirine çok uzak bölgelerde konumlandırılması, kaynak yazarına itimat eksikliği) içeren depremler ya bu bölümde ele alınmamıştır ya da çelişkileri sunularak ele alınmıştır.

Aletsel öncesi dönem ve aletsel dönem hakkında yer bilimlerinde meydana gelen gelişmeler doğrultusunda daha sağlıklı bilgiler derlenmesi mümkün olmuştur. Aletsel depremlerden 1999 İzmit depremi, bu tez çalışmasının yoğunlaştığı segmentleri içermesi ve tez çalışmasına ilham vermesi nedeniyle detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Tez çalışması için derlenen son 2000 yıllık depremler incelendiğinde Marmara bölgesinde meydana gelen depremlerin beş farklı dönemde kümелendiği göze çarpmaktadır (Şekil 2.54). 11.yy ilk yarısında ve 20.yy ikinci yarısında meydana gelen kümelenme (II. ve V. Dönem, Şekil 2.54) en çok deprem sayısına sahip olan kümelenmedir. Bu beş dönemde meydana gelen depremlerin incelenmesi ve

aralarında geçen zaman zarfının farklılığı KAF'ın bölgedeki sismik davranışının belirlenmesine katkıda bulunacak bir bilgidir.



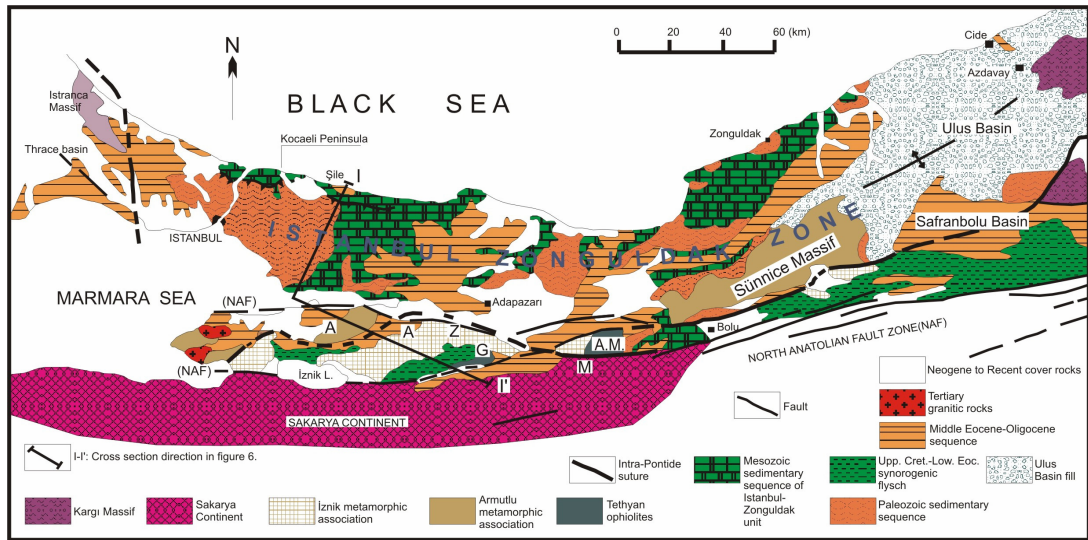
Şekil 2.54 : Son 2000 yılda KAF'ın kuzey kolu üzerinde meydana gelmiş ve gelmiş olabilecek depremlerin tarihlerine göre dizilimi.

3. JEOLojİ

3.1 Doğu Marmara'nın Jeolojisi

Türkiye'nin kuzey kesimlerinde, doğu-batı uzanımlı orojenik bir kuşak olan Pontidler, Doğu Pontidler, Orta Pontidler ve Batı Pontidler olmak üzere, tektonik ve stratigrafik açıdan birbirinden farklı üç kesime ayrılır. Bu tez kapsamında çalışılan saha, Doğu Marmara'da, Batı Pontid tektonik birliği içerisinde yer alır.

Batı Pontidler Istranca Masifi, İstanbul-Zonguldak Zonu, Armutlu-Almacık Zonu ve Sakarya Kıtası'ndan oluşur. Bunlardan Istranca masifi hariç, diğer tektonik zonlar doğu Marmara'da izlenir (Şekil 3.1). Bu tektonik birlikler, KAF'ın kuzey kolunun kuzeyinde İstanbul-Zonguldak Zonu, güneyinde ise Armutlu-Almacık Zonu'dur. Armutlu-Almacık Zonu'nun güneyi KAF'ın güney kolu ile sınırlanır ve bu kesimin güneyinde Sakarya kıtası yer almaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz ve diğ., 1997) (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : İstanbul-Zonguldak Zonu ve Armutlu-Almacık Zonu'nun jeoloji haritası (A.M.: Almacık Dağları, AAZ: Armutlu-Almacık Zonu, NAF: Kuzey Anadolu Fayı, G: Geyve, M: Mudurnu.) (Yılmaz ve diğ., 1997'den alınmıştır).

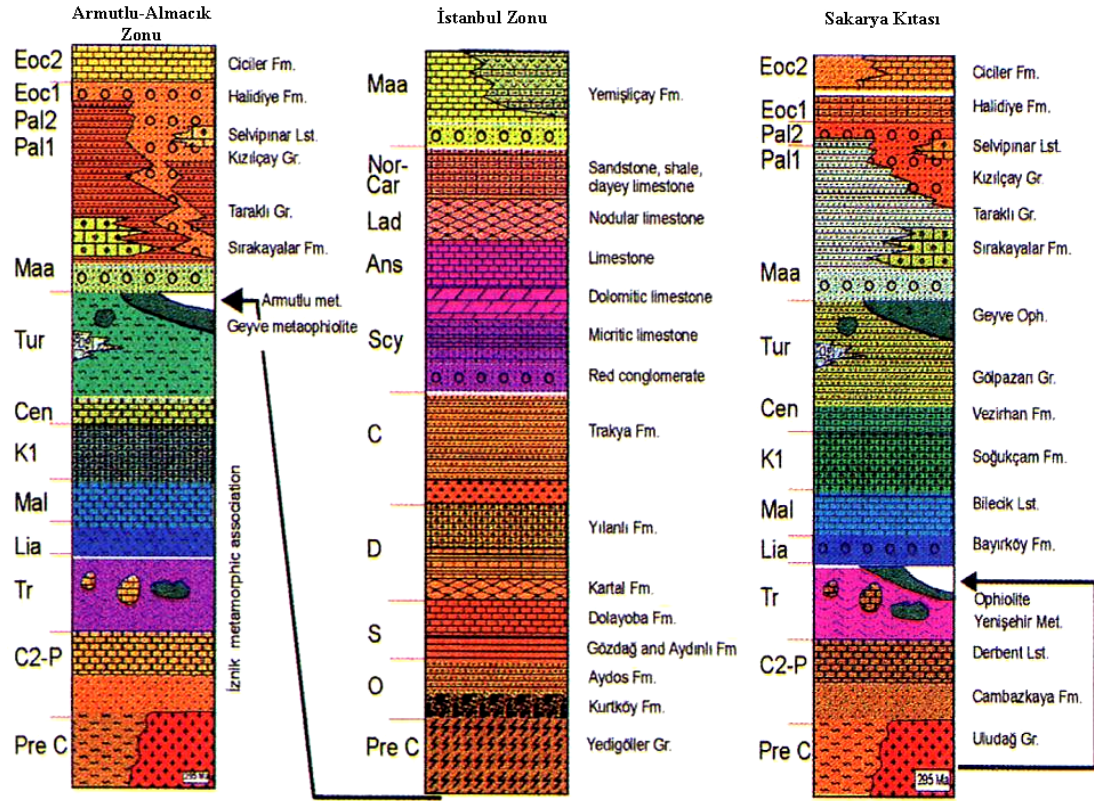
İstanbul-Zonguldak Zonu, Pre-Kambriyen (?) yaşlı bir temel üzerinde transgresif gelişmiş Paleozoik yaşlı bir istif ile başlar. Ordovisiyen-Karbonifer aralığında

gelişmiş bu istif (İstanbul Paleozoik istifi) İstanbul'dan Zonguldak'a kadar izlenir. Paleozoik istifi üzerinde transgresif Triyas çökelleri uyumsuz olarak yer alır. Triyas çökelleri, doğu kesimde Orta Jura-Kretase çökelleri ile örtülür, batı kesimde bu zaman aralığında çökelim yoktur ve istif Üst Kretase çökelleri ile uyumsuzlukla örtülür. Üst Kretase çökeli Paleosen sonuna kadar devam etmiştir ve transgresif niteliktedir. Erken-Orta Eosen dönemi çökelleri uyumsuz olarak tüm istifin üzerindedir (Yılmaz ve Tüysüz, 1984; Yiğitbaş ve diğ., 1995, Yılmaz ve diğ., 1997, Okay ve Tüysüz, 1999; Elmas ve Yiğitbaş, 2001; Tüysüz ve diğ., 2004, Okay, 2008).

Sakarya kıtası, kuzeyinde KAF'ın güney kolu boyunca Armutlu-Almacık Zonu, güneyinde ise İzmir-Ankara suture ile sınırlanır. Temelinde üç farklı metamorfik topluluk yer alır. Bunların da üzerinde metamorfik olmayan Jura-Geç Kretase döneminin karasal, sığ denizel ve derin denizel çökelleri yer alır. Daha üstte Üst Kretase-Orta Eosen aralığında gelişmiş fliş karakterindeki bir istif bulunur (Yılmaz ve diğ., 1997, Okay ve Tüysüz, 1999; Elmas ve Yiğitbaş, 2001; Okay ve diğ., 2008).

Armutlu-Almacık Zonu, Sakarya kıtası ve İstanbul-Zonguldak Zonu'nun çarpışması sonucu biraraya gelen parçalarından ve aralarında yer alan ofiyolit kayalarından oluşur (Yılmaz ve diğ., 1997). Şengör ve Yılmaz (1981) bu ofiyolit kayalarının geç Kretase'de Intra-Pontid okyanusunun kapanmasıyla gelişen suture'nin kalıntısı olduğu görüşündedir. Elmas ve Yiğitbaş (2001)'e göre ise, Bolu civarındaki bu eski okyanus kalıntıları Paleotetis'e aittir ve bölgedeki bir okyanus kapanması ile değil, Üst Kretase'de var olmuş sol-yanal büyük bir fay ile doğu kesimlerden bugünkü konumuna ötelenmiştir. Armutlu-Almacık Zonu, Şengör ve Yılmaz (1981) tarafından Intra-Pontid Suture, Yiğitbaş ve diğ. (1999) tarafından Armutlu-Ovacık zonu ismi ile anılmıştır.

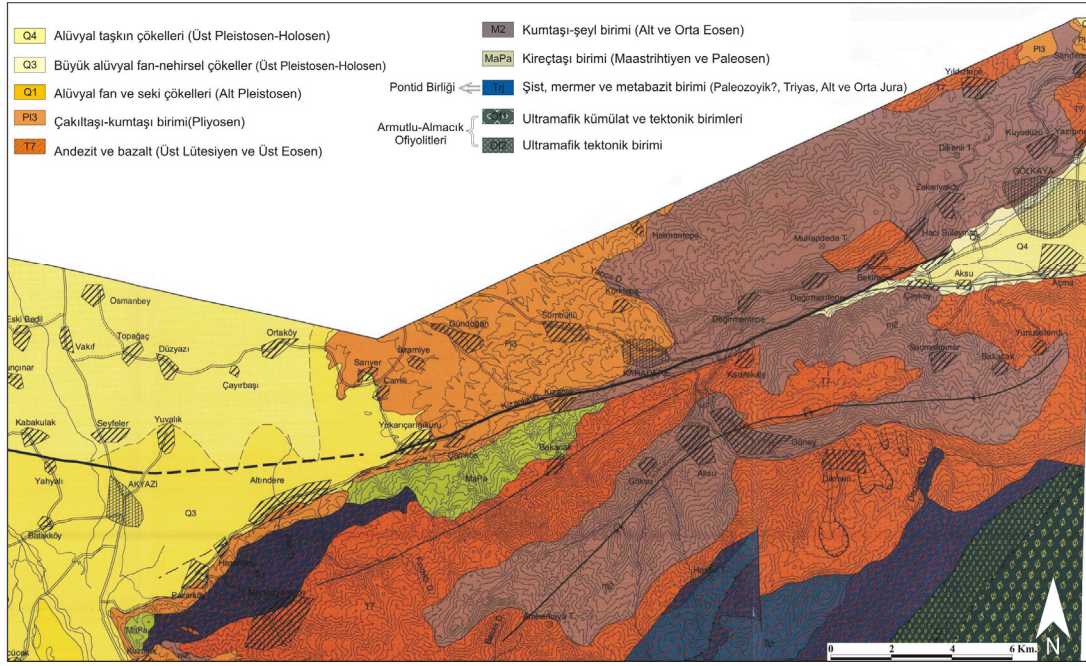
Armutlu-Almacık Zonu, Armutlu yarımadasından Almacık ve Sünnice dağlarına kadar olan bölgede izlenir ve üç farklı metamorfik kaya topluluğundan oluşur (Yılmaz ve diğ., 1997). Bunlar; Armutlu metamorfik topluluğu; İznik metamorfik topluluğu ve Geyve metaofiyolitidir. Bu metamorfik kayalar yer yer granitik kayalar ile kesilmiştir. Armutlu-Almacık zonunda izlenen bu kayalar metamorfik olmayan Üst Kretase-Erken Tersiyer çökelleriyle örtülmüştür (Yılmaz ve diğ., 1997).



Şekil 3.2 : Armutlu-Almacık Zonu, İstanbul Zonu ve Sakarya Kıtasının genelleştirilmiş dikme kesitleri (Yılmaz ve diğ., 1997’den değiştirilerek alınmıştır).

3.2 Karadere Segmenti Yakın Civarının Jeolojisi

İzmit Körfezi-Akyazı arasında Kuzey Anadolu Fayı çoğunlukla Kuvaterner çökelleriyle temsil edilen oldukça düzlük olan bir alanı takip eder. Akyazı (Adapazarı) doğusunda ise Almacık bloğunun kuzey kenarını sınırlayacak şekilde K60-65D uzanımıyla Gölyaka (Düzce)’ya uzanır (Bakınız Bölüm 2.3.2). Bu kesimde KAF Paleozoik’den Kuvaterner’e kadar çeşitli yaşlardaki kaya topluluğunu keser. Akyazı-Gölyaka arasında Herece ve Akay (2003) tarafından hazırlanan haritanın incelenmesi neticesinde özellikle Pliyosen çökellerinde ve buna ek olarak daha yaşlı jeolojik birimlerin dokanaklarında veya jeolojik yapılarda KAF’ın hareketine bağlı bir ötelenme olma olasılığı göz önünde bulundurularak, bu tez çalışması kapsamında, Karadere segmenti boyunca KAF’ın toplam ötelenmesini araştırmak amacıyla temel jeoloji haritalaması yapılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Akyazı(Adapazarı)-Gölyaka(Düzce) arasının 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası (Herece ve Akay (2003)’ten değiştirilerek alınmıştır).

3.2.1 Eski çalışmalar

Abdüsselamoğlu (1959), kuzeyde Almacık bloğunun kuzeyini sınırlayan Aksu vadisi, batıda Göynük, doğuda Mudurnu ve güneyde Nallıhan batısı’na kadar uzanan yaklaşık 35.000 km²’lik bir alanın jeolojisini çalışmıştır. Yazar, bölgede yüzeyleyen litolojileri kristalin seri (Devoniyen öncesi), Devoniyen, Permokarbonifer, Jura, Alt Kretase, Üst Kretase, Paleosen-Priaboniyen, Eosen, Pliosen ve Kuvaterner başlıkları altında ele almıştır. Bölgedeki temeli oluşturan “kristalin seri”yi; Gnays, Diyorit-Amfibolit, amfibolit şistler ve mermer-yarı mermer mercekli mikaşistler olmak üzere iki farklı grup olarak çalışmıştır. Devoniyen birimlerinin kristalin seri üzerinde diskordan olarak bulunduğunu belirtmiş, stratigrafilerini alttan üste doğru arkoz konglomerası, mor renkli killi şistler, fosilli killi şistler, kalker ile mermer ve kuvarsit blokları olarak açıklamıştır. Permokarbonifer kayaları ise mikro fosilli kallerler ile temsil edilmektedir. Jura kayaları kristalin seri üzerine transgressif olan Üst Lias tabakalarının ve Mudurnu vadisinde yüzeyleyen Üst Jura flişinin Alt Kretase kalkerleri ile geçişli olduğunu belirtmiştir. Alt Kretase’nin porselenimsi, beyaz renkte, muntazam tabakalı kalkerler ile Üst Kretase’nin ise marn, kumtaşı, konglomera ve kalker seviyeleri ile temsil edildiği ve aralarındaki ilişkinin konkordans olduğu belirtilmiştir. Yazar, Paleojen dönemini Paleosen-Priaboniyen ve Eosen olmak üzere iki farklı başlık altında ele almıştır. Paleosen-Priaboniyen dönemi

denizel fasiyesteki kum, kalker tabakaları ve lagüner fasiyesteki bitümlü şist, linyit seviyeleri içeren kırıntılı tabakalar ile temsil edilmiştir. Özellikle Almacık dağı kuzeyinde yüzeylediği belirtilen Eosen kayaları kalker ve kumtaşları ile temsil edilmiştir. Yazar, bu seviyeler içerisinde nummulites ve assilina türü fosiller de bulmuş ve bu Eosen tabakalarının Üst Kretase üzerinde diskordan durduğu belirtmiştir. Pliosen'e ait karasal fasiyesteki kum ve killi Neojen başlığı altında ele alınmış, Kuvaterner dönemini temsil eden formasyonların nehir taraçları, alüvyonlar, traverten ve etek molozlarından oluştuğu belirtilmiştir. Yazar, bölgede yüzeyleyen magmatik kayaları plütonizma ve volkanizma başlıkları altında incelemiştir. Plütonik kayaların granit, pegmatit, siyenit diorit, piroksenit ve serpantin gibi kayalar ile temsil edildiğini, volkanik kayaları temsil eden lavların ise Paleozoyik, Mesozoyik ve Tersiyer olmak üzere üç farklı evrede geliştiklerini belirtmiştir. Yazar, çalışma sahasında kristalin seri içerisindeki kıvrım eksenlerinin KD-GB olduğunu, Mesozoyik formasyonlarında yer alan kıvrım eksenlerinin D-B olduğunu ve Tersiyer çökellerinin Mesozoyik senklinallerinin içinde diskordan olarak yer aldığını belirtmiştir. Çalışma sahasında Kaynaşlı-Karadere fay hattı, Güneydağ-Durhasan Tepe fay hattı, Abant Gölü-Dokurcun fay zonu ve bunlara paralel başka tali D-B gidişli fay hatlarının varlığından bahsedilmiştir. Yazar ayrıca bölgenin paleocoğrafyası ve jeolojik yapı ile morfolojinin ilişkisini de incelemiştir.

Yılmaz ve diğ. (1981 ve 1982) Abant (Bolu)-Dokurcun (Sakarya) arasında KAFZ'nun kuzey ve güneyinde iki farklı istif ve kaya topluluğu bulunduğunu belirtmiş ve bölgenin jeolojik evrimini incelemiştir. KAFZ'nun kuzeyinde kalan kayaları "Kuzey topluluğu", "İstanbul-Zonguldak tektonik birimi" ya da "Batı Pontid" adları ile; güney kesimde yüzeyleyen kayaları ise "güney topluluğu" ya da "Sakarya kıtası" adları ile kuzey ve güney topluluk olmak üzere iki farklı başlık altında ele almışlardır. Kuzey topluluğun tabanında yer alan düzenli bir ofiyolit dizisi üzerinde tektonik bir dokanakla Paleozoyik yaşlı bir istif yer almaktadır. Ofiyolit dizisinden ve Paleozoyik istifinden gelen malzeme ile oluşmuş bir melanj her iki istifi de örtmektedir. Bu melanjin üzerine Üst Kretase(?)-Paleosen'de başlayan bir transgresyonun ilk birimleri gelir. Orta-Üst Eosen'de volkanizma ile birlikte kalın bir çökel istifi gelişmiştir. Bu birim güney ve kuzey toplulukları birlikte örten en yaşlı ortak birimdir. Yazarlar, Üst Eosen çökellerinin her iki topluluğu da örtmesi

dolayısıyla Sakarya kıtası ile Batı Pontid kıtasının çarpışmasının Üst Eosen'den önce bitmiş olduğu görüşündedirler.

Aydın ve diğ. (1987) doğuda Mengen (Bolu), batıda Adapazarı, kuzeyde Karadeniz ve güneyde Kaynaşlı (Düzce) ile sınırlanmış 6000 m²'lik bir alanda Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı araştırmacıları tarafından 1/25.000 ölçeğinde yapılmış olan çalışmaları biraraya getirerek bölgenin stratigrafisini sunmuşlardır. Bu haritalama ve stratigrafiye göre Akyazı-Gölyaka arasında Eosen yaşlı Kusuri formasyonu ve bu formasyonun Hatipler üyesi ile Pliyosen yaşlı Örencik formasyonu yüzeylemektedir.

Greber (1996 ve 1997) Almacık bloğunun batısında, Kuzuluk-Çamlıca arasında kalan bir kesimi haritalamıştır. Yazar, çalışma sahasının güneyinde, Mudurnu vadisinde yer alan Yongalık-Beldibi köyleri arasında, birbirleriyle olan ilişkiyi net olarak belirleyemediği, düzensiz olarak birarada bulunan serpantin, rekristalize kireçtaşı, amfibolit, sleyt, granit, kumtaşı, silttaşı kayalarını Civek zonu olarak adlandırmış ve serpantin kayalarının Intra-pontid süturunu temsil edebileceğini belirtmiştir. Çalışma sahasının paleo-Alpin, Alpin ve neotektonik deformasyon fazlarından etkilendiğini, geç Kretase-erken Tersiyer döneminde, Almacık dağında aşınmanın hakim olduğunu, fakat kuzeybatı kenarında ise bir depolanmanın sürdüğünü belirtmiştir. Yazar, Üst Kretase çökelleri ve temelindeki metamorfik kayaların İstanbul-Zonguldak zonuna, güney kesimde adladığı Civek zonunun ise Sakarya kıtasına ait olabileceği görüşündedir.

Emre ve diğ. (1998) doğu Marmara bölgesinin Neojen-Kuvaterner morfotektonik evriminin; Erken-Orta Miyosen, Geç Miyosen-Pliyosen, en Geç Pliyosen-Günümüz olmak üzere üç ana şekillenme döneminde geliştiğini ve bu dönemlerin birbiriyle aşıl uyumsuz üç çökel istif ile temsil edildiğini belirtmiştir. Yazarların çalışmasına göre Erken-Orta Miyosen karasal kıvrıntılı, Geç Miyosen-Pliyosen karasaldan denizele geçişli, en Geç Pliyosen-Günümüz ise karasal-denizel çökellerle temsil edilmektedir. Yazarlar, Erken-Orta Miyosen boyunca bölgenin paleotektonik dönem olaylarının etkisinde kaldığını ve Orta Miyosen sonlarına kadar aşınım alanı olduğunu, bu zamandan sonra ise bölgede bir peneplen morfolojisi geliştiğini ve karasal kıvrıntılı bir çökelim olduğunu belirtmişlerdir.

Herece ve Akay (2003) tarafından yapılan haritalamaya göre Karadere segmenti boyunca yüzeylen en yaşlı kayalar Pontid Birliğine ait şist, mermer ve metabazit kayalarından oluşur. Maastrichtiyen ve Paleosen yaşlı bir kireçtaşı birimi bu kayaların üzerinde yer almaktadır. Daha üstte, Alt ve Orta Eosen yaşlı kumtaşı-şeyl çökelleri Üst Lütésiyen-Üst Eosen yaşlı andezit ve bazaltlarla örtülür. Çakıltaşı-kumtaşı birimi olarak adlandırılan Pliyosen yaşlı çökeller kendinden daha yaşlı çökelleri örter durumdadır. Yazarlar Pleistosen-Holosen dönemini temsil eden üç ayrı birim haritalamıştır. Bunlar Alt Pleistosen yaşlı Alüvyal fan ve seki çökelleri, Üst Pleistosen-Holosen yaşlı büyük alüvyal fan-nehirsel çökeller ve Üst Pleistosen-Holosen yaşlı alüvyal taşkın çökelleri adları altında haritalanmıştır.

3.2.2 Stratigrafi

Akyazı-Gölyaka arasında KAF zonu boyunca, Paleozoik'ten Kuvaterner'e kadar değişen çeşitli yaşlarda ve farklı litolojilerde kaya toplulukları yüzeylemektedir. Bölgenin temelini Paleozoik yaşlı metamorfik kayalar oluşturur. Bu metamorfik kayalar içerisinde mermer, rekristalize kireçtaşı ve kuvarsit mercekleri haritalanmıştır. İznik metamorfikleri olarak anılan bu kaya topluluğu transgresif Üst Kretase çökelleriyle açısal bir uyumsuzlukla örtülür. Kırmızı bordo renklerde bir taban konglomerası ile başlayan Üst Kretase çökelimi sığ denizel kireçtaşlarıyla devam edip gittikçe derinleşen bir denizin çökellerini işaret eder. Üst Kretase Paleosen arasında devam eden çökelim Eosen kayaları tarafından yine açısal bir uyumsuzlukla örtülür. Karbonat çimentolu konglomeratik kayalarla başlayan Erken-Orta Eosen dönemi fliş karakterindeki kumtaşı-marn ardalanmasıyla devam eder. Erken-Orta Eosen'den sonra bölgede başlayan volkanizmaya bağlı volkanik ve volkanosedimanter kayalar Eosen döneminin son ürünleridir. Tüm bu kayalar Geç Miyosen döneminin karasal çökelleriyle açısal bir uyumsuzlukla örtülür. Konglomera, çakıltaşı, kumtaşı litolojilerinden oluşan Pleistosen çökelleri kendisinden daha yaşlı birimler üzerinde diskordan bulunur. Üst Pleistosen-Holosen dönemi ise alüvyon, alüvyal fan çökelleri ile temsil edilir. Aşağıda bu kaya birimleri yaşlıdan gence doğru kısaca açıklanmıştır.

Yaş	Formasyon	Litoloji	Açıklamalar
Holosen	Alüvyon		Tutturulmamış çakıl, kum, silt
Üst Pleistosen	Karadere fm.		Eski alüvyon: Gevşek tutturulmuş çakıl, kum, silt Açısal diskordans
Orta Pleistosen	Örencik fm.		Gevşek tutturulmuş çakıl, kum, silt Açısal diskordans
Üst Miyosen (?)	Pazarcık fm. Güzlek fm.		Karbonat çimentolu konglomera Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı Açısal diskordans
Erken - Orta Eosen	Dikmen formasyonu		Volkanik kayalar: Andezit, bazalt Volkanojenik kumtaşı-şeyl ardalanması
	Derinoba fm.		Nummulit'li kireçtaşı seviyeleri Kumtaşı-marn ardalanması
	Kuyudüzü fm.		Konglomera, çakıltaşı, kumtaşı Açısal diskordans
Üst Kretase-Paleosen	Değirmen-tepe fm.		Kumtaşı-silttaşı-şeyl ardalanması Andezitik dayklar
	Sümbüllü fm.		Kireçtaşı-kumtaşı-marn-şeyl ardalanması
	Aksar fm.		Sığ denizel kireçtaşı Konglomera, çakıltaşı, kumtaşı
Üst Kretase	Abant Karmaşığı		Spilit, serpentinit granit sokulumu Tektonik dokanak
Devoniyen öncesi	İznik Metamorfikleri		Mikaşist, fillat ve sleyt Mermer merccekleri

(Ölçeksiz)

Şekil 3.4 : Akyazı-Gölyaka arasının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti.

3.2.2.1 İznik Metamorfikleri

Haritalama sahasında yüzeyleyen en yaşlı birim, mermer mercekli mikaşist, fillat, sleyt, kuvarsit ve rekristalize kireçtaşı ile temsil edilmektedir (Şekil 3.5). Haritalama sahasının batısında, KAF'ın güney kesiminde, Kuzuluk kuzeyinden Karadere güneybatısına kadar uzanan bir dilim, yer yer de dilimler halinde haritalanmıştır.

Birim içerisindeki mikaşit, sleyt, fillat ve mermer merceklerinin en iyi gözlemlendiği lokasyonlar Bakacak köyü kuzeyi, Çamlıca köyü güneyinde Kocakoyak deresi boyunca ve Merkezyeniköy kuzeyindedir (Şekil 3.6). Rekristalize kireçtaşı ve kuvarsit seviyeleri ise doğu kesimde Çayköy batısında haritalanmıştır (Şekil 3.7).

Kuzuluk kuzeyi haricinde birimin stratigrafik olarak üstüne gelen birimlerle olan dokanağı tektoniktir. Kuzuluk kuzeyinde birim, Üst Kretase yaşlı Aksar formasyonunun taban konglomerası seviyeleri ile örtülür. Çalışma sahasının doğusunda, Çayköy batısında yüzeyleyen fillat seviyeleri içerisinde rekristalize kireçtaşı ve kuvarsit mercekleri haritalanmıştır. Birbirleriyle tektonik dokanaklı olan bu litolojilerin, bu kesimde Eosen birimleriyle olan dokanağı da tektoniktir. Çayköy batısında haritalanan fillat seviyeleri Miyosen yaşlı Pazarcık formasyonu tarafından açısız uyumsuzlukla örtülür.

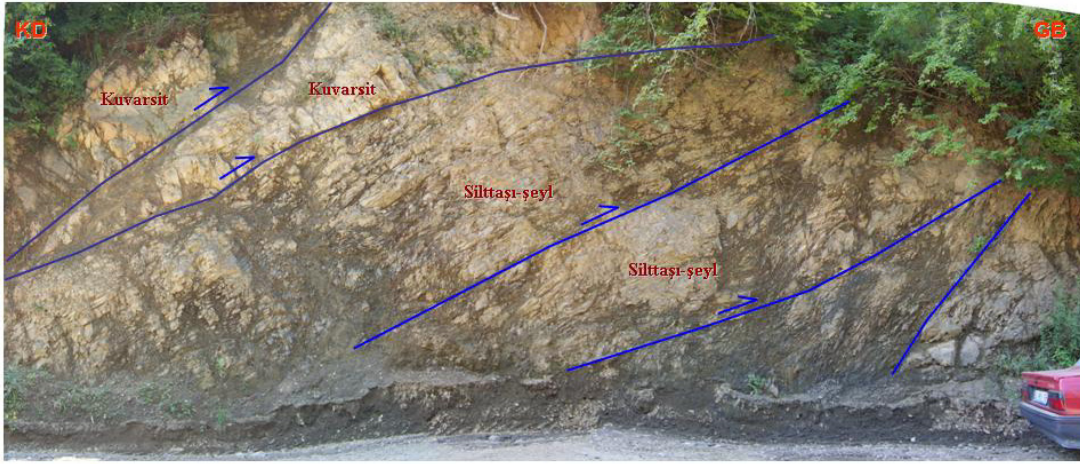
Abdüsselamoğlu (1959), bölgedeki temeli oluşturan kaya birimlerini; gnays, diyorit-amfibolit, amfibolit şistler ve mermer-yarı mermer mercekli mikaşitler olmak üzere iki farklı grup olarak çalışmış ve bu birimler için “kristalin seri” adını kullanmıştır. Yazar, Devoniyen birimlerinin kristalin seri üzerinde diskordan olarak bulunmasına dayanarak kristalin serinin yaşının Devoniyen öncesi olması gerektiğini belirtmiştir. Yılmaz ve diğ. (1981 ve 1982) rekristalize kireçtaşlarında Devoniyen yaşlı fosillere dayanarak istifin Paleozoik istifi olduğunu ve Mesozoik dönemde metamorfizmaya uğramış olması gerektiği görüşündedir.



Şekil 3.5 : Merkezyeniköy kuzeyinde yüzeyleyen fillat seviyeleri.



Şekil 3.6 : Çamlıca köyü güneyinde, Kocakoyak deresinde gözlenen mermer merceği. (bakış yönü güneybatıdır)



Şekil 3.7 : Çayköy batısında, İznik metamorfikleri içerisinde yer alan kuvarsit seviyesi ile Derinoba formasyonu arasındaki bindirme faylı dokanak (bakış yönü güneydir).

3.2.2.2 Abant Karmaşığı

Haritalama sahasında Abant karmaşığı serpantin, spilit ve granit mostraları ile temsil edilir.

Abant karmaşığı serpantinit, spilit, bazalt, çört, radyolarit gibi ofiyolitik kökenli türevler, kayrak, fillat, kuvarsit, mermer, rekristalize kireçtaşı gibi metamorfik kayalar, pelajik kireçtaşı ve fliş tipi çökel kayalarlardan oluşmaktadır (Yılmaz ve diğ., 1981; 1982). Birbirinden farklı tür ve kökende kayaların birarada bulunduğu tektonik karmaşık Yılmaz ve diğ. (1981) tarafından Abant Karmaşığı olarak adlanmıştır. Farklı cins ve kökenden bu kayalar değişik boyda, bazen devasa bir konglomera halinde biraraya gelmiş, bazı kesimlerde serpantinit bir matriks

içerisinde yer almış durumdadır. Bu kaotik topluluğu değişik kesimlerde bir granitin damar, dayk ve stoklar halinde kesmiş olduğu görülür (Yılmaz ve diğ., 1981).

Kadifekale ve Değirmentepe köyleri arasında Aksu vadisi boyunca spilit ve serpantinit kayaları gözlenmiştir. Yine aynı vadi içerisinde bu kayalarla komşu bir granit mostrası yer almaktadır. Bu serpantinit ve spilit kayaları, Yılmaz ve diğ. (1981)'in Abant Karmaşığı olarak adlandırdığı birime denk gelmelidir. Birim bu kesimde Alt-Orta Eosen yaşlı Derinoba formasyonu ile açısız uyumsuz olarak örtülmektedir.

Yılmaz ve diğ. (1981 ve 1982), Abant Karmaşığı içinde Üst Kretase yaşlı blokların varolması ve Geç Kampaniyen-Maastrichtiyen taban yaşlı birimler tarafından örtülüyor olması nedeniyle karmaşığın Geç Kampaniyen öncesinde gelişimini tamamlamış olduğu görüşündedir. Buna göre Abant Karmaşığının yaşı Üst Kretase'dir.

3.2.2.3 Aksar formasyonu

Aksar formasyonu, çalışma alanında konglomera, çakıltası ve kumtası seviyelerinin ardalanması ile başlayıp sığ denizel kireçtaşları ile devam eden bir dizilim ile temsil edilir. Kuzuluk kuzeyinde Aksar tepe civarından Çamlıca köyü'ne kadar, Almacık bloğunun kuzey kesimlerinde haritalanmıştır.

Birimin taban konglomerası niteliğindeki alt seviyeleri Tüysüz ve diğ. (2004) tarafından Hereke formasyonu olarak anılmıştır. Üst seviyelerde yer alan sığ denizel kireçtaşı seviyeleri Altınlı (1968) tarafından Hereke formasyonunun Kutluca kireçtaşı üyesi olarak adlanmıştır. Greber (1997) bu seviyeleri Aksartepe kireçtaşı olarak adlandırmıştır. Tüysüz ve diğ. (2004) Kutluca üyesini formasyon mertebesinde ele almıştır. Bu çalışmada ise taban konglomerası ve sığ denizel kireçtaşları tek bir formasyon olarak haritalanmıştır.

Birimin en alt seviyeleri kırmızı bordo renklerde bir taban konglomerası niteliğindedir (Şekil 3.8). Konglomera ve çakıltası seviyeleri karbonat matriks içerisinde, kötü boylanmalı, orta tutturulmuş, kuvars, metamorfik kayaç ve kireçtaşı çakıllarından oluşur. Taneler ağırlıklı olarak iyi yuvarlanmış kuvarslardan oluşur. Daha seyrek olan kireçtaşı taneleri iyi yuvarlanmış, metamorfik kökenli taneler ise köşeli-yarı köşelidir. İstif üst kesimlerinde gri, krem renkli sığ denizel kireçtaşları ile

devam eder (Şekil 3.9). Birim sıklıkla andezitik dayklar tarafından kesilmektedir (Şekil 3.10).

Aksar formasyonu İznik metamorfiklerini uyumsuz olarak örter.

Altınlı (1968) birimin kireçtaşı seviyelerinde bulunan ekinid ve inoceramus fosillerine göre yaşını Kampaniyen olarak vermiştir. Greber (1997) birim içerisinde derlediği fosillere göre birimin yaşının Geç Kretase Erken Paleosen aralığında olması gerektiğini belirtmiştir.



Şekil 3.8 : Aksar formasyonunun Aksar tepe güney kesimlerinde ardalanmalı seviyeleri.



Şekil 3.9 : Pazarköy-Güzlek köyü yolu üzerinde Aksar formasyonunda konglomeratik taban seviyeleri ve üstüne gelen kireçtaşı seviyeleri arasındaki geçiş.



Şekil 3.10 : Aksar formasyonunda konglomeratik taban seviyeleri ve üstüne gelen kireçtaşı seviyeleri arasındaki geçiş kesimlerinde faylanmış bir andezit daykısı.

3.2.2.4 Sümbüllü formasyonu

Sümbüllü formasyonu bej, krem renkli kireçtaşı, marn, karbonat çimentolu kumtaşı, silttaşı ve kiltası ardalanmasından oluşur. Çalışma sahasında Karadere köyü ile kuzeybatısında yer alan Sümbüllü köyü ve güneyinde yüzeyler.

Birimin kireçtaşı-kumtaşı ardalanmalı seviyelerinde mostra rengi gri, bej, taze yüzey rengi ise koyu gri veya yeşilimsi gridir (Şekil 3.11). Silttaşı ve kiltası seviyelerinde mostra rengi açık sarı veya boz sarı renklerde, taze yüzey rengi ise yeşilimsi sarı, yeşilimsi gri'dir. Bu seviyelerde yer yer 1 cm.den 1 m. ye varan boyutlarda küresel ayrışmalar gözlenir (Şekil 3.12).

Karadere köyü civarında birim içerisinde *Inoceramus* sp. fosil dış kalıbı bulunmuştur. Numunenin ince kesitinde Globotruncanidae fosili gözlenmiştir (Şekil 3.13 ve 3.14) (Ercan Özcan sözlü görüşme, 2009). Birimin içerisinde bulunan bu fosillere göre yaşı Kampaniyen-Maastrichtiyen olarak belirlenmiştir.

Birimin stratigrafik olarak altında bulunan Aksar formasyonu ile ilişkisi çalışma sahasında gözlenememiştir fakat Aksar formasyonunun sığ denizel kireçtaşlarının üstünde uyumlu olması beklenir. Birimin stratigrafik olarak üzerinde yer alan Değirmen-tepe formasyonu ile dokanağı Karadere köyü doğusunda tektoniktir. Karadere köyü batısında ise Orta Pleistosen yaşlı Örencik formasyonu ile açısız uyumsuz olarak örtülür.



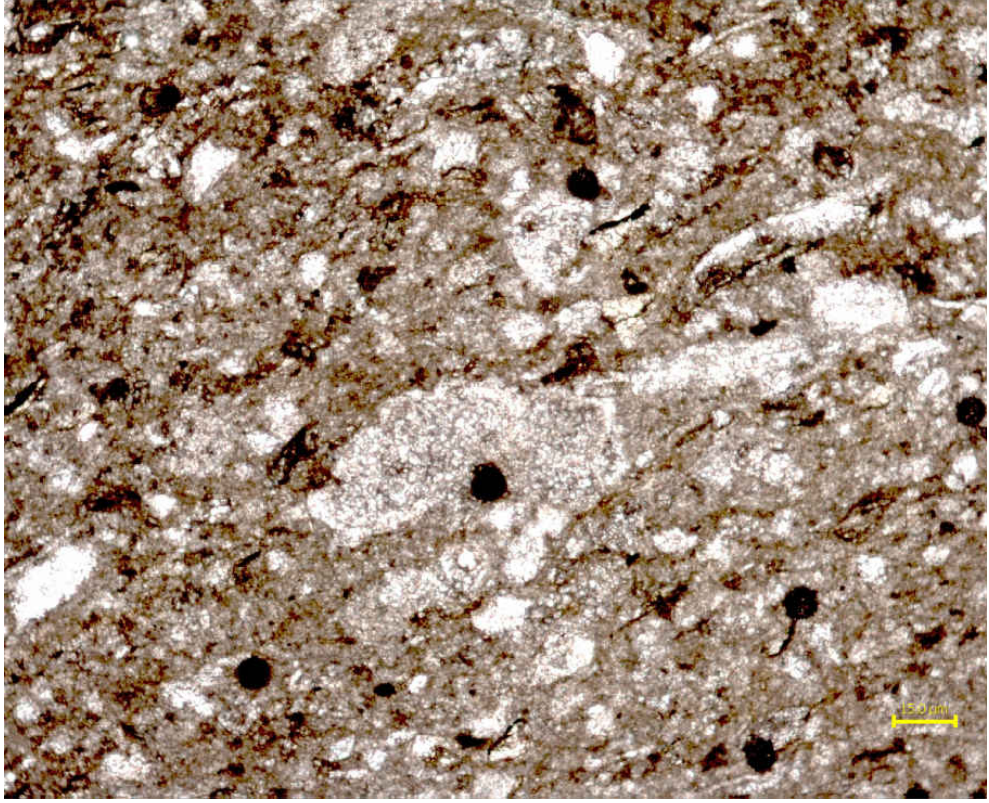
Şekil 3.11 : Sümbüllü formasyonun Karadere köyü güneyinde kumtaşı-marn ardalanmalı seviyeleri.



Şekil 3.12 : Karadere köyü batısında Sümbüllü formasyonunun silttaşı-kiltaşı seviyeleri ve içerisinde izlenen küresel ayrışmalar.



Şekil 3.13 : Karadere köyü güneyinde, Sümbüllü formasyonu içerisinde bulunan *Inoceramus* sp. fosili kalıbı.



Şekil 3.14 : Şekil 3.13'deki el numunesinin ince kesitinde görünen Globotruncanidae fosili. (Sağ alttaki sarı çizgi 15 µm.'dir)

3.2.2.5 Değirmentepe formasyonu

Değirmentepe formasyonu çakıltası-kumtaşı-şeyl ardalanması ile temsil edilir. Birim, çalışma sahasında Karadere köyü doğusundan Gölyaka kuzeyine kadar KAF'ın kuzey kesiminde yer alır. En yaygın mostralarına Değirmentepe köyü civarında rastlandığı için bu çalışmada Değirmentepe formasyonu olarak adlanmıştır.

Birimin mostra rengi gri, bej, açık sarı-kahve tonlarındadır. Taze yüzey rengi ise gri, koyu gri'dir. Çakıltası ve kumtaşı seviyeleri ağırlıklı olarak yuvarlak, yarı yuvarlak, orta boylanmalı kuvars tanelerinden oluşur ve silis çimentoludur. Şeyl ardalanmalı seviyelerde mostra rengi açık kahve, taze yüzey rengi ise koyu gridir. İstif içerisinde derecelenme ve laminasyon yaygındır ve sıklıkla volkanik dayklar ile kesilmiştir (Şekil 3.15-3.19).

Birimin alt kesimlerinde yer yer kötü boylanmış konglomeratik seviyeler izlenir. Bu seviyeler kuvars, metamorfik, kireçtaşı, mermer, kumtaşı blokları içerir ve karbonat çimentoludur. Aksar ve Sümbüllü formasyonları üzerinde uyumlu yer alan bu istif gittikçe derinleşen bir denizin çökellerini temsil eder.



Şekil 3.15 : Değirmen-tepe güneyinde Değirmen-tepe formasyonuna ait bir mostra. (bakış kuzeyedir).



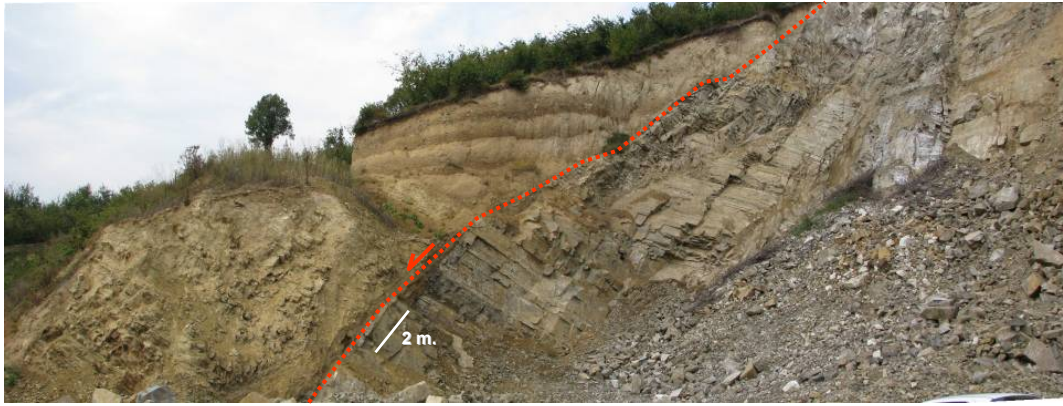
Şekil 3.16 : Değirmen-tepe köyü batısında Değirmen-tepe formasyonunun laminalı seviyeleri ve bu seviyeleri kesen bir dayk.



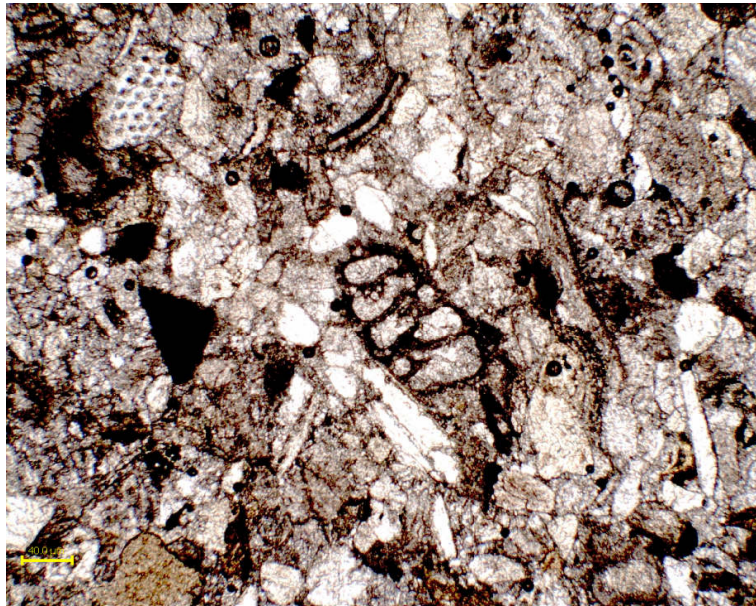
Şekil 3.17 : Kadifekale köyü batısında Aksu deresinde Değirmen-tepe formasyonuna ait bir mostra.



Şekil 3.18 : İçmeler köyü kuzeybatısında Değirmentepe formasyonunda izlenen derecelenme.



Şekil 3.19 : İçmeler köyü kuzeybatısında Değirmentepe formasyonunda gelişmiş normal faylanma (bakış yönü KB'yadır).



Şekil 3.20 : Değirmentepe formasyonu içerisinde alınan numunenin ince kesitinde izlenen Üst Kretase fosilleri (Sol alttaki sarı çizgi 40 µm.'dir).

Birim içerisinde alınan numunelerinin ince kesitleri Doç.Dr. Ercan Özcan tarafından incelenmiş ve aşağıdaki fosiller belirlenmiştir (Şekil 3.20).

- Siderolites calcitrapoides,
- *Orbitoides* sp.,
- Rudist parçaları,
- Globotruncanidae,
- *Hedbergella* sp.,
- *Heteroholot* sp.

Bu fosil içeriğine göre birimin yaşı Kampaniyen-Maastrichtiyen'dir.

3.2.2.6 Kuyudüzü formasyonu

Tabanda konglomeratik bir seviye ile başlayan formasyon çakıltası, kumtaşı, şeyl ardalanması ile devam eder ve daha üst kesimlerde kumtaşı, şeyl ardalanması halinde izlenir. Çalışma sahasında Yazlık köyü, Zekeriyaköy ve Kuyudüzü köyü kuzey kesimlerinde haritalanmıştır. Üst Kretase çökelleri ile ilişkisinin en iyi görüldüğü yerin Kuyudüzü köyü kuzeyinde olması nedeniyle Kuyudüzü formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Birim gözlenebilen tüm seviyelerinde karbonat çimentoludur. Alt seviyelerinde mostra rengi gri, haki gri taze yüzey rengi ise koyu gridir (Şekil 3.21). Kumtaşı ve silttaşı seviyeleri bol mikalıdır. Üst seviyelerine doğru tane boyu hızla düşer ve boz sarı kumtaşları ile gri şeyl ardalanması halinde izlenir (Şekil 3.22).



Şekil 3.21 : Kuyudüzü köyü kuzeyinde Kuyudüzü formasyonunun alt seviyelerinden bir görünüm.



Şekil 3.22 : Kuyudüzü formasyonunun Yazlık köyü kuzeydoğusunda gözlenen üst seviyeleri.

Birim içerisinde yaş verebilecek bir bulgu elde edilememiştir. Üst Kretase yaşlı Değirmentepe formasyonu üzerinde yer alması ve üst seviyelerinin Derinoba formasyonuna olan benzerliği nedeniyle yaşı Erken Eosen olarak kabul edilmiştir.

3.2.2.7 Derinoba formasyonu

Derinoba formasyonu inceleme alanında yer yer kumtaşı-marn yer yer de şeyl-marn ardalanması ile temsil edilmektedir (Şekil 3.23). Formasyonun tipik özelliklerinin izlendiği Derinoba deresi boyunca yüzeylemesi nedeniyle Yılmaz ve diğ. (1982) tarafından Derinoba formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Formasyona ait mostralar çalışma sahasının güney sınırını oluşturan Güney köyü civarı ve daha güneyindeki alanlarda yüzeylemektedir. Kumtaşlarının mostra rengi boz sarı, kahve, taze yüzey rengi ise gridir. Marn ve şeyl seviyelerinin mostra rengi gri, mavimsi gri, taze yüzey rengi mavimsi gridir. Marn ve şeyl seviyelerinde küresel ayrışma ve kalem klivajı yaygın olarak gözlenir. Birim içerisinde kalınlığı 2-3 metreye varan ve *Nummulites* sp. içeren kireçtaşı seviyeleri gözlenmiştir (Şekil 3.24).

Birimin Dikmen formasyonu ile olan dokanağı çalışma sahası içinde faylıdır, ancak çalışma sahası güneyinde Saçmalıpınar köyü doğusunda uyumlu oldukları gözlenmiştir. Güney köyü ve Pazarcık mahallesi civarında birim Üst Miyosen yaşlı Pazarcık formasyonu ile açısız uyumsuzlukla örtülür.



Şekil 3.23 : Güney köy kuzeyinde Derinoba formasyonuna ait bir mostra.



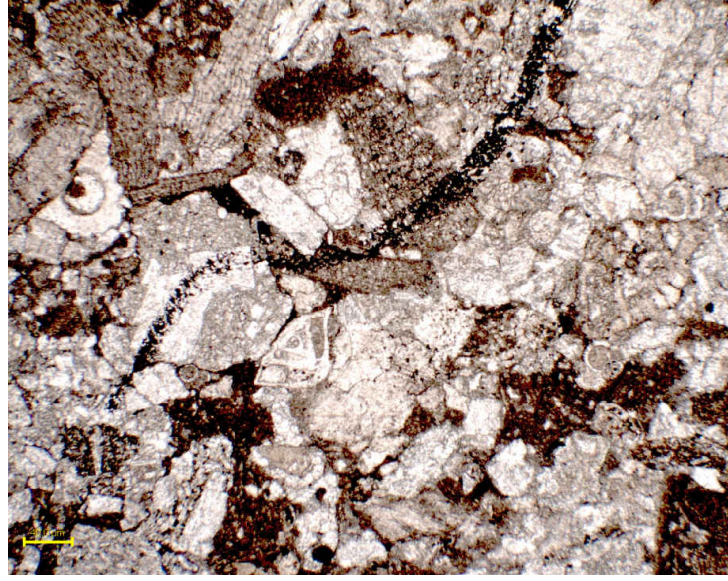
Şekil 3.24 : Derinoba formasyonu içerisinde yer alan *Nummulites* sp. fosili içeren dayanımlı kireçtaşı seviyeleri.

Abdüsselamoğlu (1959) birim içerisinde derlediği *Nummulites* sp. ve *Assilina* sp. fosillerine dayanarak birimin yaşının Eosen olduğunu ve Üst Kretase çökelleri üzerinde diskordan durduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada birim içerisinde alınan

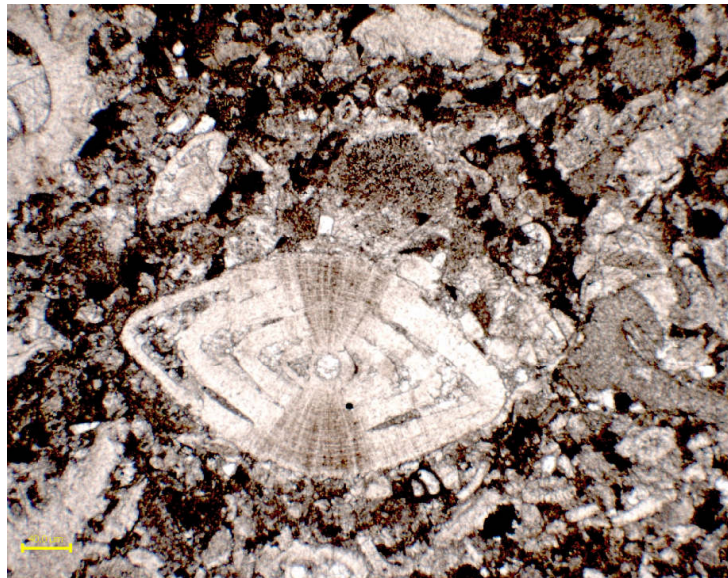
numunelerin ince kesitlerinde (Şekil 3.25 ve 3.26) Doç.Dr. Ercan Özcan tarafından şu fosiller tayin edilmiştir:

- Orthofragmin,
- *Nummulites* sp.,
- *Rotalia* sp.,
- Gyroidinealla (?) magna,
- Globigerina.

Bu fosil içeriğine göre formasyonun yaşı Erken-Orta Eosen'dir.



Şekil 3.25 : Derinoba formasyonu içerisinde alınan numunenin ince kesit görüntüsünde izlenen çeşitli foraminiferler (sol altta görünen sarı çizgi 40 µm.'dir.)



Şekil 3.26 : Derinoba formasyonu içerisinde alınan bir numunenin ince kesitinde *Nummulites* sp. fosili (sol altta görünen sarı çizgi 40 µm.'dir.)

3.2.2.8 Dikmen formasyonu

Dikmen formasyonu andezit, bazalt gibi volkanik kayalar, aglomera seviyeleri ve volkanojenik kumtaşı-şeyl ar dalanması ile temsil edilmektedir (Şekil 3.27-3.29). Çalışma sahasında en iyi görüldüğü kesimler Bakacak köyü civarı, Karadere köyü güneyi, Kadifekale köyü batısında Aksu vadisi batısı, Çayköy ve Kemeryanı köyü güneyidir.

Yılmaz ve diğ. (1981) tarafından birim Dikmen volkanitleri olarak adlanmış ve litolojisi bazik ve iri plajioklas kristalli ortağ lav, volkanojenik çamurtaşı-çakıltaşı ile katmanlı piroklastik seviyeler olarak tanımlanmıştır.

Çalışma alanında, Karadere köyü güneyi ve Çayköy civarı birimin lav kesimlerinin en iyi gözlendiğı lokasyonlardır. Bakacak köyü civarında altere olmuş andezitler geniş alanlar kaplar. Mostra renkleri bazaltlarda siyah, koyu gri; andezitlerde kı zıl, mor renklerde izlenmiştir. Volkanosedimanter kesimler ise kı zıl kahve, bordo ve mor renklerde gözlenmiştir.



Şekil 3.27 : Güney köyü kuzeyinde Dikmen formasyonunun volkanosedimanter seviyeleri.



Şekil 3.28 : Karadere köyü güneyinde Dikmen formasyonunu temsil eden lavlar ve içerisinde gelişmiş bir fay.



Şekil 3.29 : Kemeryanı köyü güneybatısında Dikmen formasyonunun volkanosedimanter ve lav kayalarının görünümü.

Yılmaz ve diğ. (1981) birimin Derinoba formasyonuna ait kırıntılılarla yer yer ardalanmalı olmakla beraber Derinoba formasyonunun altında ve uyumlu bulunduğunu belirtmişlerdir.

Birimin haritalama sahası içerisinde diğer birimlerle olan hemen hemen tüm dokanakları faylıdır. Kadifekale köyü kuzeydoğusunda Üst Kretase yaşlı Abant karmaşığını, Gölyaka kuzeyinde, Kemeryanı köyü batısında Üst Kretase yaşlı Değirmentepe formasyonunu açısız uyumsuzlukla örtmektedir. Birim haritalama sahası güneyinde Saçmalıpınar köyü güneybatı kesimlerinde Derinoba formasyonu üzerinde uyumlu olarak gözlenmiştir.

3.2.2.9 Güzlek formasyonu

Güzlek formasyonu kırmızı çamur matrisli konglomera, kırmızı kumtaşı ve kırmızı çamurtaşından oluşmaktadır. Güzlek köyü kuzeyindeki yüksek düzlük alanlarda yaygın olarak gözlenmiş olmasından dolayı birim Güzlek formasyonu olarak adlanmıştır. Konglomera seviyelerinde metamorfik, kuvars, kireçtaşı ve diğer kayaç parçalarından türemiş çok köşeli, köşeli taneler gözlenmiştir. Tane boyu en fazla 5 cm.'dir (Şekil 3.30). Birim genellikle yüksek düzlük alanlarda yayvan bir topoğrafya oluşturmaktadır ve üzerine geldiği kendisinden daha yaşlı tüm kayaları açısal uyumsuz olarak örtmektedir (Şekil 3.31). Birime yaş verebilecek herhangi bir fosil bulgusu yoktur fakat Pazarcık mahallesi güneybatısında, Eosen birimlerini açısal uyumsuzlukla örtmesi nedeniyle bölgede Üst Miyosen'den itibaren başlayan sedimanter çökelimin (Akartuna, 1968) ilk ürünleri olabileceği düşünülüp, yaşı Üst Miyosen olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.30 : Güzlek köyü civarında Güzlek formasyonunun çakıllı seviyeleri.



Şekil 3.31 : Güzlek köyü Pazarköy arasında İznik metamorfikleri ve Güzlek formasyonunun dokanağı.

3.2.2.10 Pazarcık formasyonu

Pazarcık formasyonu karbonat çimentolu konglomera seviyeleri ile temsil edilmektedir. Birimin en iyi gözlemlendiği lokaliteler Güneyköy doğusu ve Pazarcık mahallesi kuzeydoğusudur. En sürekli mostraları Pazarcık mahallesi kuzeydoğusunda gözlemlendiği için bu çalışmada Pazarcık formasyonu olarak adlanmıştır.

Konglomerayı oluşturan taneler ağırlıklı olarak metamorfik kayaç parçalarından oluşur, ayrıca kuvars taneleri de içermektedir. Metamorfik taneler çok köşeli ve yarı köşeli, kuvars taneleri ise yuvarlak, yarı yuvarlaktır. Metamorfik tanelerde, yaygın tane boyu 5-10 cm. arasında değişir. Kuvars taneleri ise 3-6 cm. arasındadır. Birimin izlendiği mostralarda tabakalanması genellikle belirgin değildir (Şekil 3.32).

Pazarcık formasyonu, Güney köyü ve Çayköy batısı arasında yüksek alanlarda yüzeyler ve stratigrafik olarak altında bulunan birimleri açısız bir uyumsuzlukla örter. Pazarcık mahallesi güneybatısında Güzlek formasyonu ile yanal ve düşey geçişli olan ilişkisi nedeniyle yaşı Üst Miyosen olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.32 : Pazarcık mahallesi kuzeydoğusunda Pazarcık formasyonunun konglomeratik seviyeleri.

3.2.2.11 Örencik formasyonu

Örencik formasyonu alüvyal yelpaze ve akarsu çökelleri ile temsil edilir. Çalışma sahasında Karadere, Sümbüllü, İkraniye ve Çamlıca köyleri civarında geniş yayılım göstermektedir. Birim Aydın ve diğ. (1987) tarafından Örencik formasyonu, Emre ve diğ. (1998) tarafından Karapürçek formasyonunun Hendek üyesi olarak adlandırılmıştır. Herece ve Akay (2003) ise birimi çakıltası-kumtaşı birimi adı ile haritalamıştır.

Haritalama sahasında formasyon turuncumsu sarı, kızılımsı kahve renklerde gevşek, orta gevşek tutturulmuş kum, çakıl ve konglomeratik seviyeler ile temsil edilmektedir. Birimin içerisinde yaygın olan iyi yuvarlanmış volkanik tanelerin yanı sıra, yarı yuvarlak yarı köşeli kuvars, metamorfik ve kireçtaşı taneleri de gözlenmiştir (Şekil 3.33 ve 3.34).

Kum seviyeleri iyi boylanmalı, konglomeratik seviyeler ise kötü veya çok kötü boylanmalıdır. İkraniye köyü güneyinde yaygın tane boyu 3-4 cm, Sümbüllü köyü civarında 8-10 cm'dir. Çamlıca köyü kuzeyinde, Karadere segmenti tarafından kesilen Açma tepe eteklerinde ise kum boyutundan yaklaşık 1 m'ye varan blok boyutuna kadar taneler birarada gözlenmiştir (Şekil 3.35).



Şekil 3.33 : Örencik formasyonunun, Süleymaniye köyü kuzeyinde akarsu stratigrafisinin en iyi gözlemlendiği kesimleri.



Şekil 3.34 : Örencik formasyonunun içerisinde yer alan taneler.



Şekil 3.35 : Açma tepe eteklerinde Örencik formasyonunun çok kötü boylanmış seviyeleri.

Emre ve diğ. (1998) İzmit-Adapazarı koridorunda Karapürçek formasyonu olarak adlandırdığı birimin içerisinde birbirine yanal ve düşey geçişli olan üç üye ayırtlamıştır. Bunlar, en Geç Pliyosen-Erken Pleistosen yaşlı (Toker ve Şengüller, 1995; Çetin ve diğ., 1995, Ünay ve diğ, 2001) Değirmendere üyesi, Erken Pleistosen yaşlı Kumbaşı üyesi ve Orta Pleistosen yaşlı Hendek üyesidir. Yazarlar, Hendek üyesinin Sakarya nehrinin Geç Pleistosen yaşlı sekileri ve Holosen dolguları ile uyumsuz olarak örtüldüğünü, bu alt ve üst dokanak ilişkilerine dayanarak yaşının

Orta Pleistosen olarak belirtmişlerdir. Herece ve Akay (2003) ve Aydın ve diğ. (1987) birimi Pliyosen olarak haritalamıştır.

Birim Çamlıca köyü doğusunda metamorfik temel üzerinde, Kızanlık köyü civarında ise Üst Kretase yaşlı Sümbüllü formasyonunun üzerinde diskordan olarak durur. Kızanlık köyü kuzey ve güneyinde birimin Sümbüllü formasyonu ile dokanağı farklı yükseklikte durmaktadır. Kuzeyde tabanı yaklaşık 320 m. kotlarında izlenirken güneyde yaklaşık 260 m. kotlarındadır. Bu gözlem, segment boyunca meydana gelen sağ-yanal yer değiştirmeye, kuzey bloğun yükselmesi şeklinde düşey yer değiştirmenin de eşlik ettiğini göstermektedir.

3.2.2.12 Karadere formasyonu

Aksu vadisi boyunca eski alüvyon çökelleri sadece Güneyköy güneyinde haritalanmıştır. Karadere köyü güneyi ve Hacısüleymanbey köyü güneybatısında haritalanamayacak kadar az alan kaplayan eski alüvyon çökelleri gözlenmiştir. Karadere köyü güneyinde gözlenen eski alüvyon çökellerinde yapılan C14 tarihlendirmesi sonucunda günümüzden 15.000 yıl öncesine denk gelen bir tarih elde edilmiştir (Şekil 3.36).



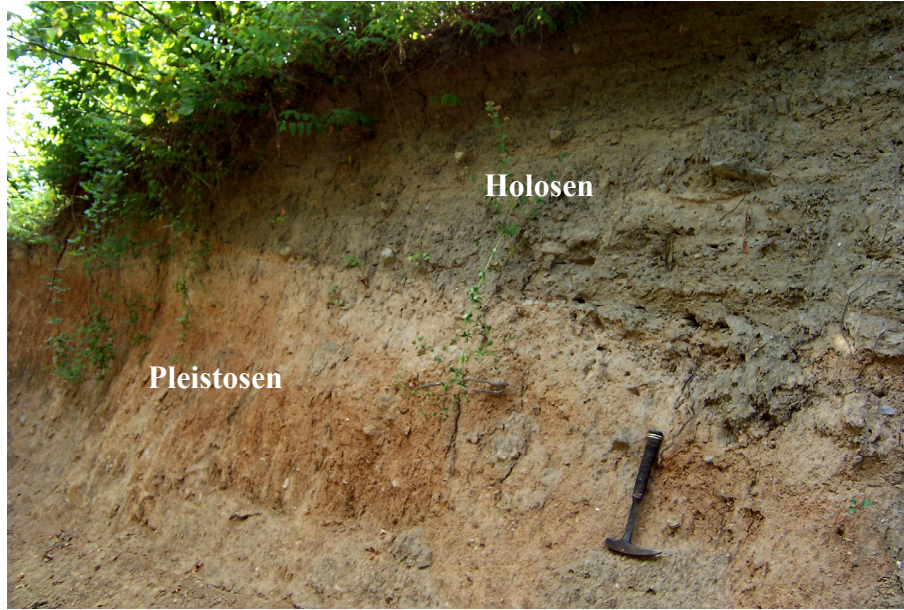
Şekil 3.36 : Karadere köyü güneyinde eski alüvyon ve içerisinde gelişmiş faylanmalar.

3.2.2.13 Güncel çökeller

Çalışma sahasında Kuvaterner çökelleri alüvyon, eski alüvyon ve yelpaze çökelleri ile temsil edilmektedir.

Çalışma sahası batı kesiminde Sakarya ovası, doğu kesiminde ise Düzce ovası ile sınırlıdır. Bu ovalar kalın alüvyon çökellerinin birikmiş olduğu sahalardır. Karadere batısında, Çamlıca (Haraklı) köyü ve Kızanlık köyü arasında uzanan dere boyunca (Şekil 3.37) ve kuzeye akan Çamlıca ve Kızanlık vadileri boyunca derelerin geri

aşındırmasıyla kalmış alüvyon birikintileri haritalanamayacak bir ölçekte yer almaktadır. Karadere doğusunda ise Aksu vadisinde dere mahallesi doğusunda güncel alüvyon çökelleri haritalanmıştır.



Şekil 3.37 : Çamlıca köyü doğusunda Pleistosen ve Kuvaterner çökelleri.

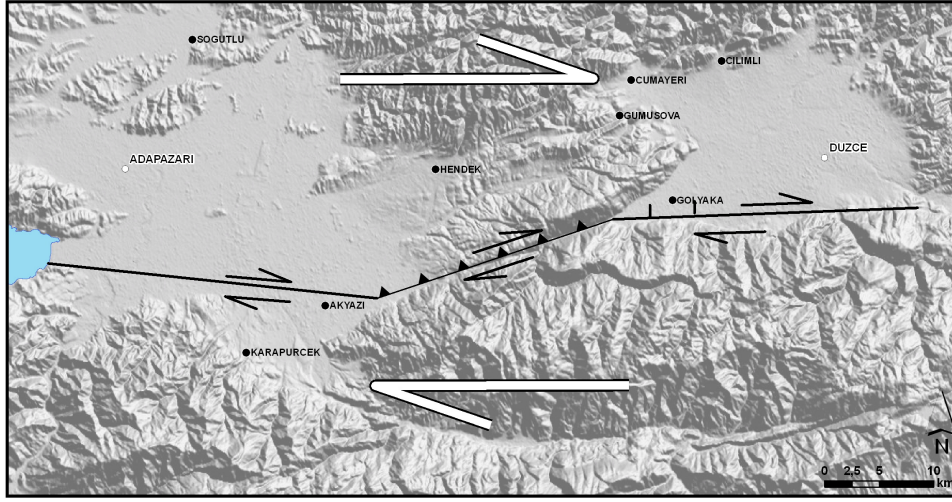
3.3 Karadere Segmenti Civarı Jeolojisinin Uzun Dönem Yer Değiştirmeler Açısından Değerlendirilmesi

Karadere segmenti boyunca yapılan temel jeoloji haritalaması sonunda metamorfik bir temel üzerinde Üst Kretase, Paleosen, Erken-Orta Eosen, Üst Miyosen (?), Pleistosen ve Kuvaterner yaşlı birimler haritalanmıştır. Yapılan haritalama sonucunda, aynı yaşlı birimlerin Karadere segmenti kuzey ve güneyinde farklı kotlarda yer aldığı görülmüştür.

Segmentin kuzey kesiminde Üst Kretase çökelleri geniş alanlar kaplar ve daha kuzeyde Erken-Orta Eosen çökelleriyle örtülürlerken, segmentin güneyinde Erken-Orta Eosen çökelleri ile tektonik dokanak sunarlar. Kuzey kesimde Eosen birimlerinin daha yüksek kotlara yükselmiş olması, segment üzerinde meydana gelen sağ-yanal harekete önemli bir miktarda düşey hareketin de eşlik ettiğini göstermektedir.

Çalışmada gözlenen bir diğer düşey hareket göstergesi Kızanlık köyü civarında Orta Pleistosen yaşlı Örencik formasyonunun kendisinden daha yaşlı birimleri örter durumda olan dokanağıdır. Segmentin kuzeyinde bu dokanak ilişkisi güneyine göre daha yüksek kotlarda devam eder (bakınız: EK.B, B-B' jeolojik enine kesiti).

Karadere segmentinin, bölgedeki sağ-yanal makaslama sistemi içerisindeki konumu ve geometrik özellikleri böyle bir bindirme karakterinin olması gerekliliğini doğurur (Şekil 3.38).



Şekil 3.38 : Karadere segmenti boyunca bindirme bileşenli sağ-yanal hareket.

Karadere segmenti boyunca yapılan temel jeoloji haritalaması sonucunda, çalışma öncesinde amaçlanan uzun dönem sağ-yanal yer değiştirmenin ölçülebileceği güvenilir noktalar belirlenememiştir, fakat segmentin kuzey kesiminde en fazla Erken-Orta Eosen sonrasında itibaren düşey yönde önemli hareketler meydana geldiği ve kuzey bloğun yükseldiği ortaya konmuştur.

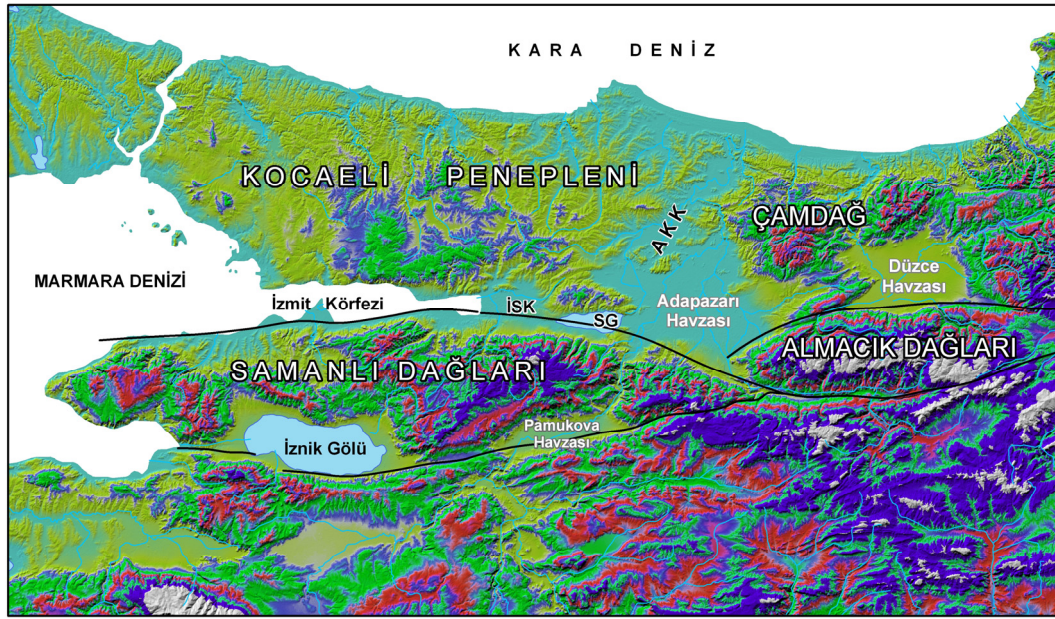
4. FAY MORFOLOJİSİ ve ÖTELENMİŞ YAPILAR

Türkiye'nin kuzeyini boydan boya kateden KAF, doğu Marmara bölgesinde, Bolu ilinden batıya doğru iki kola ayrılır ve bölgedeki farklı morfolojik ve jeolojik özellikte kaya toplulukları arasında sınır oluşturur. Bu bölümde, doğu Marmara'nın morfotektonik üniteleri tanıtıldıktan sonra, İzmit körfezi ve Düzce ili arasında KAF'ın kuzey kolu boyunca fay hareketine bağlı gelişen morfolojik yapılar ve fay üzerindeki morfolojik ötelenmeler dört bölge başlığı altında anlatılacaktır. Batıdan doğuya doğru bu bölgeler; İzmit körfezi ve Sapanca Gölü arasında kalan bölge, Sapanca gölü ve civarı, Sapanca ve Akyazı arasında kalan bölge ile Akyazı ve Gölyaka arasında kalan bölgelerdir.

4.1 Doğu Marmara Bölgesinin Morfotektonik Üniteleri

Doğu Marmara bölgesinde KAF'ın güney kolu kuzeyinde beş farklı morfotektonik ünite yer almaktadır. Bunlar; Kocaeli penepleni, Çamdağ-Akçakoca yükselimi, Adapazarı-Karasu koridoru, Armutlu yarımadasında Samanlıdağları ve doğusundaki Almacık dağından oluşan Armutlu-Almacık yükselimi ile KAF zonudur (Şekil 4.1).

KAF'ın kuzey kolunun kuzeyinde kalan eski aşınım düzlüğü Kocaeli penepleni ya da Trakya-Kocaeli penepleni olarak anılır ve doğuda Sakarya nehri boyunca Adapazarı-Karasu Koridoru ile sınırlanır (Emre ve diğ., 1998; Yiğitbaş ve diğ., 2004). Erken-Orta Miyosen'de şekillenmiş ve neotektonik dönem öncesinde Marmara bölgesinde geniş alanlar kaplamış olan bu peneplen yüzeyinin ortalama yüksekliği 150-250 metredir ve yüzey kuzeye doğru eğimlidir (Emre ve diğ., 1998). Adapazarı-Karasu koridoru boyunca Sakarya nehri doğusundan Zonguldak'a kadar olan kesim, Yiğitbaş ve diğ. (2004) tarafından Çamdağ-Akçakoca yükselimi olarak adlanmıştır. Yazarlar, aynı paleotektonik ünitelere sahip fakat aralarında 1000 m. kot farkı bulunan bu iki farklı morfolojinin Adapazarı-Karasu koridoru boyunca, Üst Miyosen'de var olan bindirme bileşenli bir doğrultu-atım fayı ile sınırlandığı görüşündedir.



Şekil 4.1 : Doğu Marmara bölgesinin morfotektonik üniteleri (Emre ve diğ., 1998 ve Yiğitbaş ve diğ., 2004'ten değiştirilerek). İSK: İzmit-Sapanca Koridoru; AKK: Adapazarı-Karasu Koridoru, SG: Sapanca Gölü.

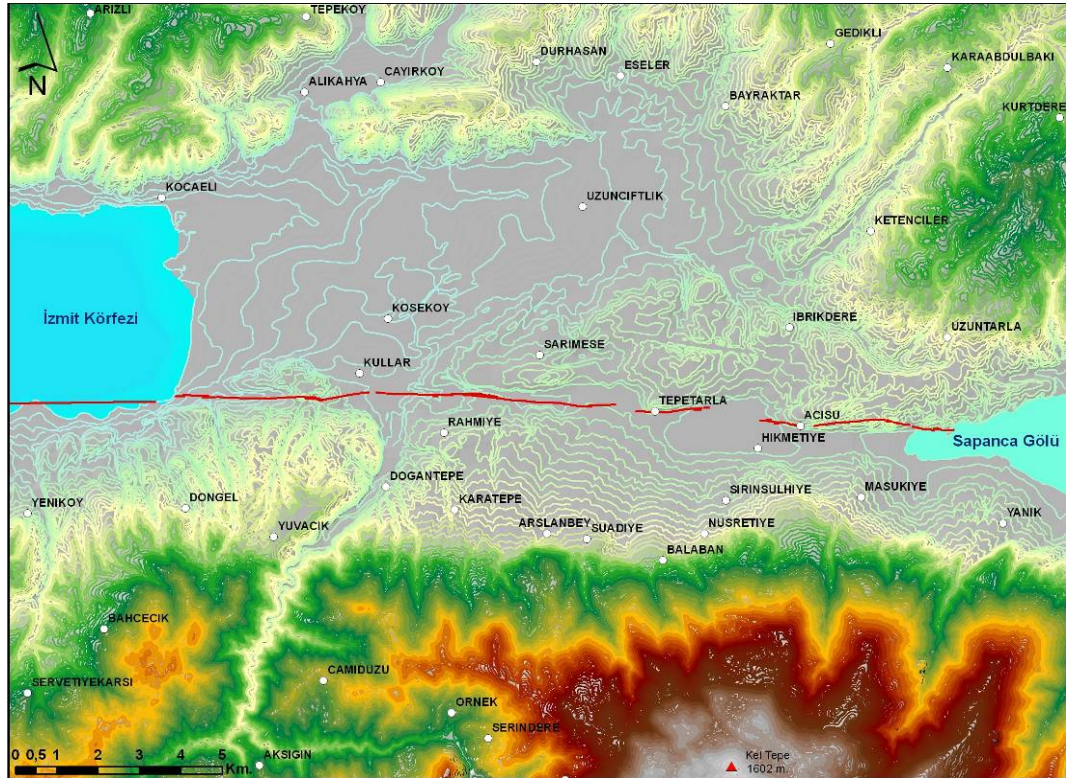
KAF'ın kuzey kolunun güneyinde, batı kesimde Samanlı dağları, doğu kesimde ise Almacık dağları yer almaktadır. Bazı araştırmacılar tarafından Samanlıdağ rölyefi, bazı araştırmacılar tarafından ise Armutlu-Almacık yükselimi olarak anılmaktadır. KAF'ın kuzey ve güney kolları arasında pozitif bir çiçek yapısı olarak yükselmiş olan Samanlıdağları ve Almacık Dağı, kuzeyindeki Kocaeli penepleni ve güneyindeki Bursa-Bilecik rölyefinden soyutlanarak ayrı bir morfotektonik üniteye dönüşmüştür ve genelde Neojen öncesi temel kayalardan oluşmaktadır (Emre ve diğ., 1998). Samanlıdağları ve Almacık dağının oluşturduğu bu yükselim, ortalama 700-1000 m. arasında değişen yüksekliklere sahip bir plato özelliğindedir. Emre ve diğ. (1998) bu yükselim üzerinde iki farklı drenaj sistemi ayırdetmiştir. Bunlardan biri plato düzlüklerinde gelişmiş kuzeye yönelimli geniş tabanlı vadi formlarıdır. Diğeri ise KAF zonuna yakın kesimlerde kısa boylu akarsular ve 'V' şekilli, sarp morfolojili vadilerle tanınan genç bir drenaj şebekesidir.

Yukarıda anlatılan morfotektonik üniteleri birbirinden ayıran KAFZ ayrı bir morfotektonik üniteyi temsil etmektedir). KAF'ın kuzey güney kolları üzerinde D-B uzanımında koridor şeklinde iki büyük morfolojik oluk yer almaktadır. Bunlar kuzeyde İzmit-Adapazarı koridoru, güneyde ise Gemlik-Geyve koridorudur (Bilgin, 1984; Emre ve diğ., 1998). Güneydeki koridor üzerinde İznik gölü ve Pamukova havzası yer alır. Kuzeydeki oluk üzerinde ise İzmit körfezi ve Sapanca gölü çöküntü

alanları olarak bulunur. Adapazarı ve Düzce havzaları ise KAF boyunca ve KAF'ın kuzeyinde Çamdağ-Akçakoca yükselimi üzerinde yer almaktadır.

4.2 İzmit Körfezi ve Sapanca Gölü Arasında Fay Morfolojisi ve Ötelenmiş Yapılar

İzmit körfezi ile Sapanca gölü arasında 1999 İzmit depremi yüzey kırığı yaklaşık doğu batı uzanır ve kuzeyde ve güneyde iki farklı özellikte morfolojik alanı birbirinden ayırır. Kuzey kesim oldukça yumuşak bir topoğrafya sunar ve daha kuzeyde ortalama yüksekliği 250-300 m civarı olan topoğrafya izlenir. Güney kesimde ise kuzeye göre oldukça yüksek alanları koruyan bir topoğrafya yer alır. Kuzeydeki en yüksek nokta 384 m iken güneyde Kel Tepe 1602 m yüksekliğindedir (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2 : İzmit Körfezi ve Sapanca Gölü arasında topoğrafik görünüm. (Kırmızı çizgiler 1999 İzmit depremi yüzey kırığını göstermektedir.)

Yüzey kırığı boyunca topoğrafyada uzun dönem ötelenmelerle oluşmuş fay morfolojisine ait örnekler yer almaktadır. Bu durum, faylanmanın belli bir süre bu güzergahı takip ettiğini göstermektedir. Kırık, İzmit körfezi ve Sapanca gölü arasında, gölün batısında yer alan Acısu köyü civarı haricinde bir oluk yapısını takip etmiştir. İzmit ve Sapanca gölü arasında uzanan bu oluk, ilk olarak Kobelt (1898)

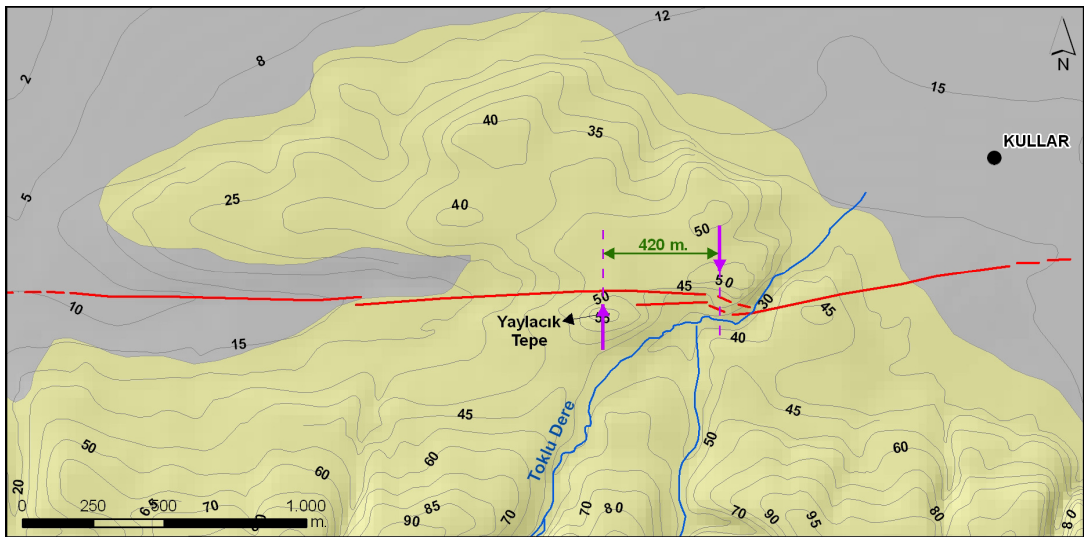
tarafından tanımlanmıştır. Daha sonra Lahn (1948), oluğun tektonik kökenli olduğunu belirtmiştir. Güneyde, yüksek morfolojinin kuzey sınırını oluşturan, Yuvacık-Balaban köyleri arasında uzanan çizgisellik KAF'a bağlı oluşmuş morfolojik bir çizgiseliktir (Bilgin, 1967; Akartuna, 1968). Bilgin (1984) bu kesimden kuzeye doğru yer alan morfolojik kademelerden bahsetmektedir. Güneydeki bu morfolojik çizgisellik KAF tarafından önceki dönemlerde kullanılan güzergahı temsil eder. Bu durumda, KAF'ın bölgede güneyden kuzeye göç ettiğini söylemek mümkündür.



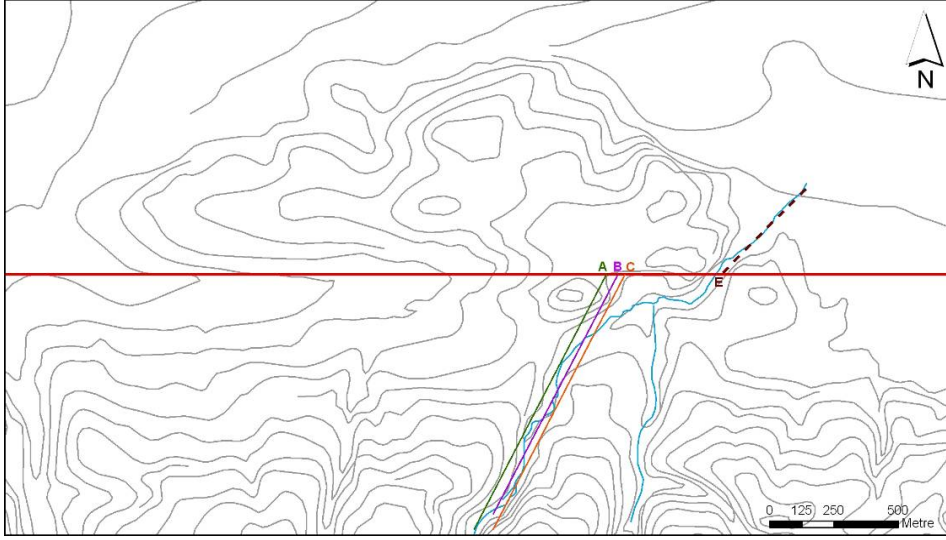
Şekil 4.3 : a) Kullar köyünün yaklaşık 2,5 km güneybatısında, Yüceller mevkiinde 1999 yüzey kırığının izlediği D-B uzanan oluk morfolojisinin batı bakışlı görünümü. Sarı çizgi 1999 İzmit depremi yüzey kırığını, mavi çizgi ise topoğrafik kesiti temsil etmektedir. b) Yüceller mevkiinde, oluk yapısının kuzeyindeki yükseltiden GGB'ya bakışlı fotoğraf.

İzmit Körfezi doğusunda yüzey kırığı Pliyosen yaşlı Arslanbey formasyonunu (Akartuna, 1968) biçerek devam eder ve uzun dönem faylanma sonucu Pliyosen-Kuvaterner arası gelişen çökellerinin oluşturduğu morfolojide bir oluk yapısı gelişmiştir. Bu kesimde, Kullar köyünün yaklaşık 2,5 km güneybatısında, Yüceller mevki bu durumun en bariz izlenebildiği lokasyonlardan biridir (Şekil 4.3a ve b).

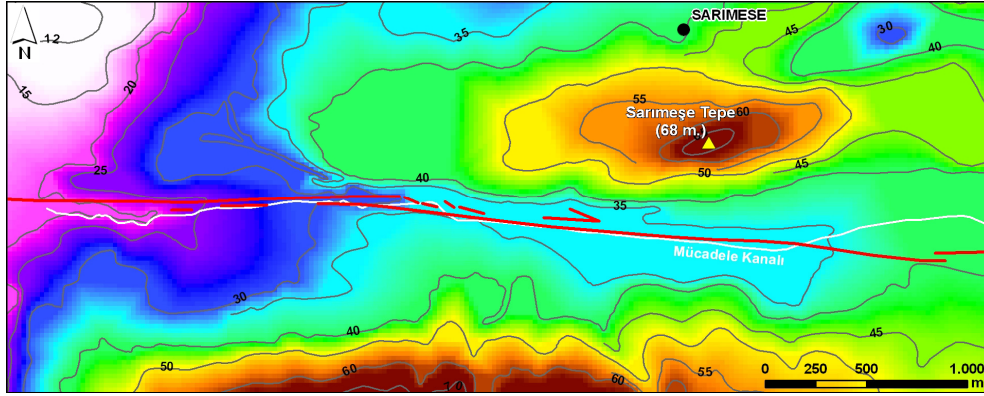
Kullar köyü güneybatısında Yaylacık Tepe (68 m) ve Toklu Dere'de uzun dönemde gelişen sağ-yanal yerdeğiştirmeler meydana gelmiştir. Yaylacık Tepe yaklaşık 420 m sağ-yanal yer değiştirmiştir (Şekil 4.4). Bu kesimde, güneyden kuzeye akan Toklu Dere fay zonuna yaklaştığında doğuya doğru çarpılarak doğusunda bulunan bir diğer dere ile birleşip kuzeydoğu istikametinde akmaktadır (Şekil 4.4, 4.5). Toklu Dere'de meydana gelen sağ-yanal ötelenme değerini ölçebilmek için üç referans noktası kullanılmıştır. Güney kesimde A, B ve C noktaları; kuzey kesimde ise E noktası deredeki toplam ötelenmenin ölçülmesinde referans alınmıştır (Şekil 4.5). Buna göre; A-E noktaları arasında 450 m, B-E noktaları arasında 410 m, C-E noktaları arasında ise 380 m toplam sağ-yanal yerdeğiştirme ölçülmüştür. GPS çalışmaları KAF üzerindeki kayma hızının yaklaşık 24 mm/yıl olduğunu göstermektedir (McClusky ve diğ., 2000). Blok modelleme çalışmalarında İzmit-Adapazarı için öngörülen kayma hızı 28 mm/yıl'dır (Reilinger ve diğ., 2006). Bu çalışmada ise Sakarya nehri batısında yer alan morfolojik bir yapının ötelenmesi ve OSL yaşlandırmasıyla elde edilen kayma hızı son 1000 sene için $22,2 \pm 3$ mm/yıl hesaplanmıştır. Bu çalışmada hesaplanan kayma hızının en az değeri olan 19,2 mm/yıl gözönünde bulundurulursa KAF'ın en az yaklaşık 20.000 yıldır bu güzergahı takip ettiği söylenebilir.



Şekil 4.4 : Kullar köyü güneybatısında, Yaylacık Tepe'de meydana gelen sağ-yanal ötelenme.



Şekil 4.5 : Kullar köyü güneybatısında Yaylacık mevkiinde Toklu dere’de meydana gelen sağ-yanal ötelenme ve ölçümü için kullanılan referans noktaları.



Şekil 4.6 : Sarimeşe köyü güneyinde 1999 İzmit depremi yüzey kırığı tarafından kat’edilen oluk yapısı ve Sarimeşe Tepe (68 m.).

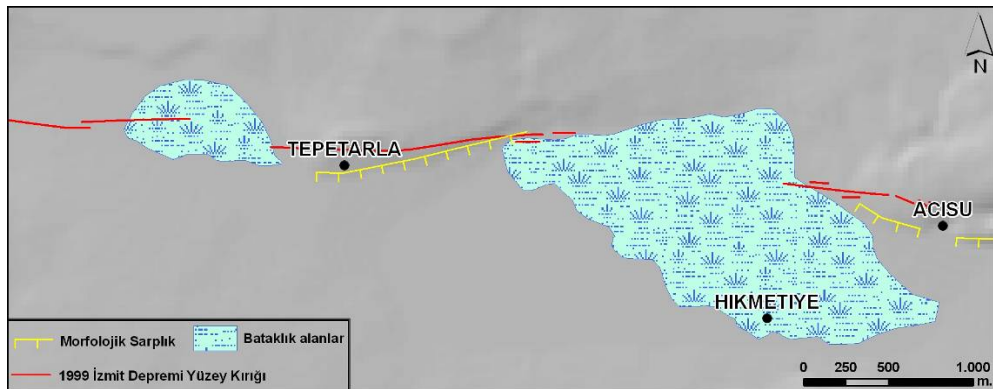
Kullar köyü doğusunda yüzey kırığı Sarimeşe ve Rahmiye köyleri arasında Mücadele kanalı boyunca devam ederek bir oluk morfolojisi içerisinde devam etmektedir. Yüzey kırığının kuzeyinde ve Sarimeşe köyü güneyinde kalan yükseklik (Sarimeşe Tepe, 68 m), Pliyosen çökellerinden oluşur (Herece ve Akay, 2003) ve KAF’ın uzun dönem hareketleri sonucunda uzamış bir sırt görünümü almıştır (Şekil 4.6).

Sarimeşe köyü doğusunda yüzey kırığı sağa sıçramalar yaparak Tepetarla köyünden geçip Acısu köyüne doğru devam eder (Şekil 4.7). Tepetarla köyü güneyindeki morfolojik sarplık, faylanmanın bir müddet bu kesimi kullandığını işaret eder. Fayın sağa sıçramalar yaptığı yerde oluşan çöküntü alanları ve bataklıklar faylanmanın bir süre bu güzergahı takip ettiğini göstermektedir. Birinci sağa sıçrama Tepetarla köyü batısındadır ve bataklık alanın kuzey-güney yönde kısa kenarı 400 m doğu-batı

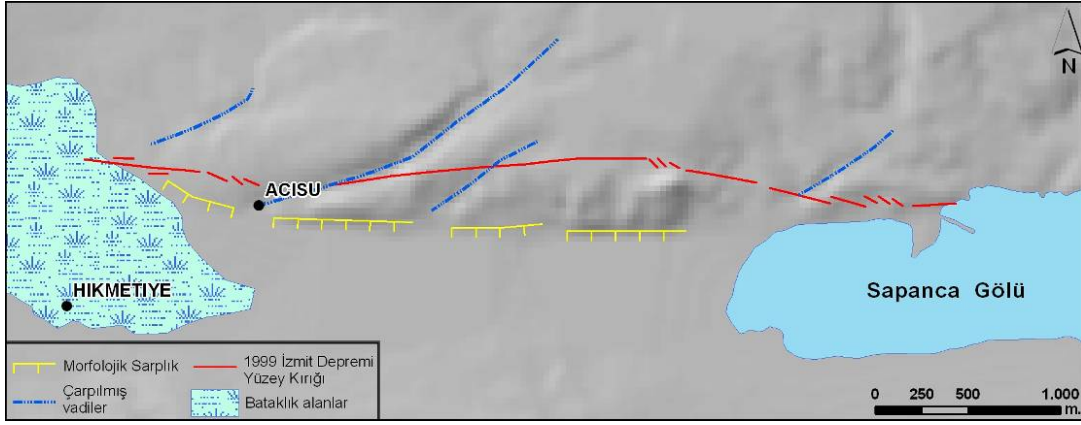
yönde yer alan uzun kenarı ise yaklaşık 830 m'dir. Bir sonraki sağa sıçrama Hikmetiye köyü kuzeyinde, Tepetarla ve Acısu köyleri arasındadır. Bu kesimde sağa sıçramaya bağlı oluşan çöküntü alan romboedrik bir şekil sunar ve romboedrik şeklin uzun kenar eksenini yaklaşık 2700 m kısa kenar eksenini ise yaklaşık 1200 m uzunluğundadır. Bu kesimdeki bataklık alanlar 1961 yılında üretilmiş olan 1/25.000'lik topoğrafik paftalardan sayısallaştırılmıştır ve bu tarihte üzerlerinde herhangi bir yerleşim alanı görülmemektedir. Bugün Hikmetiye köyünün bu bataklık alan içerisinde izlenmesi, muhtemel kurutma çalışmalarından sonrasına denk gelmelidir.

Acısu köyünün doğu ve batısında yer alan vadiler batıya doğru çarpılmış bir çizgisellik sunarlar ve güneyde yer alan bir morfolojik sarpılık ile sınırlanırlar. Acısu köyü güneyinden itibaren Sapanca Gölü'ne kadar izlenen morfolojik sarpılık uzun dönem meydana gelen faylanmanın bir göstergesidir. Son depremin yüzey kırığı bu sarpılığı değil daha kuzeyde yer alan yüksek alanları izlemiştir (Şekil 4.8).

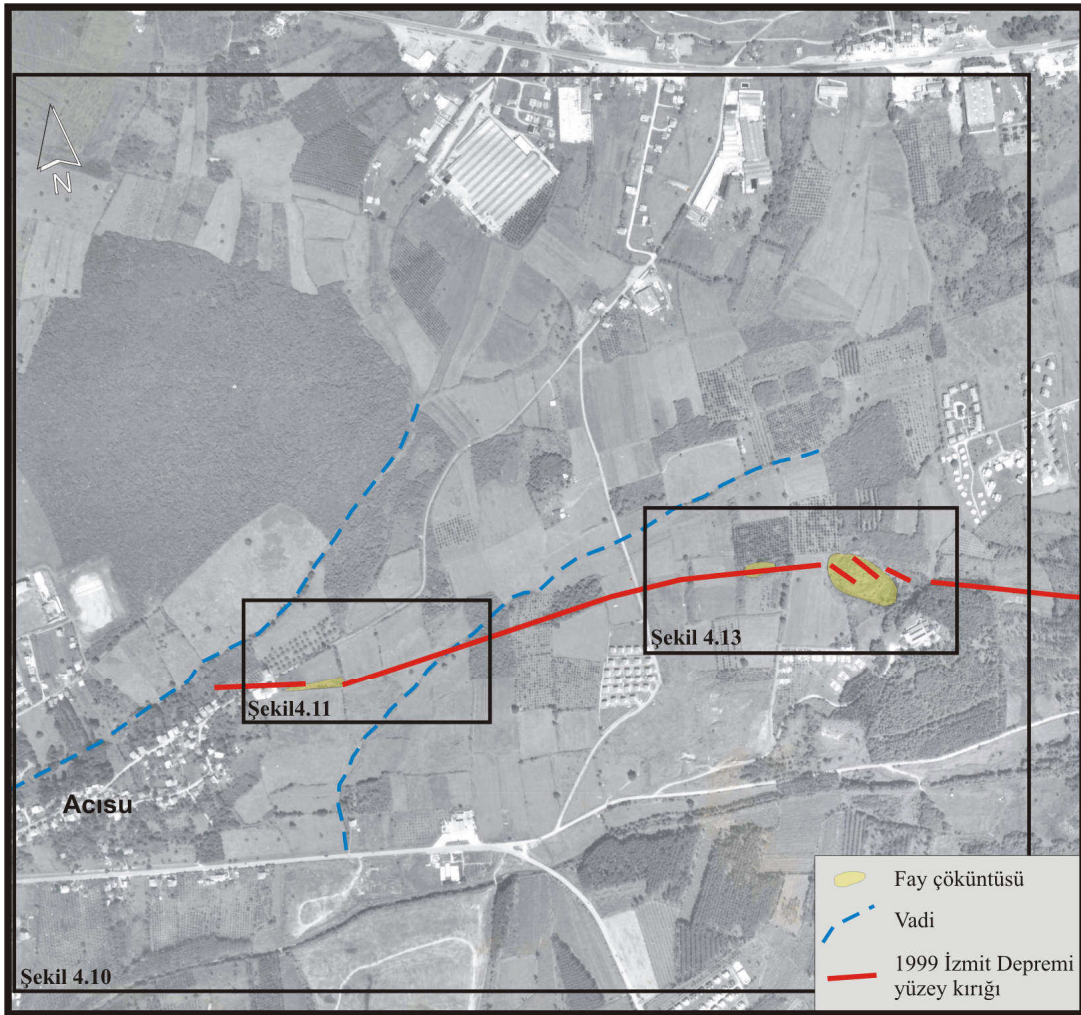
Bu kesimde yüzey kırığı takip edildiğinde üç ayrı çöküntü alanı dikkati çekmektedir. Bunlardan en batıda olan, Acısu köyünün hemen doğusunda yer alan D-B uzanlı bir fay çöküntüsüdür. Çöküntünün doğu-batı yönde uzunluğu yaklaşık 85 m kuzey-güney yönde genişliği ise yaklaşık 20 m'dir (Şekil 4.9, 4.11., 4.12). Yüzey kırığı daha doğuya takip edildiğinde, Acısu köyünün 2 km doğusunda, yaklaşık 70 m uzunlukta 20 m genişliğinde D-B uzanan bir diğer fay çöküntüsü yer almaktadır (Şekil 4.13). Bu çöküntünün 100 m doğusunda, yüzey kırığının kademeli sıçramalarına uyumlu olarak KB-GD uzanan, elips şeklinde bir çöküntü alanı yer alır. Bu çöküntünün uzun kenarı yaklaşık 130 m, kısa kenarı ise yaklaşık 65 m'dir (Şekil 4.13).



Şekil 4.7 : Tepetarla doğusu ve batısında yer alan bataklık alanlar ve izlenen morfolojik sarpılıklar.



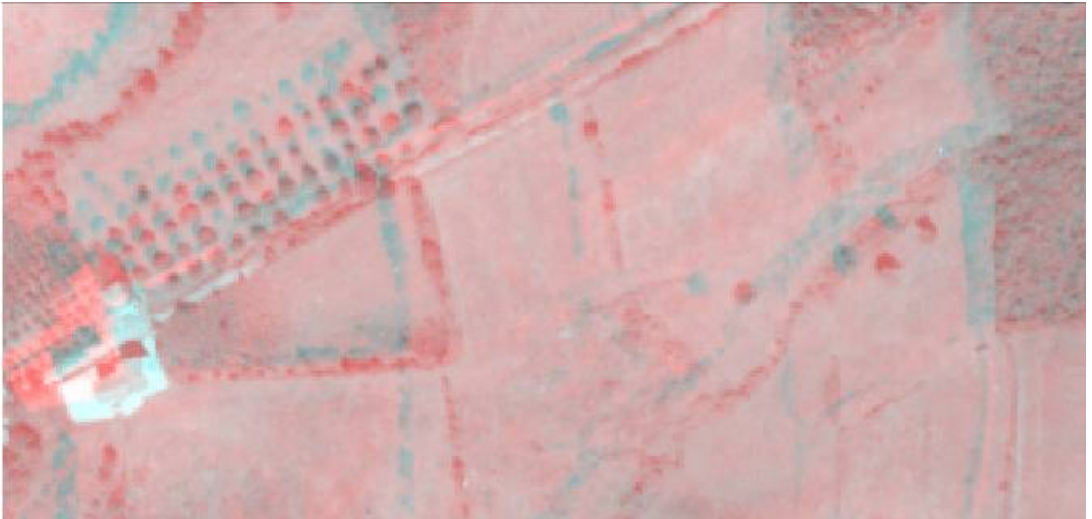
Şekil 4.8 : Sapanca Gölü batısında çarpılmış vadiler ve morfolojik sarplıklarının konumu.



Şekil 4.9 : Sapanca Gölü batısında, Acısu köyü civarında yer alan fay çöküntüleri, çarpılmış vadiler ve fay sarplıklarının konumu.



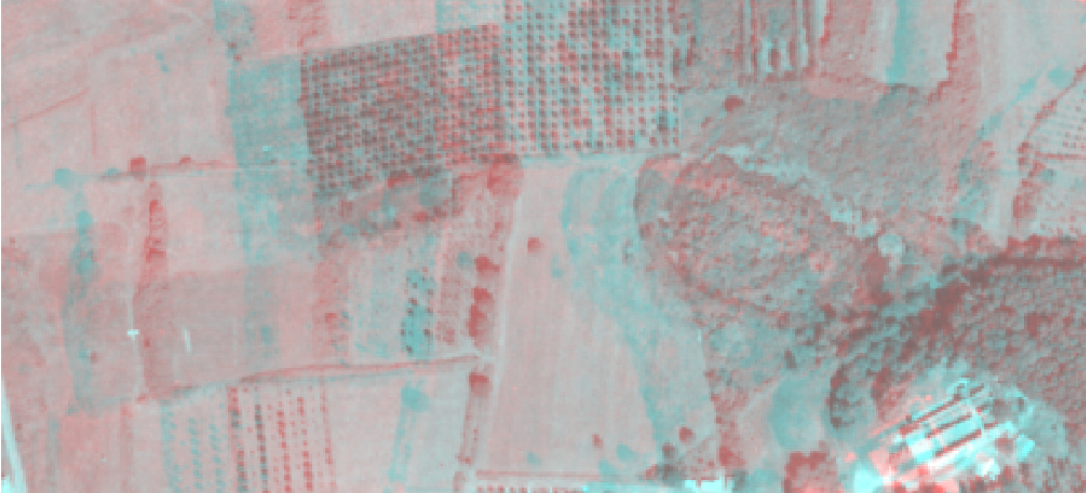
Şekil 4.10 : Sapanca Gölü batısında çarpılmış vadiler ve güneyinde yer alan morfolojik sarplığın stereoskopik görünümü (Üç boyutlu görebilmek için 3B gözlüğü kullanınız).



Şekil 4.11 : Acısu köyünün doğusunda yer alan fay çöküntüsünün stereoskopik görünümü (Üç boyutlu görebilmek için 3B gözlüğü kullanınız).



Şekil 4.12 : Acısu köyü doğusunda yer alan fay çöküntüsü. (Fotoğrafın bakış yönü DGD'yadır)



Şekil 4.13 : Acısu köyünün 2 km. doğusunda yer alan D-B ve KB-GD uzanımlı fay çöküntülerinin üç boyutlu görünümü (Üç boyutlu görebilmek için 3B gözlüğü kullanınız).

İzmit körfezi Sapanca Gölü arasında kalan alanda 1999 İzmit depremi yüzey kırığı boyunca gelişmiş olan morfolojik yapılar ve toplam ötelenmeler yüzey kırığının bir süreden beri bu güzergahı izlediğini işaret etmektedir. Fayın önceki muhtemel güzergahı ise kuzey kesimdeki yüksek topoğrafik kesimi güneydeki yumuşak topağrafyadan ayıran, Acısu ve Sapanca gölü arasındaki çizgisellik boyunca

olmalıdır. Bu gözlemlere dayanarak KAF'ın kuzeye doğru göç ettiğini söylemek mümkündür.

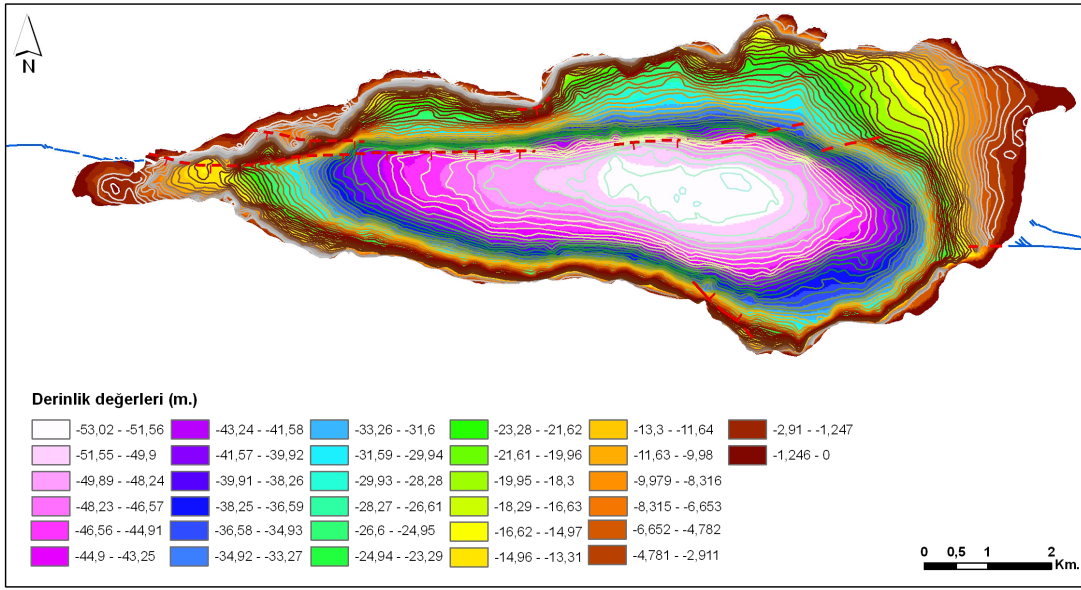
4.3 Sapanca Gölü ve civarı

Sapanca Gölü, batıda Maşukiye (İzmit) kuzeyinden doğuda Uzunkum (Adapazarı) kuzeyine kadar uzanan, KAF'ın segmentlerindeki sağa sıçramaya bağlı olarak gelişmiş, doğu batı uzanımlı bir fay gölüdür. Gölün doğu-batı yönünde uzunluğu yaklaşık 15 km, en geniş olduğu yerde ise kuzey-güney yönünde genişliği yaklaşık 5,4 km'dir. Gölün azami derinliği Erinç (1949) tarafından -61 m ölçülmüştür. Lettis ve diğ. (2002)'de yer alan batimetri verisine göre gölün en derin kesiminde derinlik -53 m'dir (Şekil 4.14).

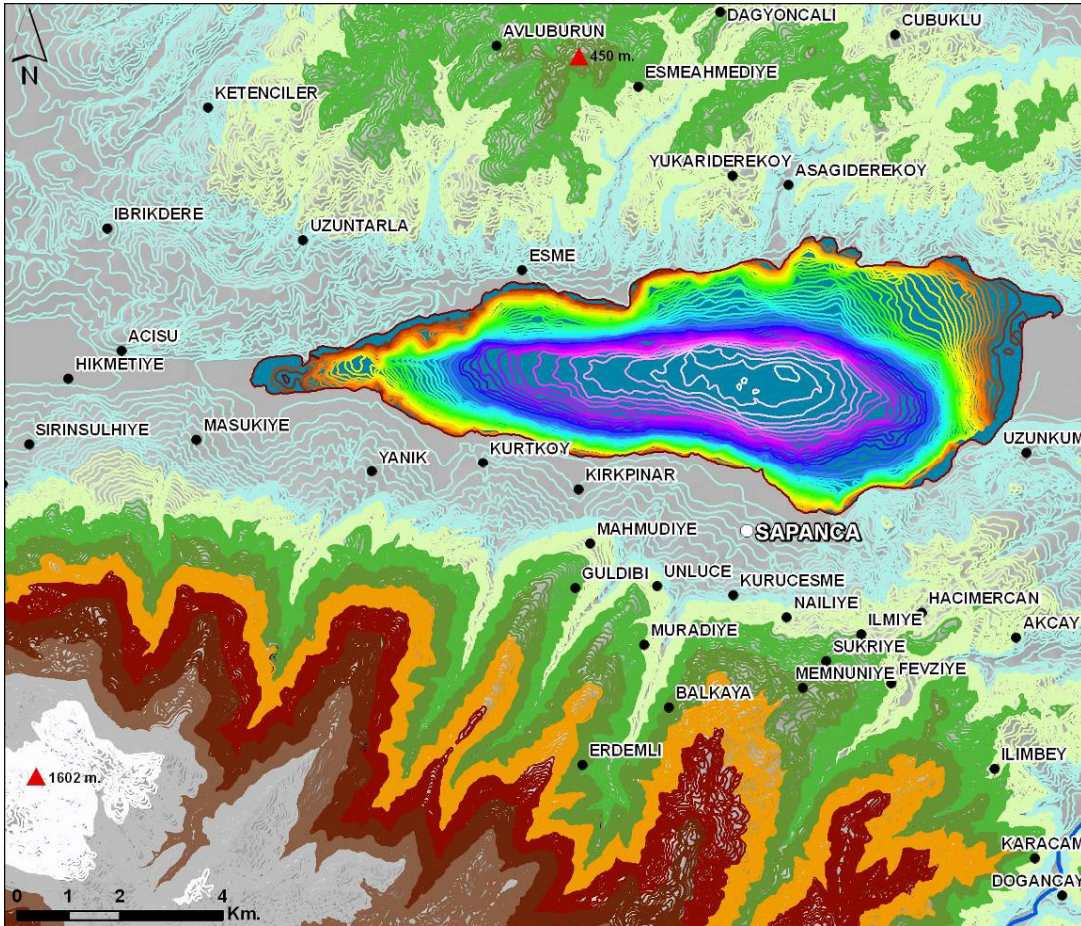
Sapanca Gölü'nün oluşumu hakkında ilk sunulan görüşler, bu gölün İzmit körfezinden ayrılmış bir parça olup aslında Marmara denizi'ne ait olan kalıntı bir göl olduğu şeklindedir (Risch, 1909; Penck, 1918; Pfannenstiel, 1944). Daha sonra İnandık (1952) gölün çevresinde bulunan yükseltilere göre çok derin bir çukur olarak kaldığını, bu nedenle, burada oluşmuş olması gereken çok yeni çökmelerle bu derinliğin sağlanabileceği görüşüyle gölün tektonik kökeni hakkında ilk yorumu yapmıştır. Bilgin (1984) gölün, etrafında bulunan fayların hareketine bağlı olarak çökmüş tektonik bir depresyon olduğunu belirtmiştir.

Gölün kuzey ve güneyinde kalan alanların yükseklik farkı dikkat çekicidir. Kuzeyde yer alan en yüksek nokta EşmeAhmediye köyü kuzeybatısında 450 m'dir. Güneyde ise 1235 m'ye varan yükseltiler yer alır. Gölün güneybatısında Kel Tepe ise Samanlı Dağları'nın en yüksek noktasıdır ve 1602 m yüksekliğindedir (Şekil 4.15).

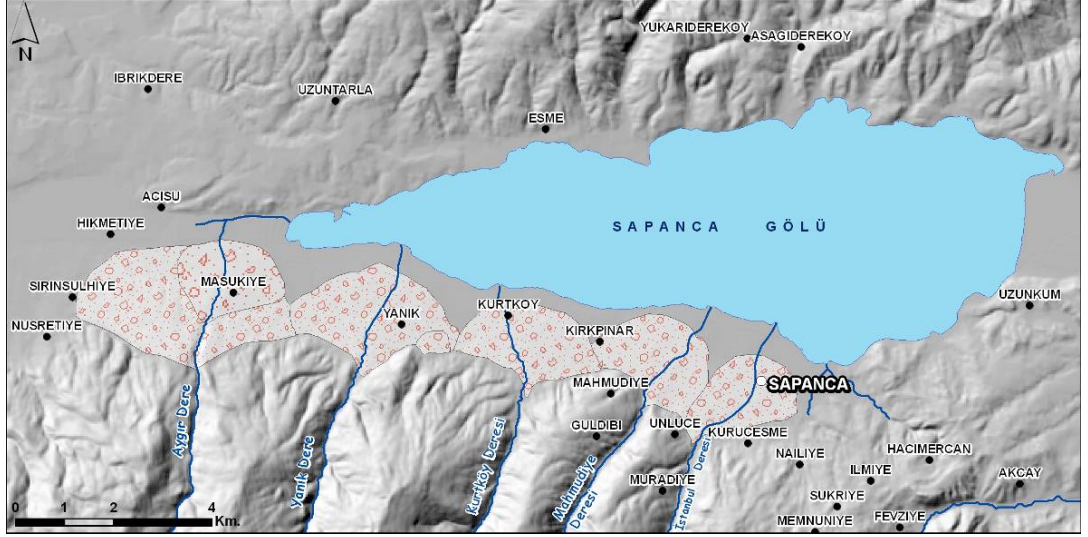
Güneydeki bu yüksek alanları kazıyan genç ve derin vadiler boyunca taşınan malzeme gölün güneyinde alüvyal yelpazeler şeklinde depolanır. Maşukiye-Sapanca arasında 5 önemli vadi yer almaktadır. Bunlar batıdan doğuya sırasıyla Aygır Dere, Yanık Dere, Kurtköy Deresi, Mahmudiye Deresi ve İstanbul Deresi'dir. En batıda bulunan Aygır Dere hariç diğer dereler doğrudan Sapanca Gölü'ne dökülür. Aygır Dere önünde biriken alüvyal yelpaze kazınarak daha genç bir yelpaze oluşmuştur (Şekil 4.15 ve 4.16).



Şekil 4.14 : Sapanca Gölü'nün batimetrisi ve 1999 İzmit Depremi yüzey kırıklarının göl ile ilişkisi. (Göl dışındaki mavi çizgiler 1999 İzmit depremi yüzey kırığını temsil etmektedir. Göl içerisindeki faylar Lettis ve diğ. (2002)'den alınmıştır. Gölün batimetrisi Lettis ve diğ. (2002)'den sayısalastırılarak elde edilmiştir.)



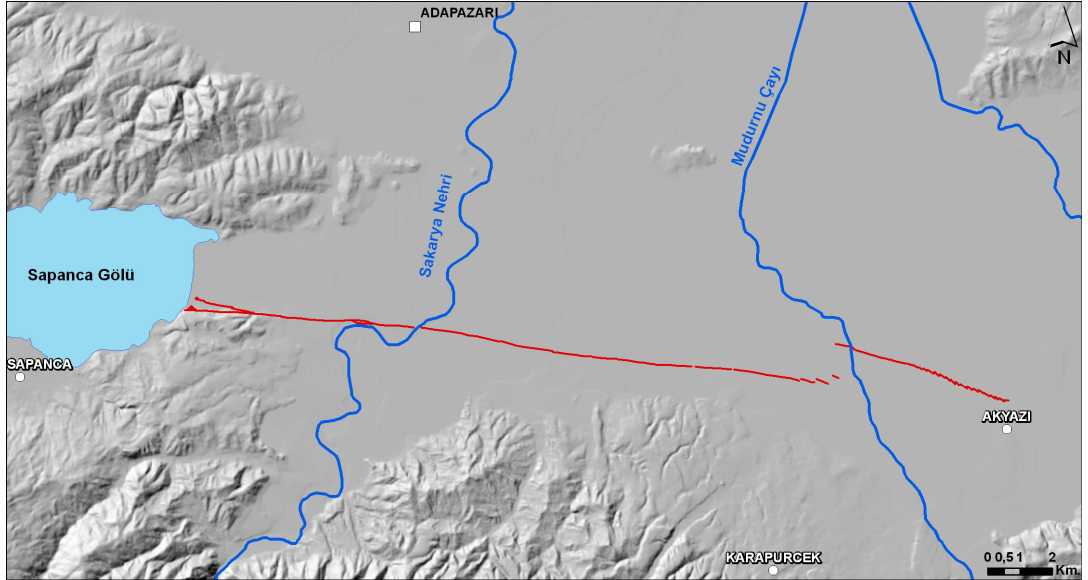
Şekil 4.15 : Sapanca Gölü güney ve kuzey kesiminde gözlenen morfolojik farklılık.



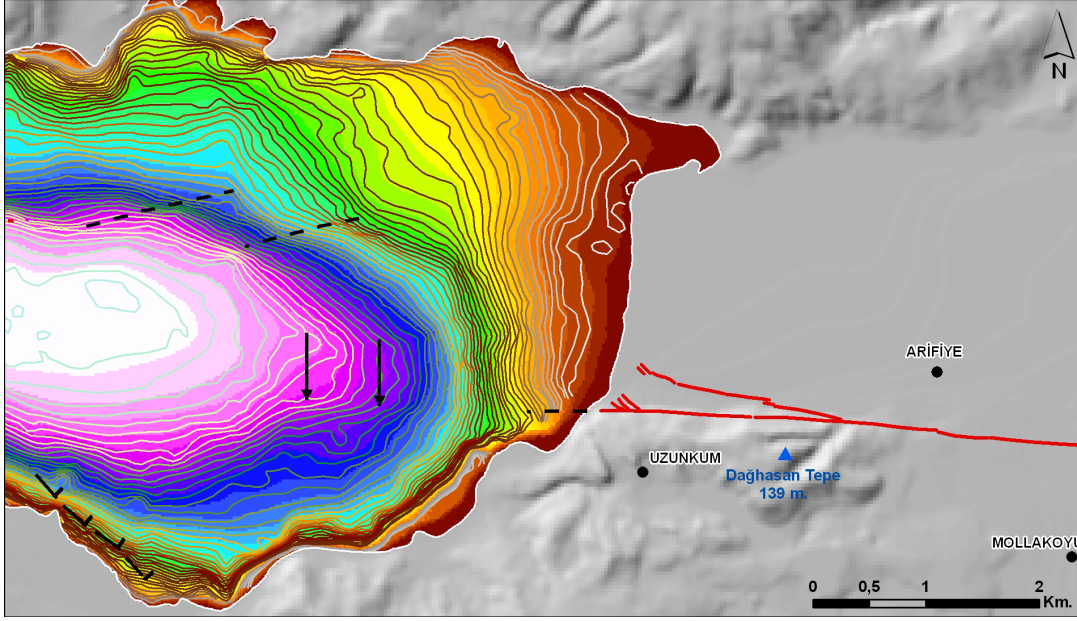
Şekil 4.16 : Sapanca Gölü güneyinde yer alan yelpaze çökelleri.

4.4 Sapanca Gölü-Akyazı arasında fay morfolojisi ve ötelenmiş yapılar

Sapanca-Akyazı arasında KAF oldukça düzlük bir alanı takip eder. Bu alan içerisinde morfolojik farklılık yok denecek kadar azdır (Şekil 4.17). Sakarya ve Mudurnu nehirlerinin taşıyıp depoladığı malzeme ile bölge doldurulmuştur (Bilgin, 1984).



Şekil 4.17 : Sapanca-Akyazı segmenti.

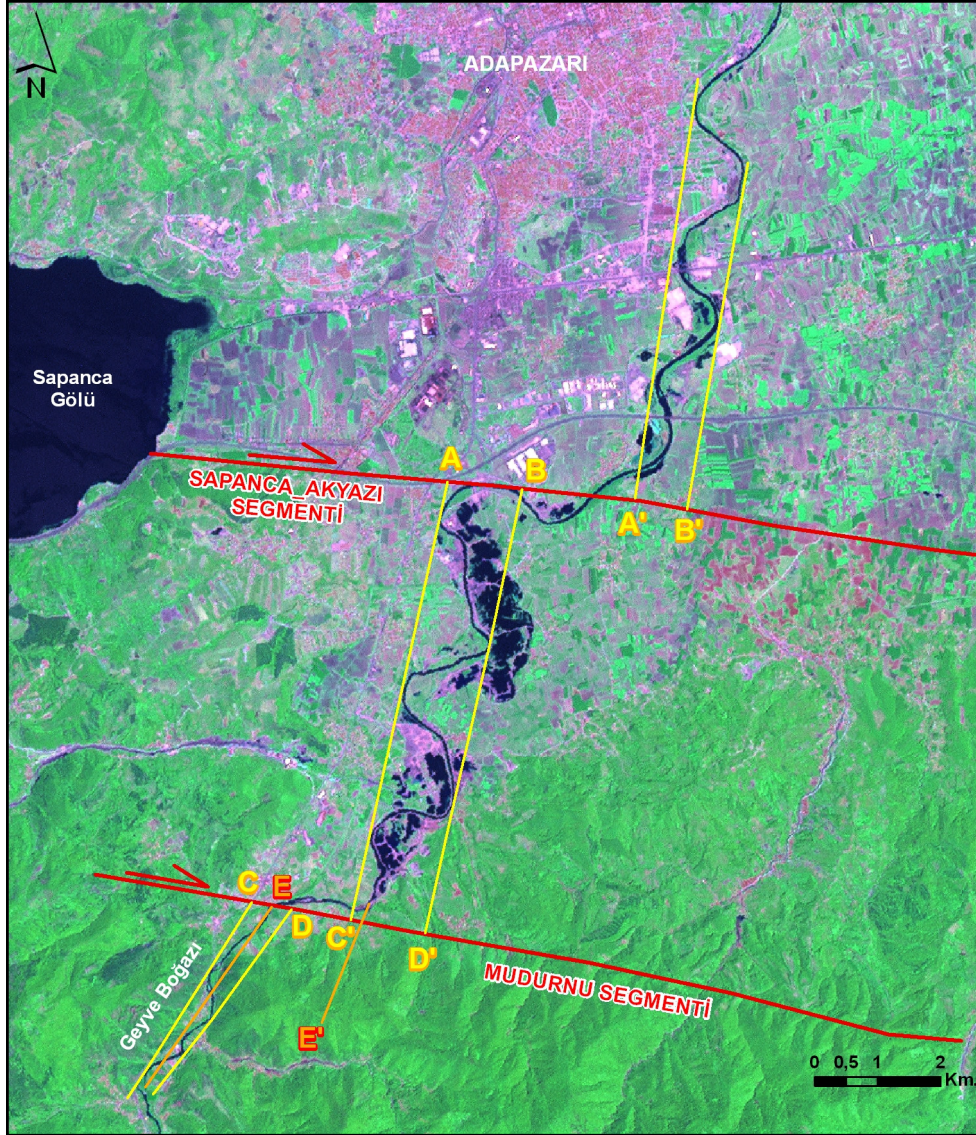


Şekil 4.18 : Sapanca Gölü doğusunda 1999 İzmit depremi yüzey kırığı ve Dağhasan tepe önünde yer alan morfolojik sarplık. Göl içerisindeki siyah oklar fayın göl içerisindeki olası uzantısını işaret eder.

Sapanca gölünün hemen doğusunda 1999 İzmit depremi yüzey kırığı iki kol halinde gözlenir. Bu kollardan bir tanesi Dağhasan Tepe (139 m) kuzey yamaçları üzerinden devam edip göle girer. Diğer kol ise daha kuzeydeki düzlük alanı takip eder ve göle yaklaştıkça saçılarak sönümlenir. Güneydeki kolun izlediği yamaç önündeki morfolojik sarplık KAF’ın uzun dönem hareketleri ile gelişmiştir. Bu kolun devamında göl içerisinde, batimetriden izlenen çizgisellik bu sarplığın yapısal devamı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.18).

Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde fay morfolojisini yansıtabilecek en önemli yapı Sakarya nehri ve taraçalarıdır. Arifiye doğusunda Sakarya nehri KAF tarafından ötelenmiştir (Şekil 4.17 ve 4.19). Sakarya ovasının güneyinde yer alan dere ve sırtlar ise Mudurnu fayı tarafından ötelenerek yer değiştirmelere maruz kalmış, bu yer değiştirmelere bağlı olarak derelerde kapmalar meydana gelmiştir (Bilgin, 1984). 1967 Mudurnu Vadisi depremi akabinde yapılan yüzey kırığı haritalamalarında, Sapanca gölü ve Kuzuluk (Adapazarı) arasında sürekli olmayan deformasyonlar ve küçük miktarda yerdeğiştirmeler rapor edilmiştir (detay için bakınız: Bölüm.2.3.2). Sapanca Gölü-Akyazı arasında KAF’ın ana hareketi Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde olmasına rağmen, güneydeki Mudurnu fayı üzerinde de belli bir aktivitenin olduğu açıktır. Bu sebeple, daha güneyde, Mudurnu fayı ile kesişen nehrin bu kesimdeki ötelenmesi de araştırılmıştır.

Arifiye doğusunda Sakarya nehrinin ötelenmesinin sağlıklı bir şekilde hesaplanabilmesi için nehrin normal menderesi baz alınmış ve menderesin sağ ve sol tarafları hizalanarak nehirdeki toplam ötelenme hesaplanmıştır. Buna göre, KAF'ın sağ-yanal hareketine bağlı olarak Sakarya nehrinde meydana gelen toplam yer değiştirme en az 2650 m, en çok 3000 m olarak ölçülmüştür (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 : Sapanca gölü doğusunda Sakarya nehrinin KAF'ın hareketine bağlı yer değiştirmeleri (Altılık olarak 742 bant kombinasyonunda LANDSAT-ETM görüntüsü kullanılmıştır).

Sapanca güneydoğusunda, Mudurnu fayı güneyden Geyve boğazı boyunca dar bir alanda mendereslenerek akar. Geyve boğazından Adapazarı ovasına girdikten sonra geniş menderesler yaparak daha kuzey kesimlere uzanır. Burada, nehirdeki ötelenme miktarı ölçülürken, iki farklı yöntem izlenmiştir. Birinci yöntemde, fayın kuzey ve güneyindeki mendereslerin doğu ve batı lobları hizalanmıştır. Buna göre hesaplanan

yer değiştirme en az 1600 m en fazla 2150 m'dir. İkinci yöntemde, nehrin Geyve boğazı çıkışında doğuya yaptığı keskin dönüşün başlangıcından, ilk mendereslendiği kesime kadar olan bir mesafe ölçölmüştür. Bu mesafeden elde edilen değer ise yaklaşık 1500 m'dir (Şekil 4.19). Geyve boğazı içerisinde ve kuzeyinde Adapazarı ovası içinde nehrin mendereslendiği morfoloji birbirinden çok farklıdır. Böyle bir alanda, yukarıda kullanılan ikinci yöntem, ötelenme ölçümü için daha sağlıklıdır.

Çizelge 4.1 : Sakarya nehrinin Adapazarı ovasında KAF'ın kolları tarafından ötelenme değerleri

Sakarya nehrinde toplam sağ-yanal ötelenme			
Sapanca-Akyazı segmenti		Mudurnu segmenti	
A-A'	3000 m	C-C'	1600 m
B-B'	2650 m	D-D'	2150 m
		E-E'	1500 m

Sakarya Nehri'nin Adapazarı Ovası'nda, Arifiye doğusunda KAF tarafından ötelenme miktarı, güneyinde Mudurnu segmenti tarafından meydana gelen ötelenmeden daha yüksektir. Bu durum, Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde, en az nehrin yaşı süresince, Mudurnu segmentine göre daha fazla miktarda kayma meydana geldiğini gösterir.

Bilgin (1984) ve Emre ve diğ. (1998)'e göre Sakarya Nehri'nin yaşı Geç Pliyosen'dir. Nehrin çalışma alanının güneyinde Pamukova'da KAF'ın güney kolu tarafından ötelenme miktarı Koçyiğit (1988) tarafından 26 km, Şengör ve diğ. (2005) tarafından ise 24 km olarak ölçölmüştür.

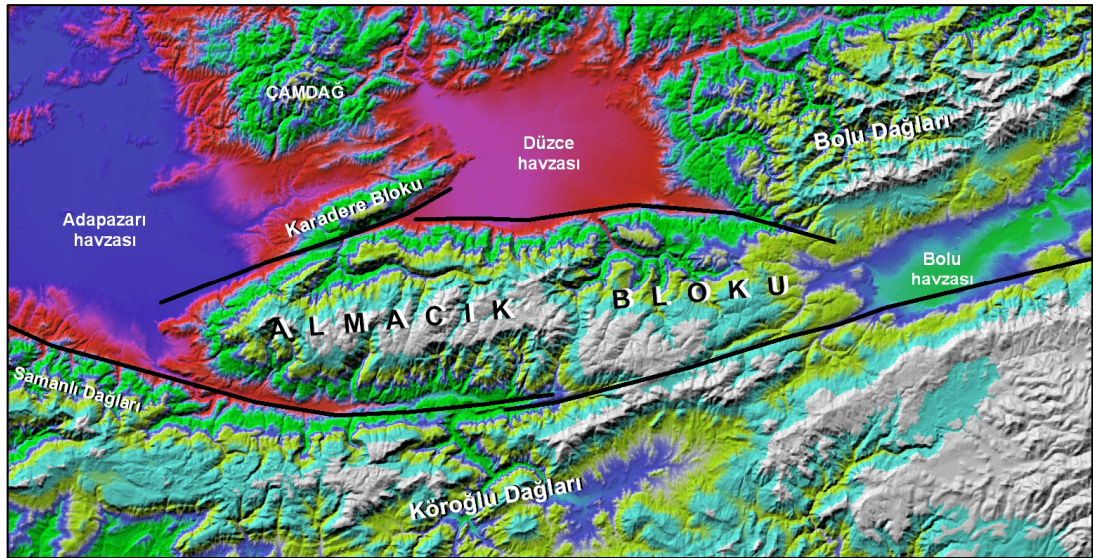
Arifiye ilçesi doğusunda 1999 İzmit depremi yüzey kırığı Sakarya nehri ile beraber nehrin teraslarını da ötelemiştir. Nehrin batısında yer alan Nehirkent beldesinde izlenen teras seviyelerinden birine ait yükselim çizgisi, yüzey kırığı güneyinde belirgin bir şekilde izlenmiş, kırığın kuzeyinde ise yüzeyde gözlenememiştir (Şekil 5.23 ve 24). Gömölü olarak devam eden teras yükseliminin kuzey kesimdeki devamı jeofizik yöntemlerle belirlenmiş ve bu morfolojik yapının sağ-yanal ötelenmesi 18.5 ± 0.5 m olarak ölçölmüştür (detay için bakınız: Bölüm 5.2.1.3). Bu ötelenme değeri ve teras yüzeyinin OSL yaşlandırması sonucu, yaklaşık son 1000 yılda bu kesimde KAF üzerindeki kayma hızı 22.2 ± 3 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

4.5 Akyazı-Gölyaka arasında fay morfolojisi ve ötelenmiş yapılar

1999 İzmit depremi yüzey kırığı Akyazı-Gölyaka arasında Almacık bloku kuzeybatı kenarı boyunca uzanır ve Karadere bloku ile arasında bir sınır oluşturur. Almacık bloku batıda Samanlı dağları, kuzeybatıda Adapazarı havzası, kuzeyinde Karadere bloku ve Düzce havzası, doğuda Bolu havzası ve güneyde Köroğlu dağları ile sınırlanmıştır. Blok, çevresinde yer alan bu morfolojik elemanlardan KAF'ın segmentleri ile ayrılır. Karadere bloku ise batıda Adapazarı havzası, kuzeyde Çamdağ (980 m), doğuda Düzce havzası ve güneyde Almacık Bloku ile sınırlanmıştır (Şekil 4.20).

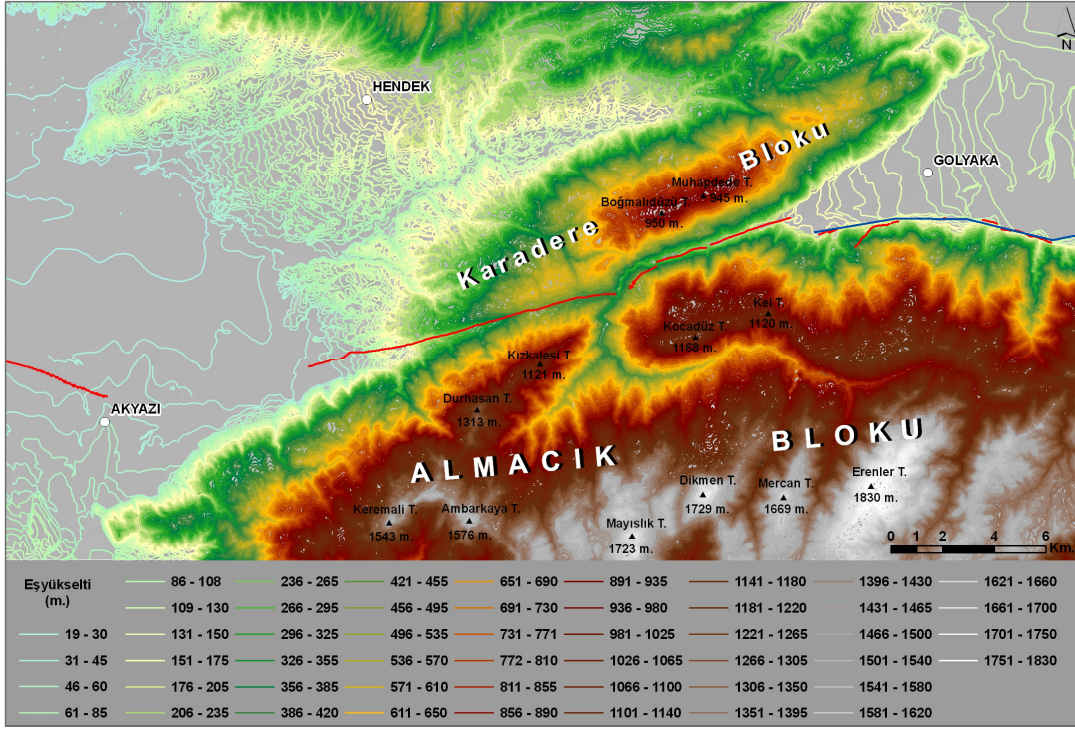
Almacık bloğu üzerinde topoğrafik olarak en yüksek kesimlerde Erenler tepe 1830 m, Keremali tepe 1543 m, Ambarkaya tepe 1576 m yüksekliktedir. Akyazı-Gölyaka arasında 1999 İzmit depremi yüzey kırığı, Almacık bloğunun kuzeybatı sınırını takip etmiştir. Yüzey kırığının hemen güneyinde, Durhasan tepe 1313 m, Kızkalesi tepe 1121 m, Kocadüz tepe 1168 m ve Kel tepe 1120 m yüksekliğe sahipken, kuzeyde Boğmalıdüzü tepe 950 m, Muhappede tepe 945 m yüksekliktedir. Fay zonunun kuzey ve güney kesimleri arasında yaklaşık 250 m'lik bir kot farkı vardır (Şekil 4.21).

Akyazı-Gölyaka arasında 1999 İzmit depremi yüzey kırığı (Karadere segmenti) çoğunlukla vadiler veya dik yamaçlar boyunca ilerlemektedir. Bu nedenle, yüzey kırığı üzerinde fay morfolojisini yansıtan korunmuş yapılar sınırlı sayıdadır.

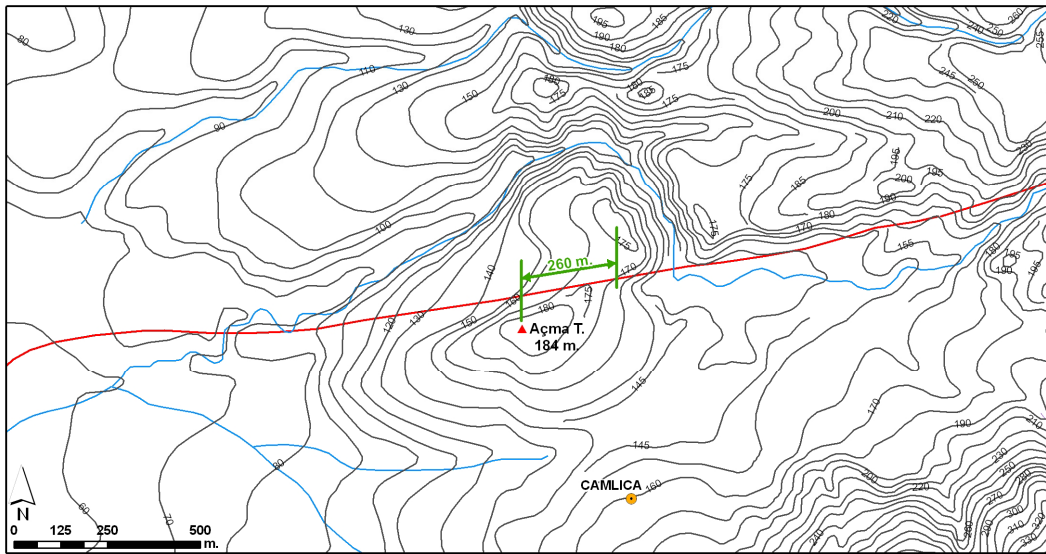


Şekil 4.20 : Almacık bloku ve çevresinde yer alan tektonik ve morfolojik unsurlar.

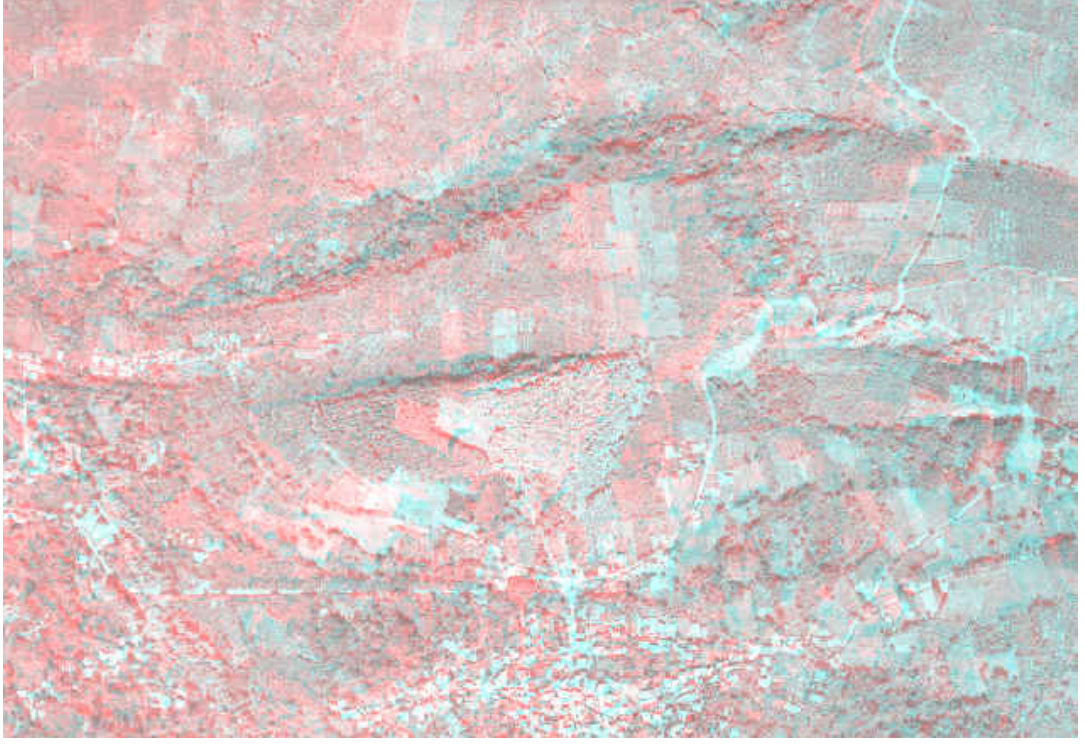
Çamlıca (eski Haraklı) köyü kuzeyinde bulunan Açma tepe, fay boyunca 260 m sağ yanal ötelenmiştir. Açma tepe kuzeyinde yüzey kırığı morfolojik bir sarplığı izler (Şekil 4.22 ve 4.23). Bu morfolojik sarplığın doğu bitiminde, tepenin doğuya doğru boyun yaptığı kesimde yüzey kırığı üzerinde bir fay gölcüğü gözlenmiştir. Fay gölcüğünün uzun eksenini KD-GB yönünde ve yaklaşık 40 m kısa eksenini ise KB-GD yönde yaklaşık 10 m'dir (Şekil 4.24).



Şekil 4.21 : Almacık bloku kuzeybatı kesiminin ve Karadere bloğunun eşyükseiti değerleri.



Şekil 4.22 : Çamlıca köyü kuzeyinde Açma tepede meydana gelen sağ-yanal yerdeğiştirme.



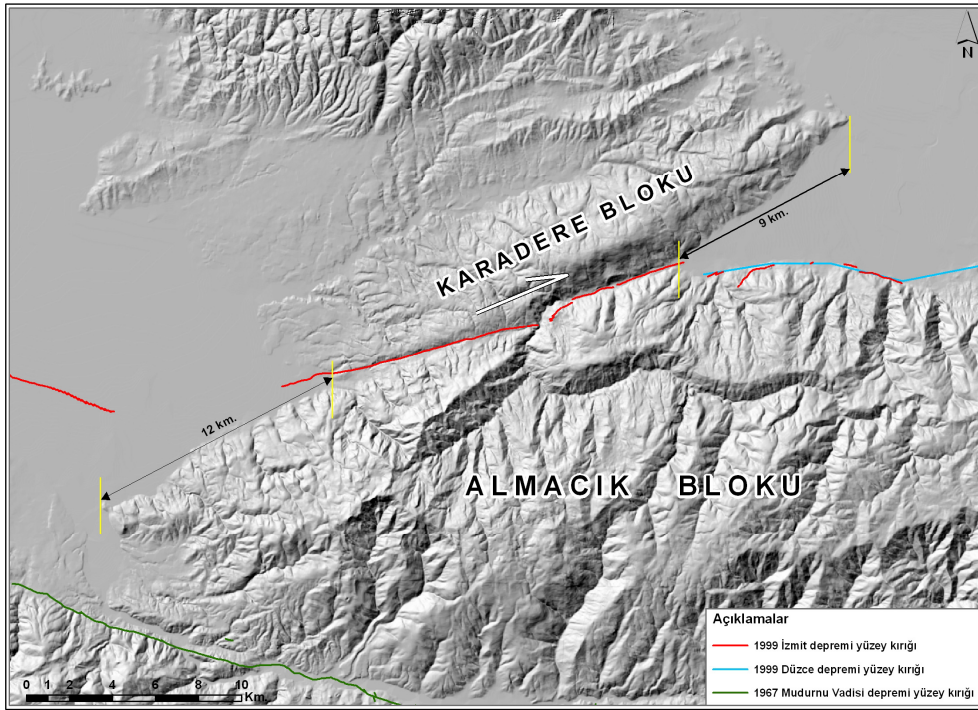
Şekil 4.23 : Haraklı kuzeyinde Açma tepenin hava fotoğrafının stereoskopik görüntüsü (Üç boyutlu görebilmek için 3B gözlüğü kullanınız).



Şekil 4.24 : Açma tepe de 1999 İzmit depremi yüzey kırığı üzerinde gözlenen bir fay çöküntüsü (fotoğrafın bakış yönü GB'yadır).



Şekil 4.25 : Karadere köyü güneyinde yer alan basınç sırtı (fotoğrafın bakış yönü KB'yadır).



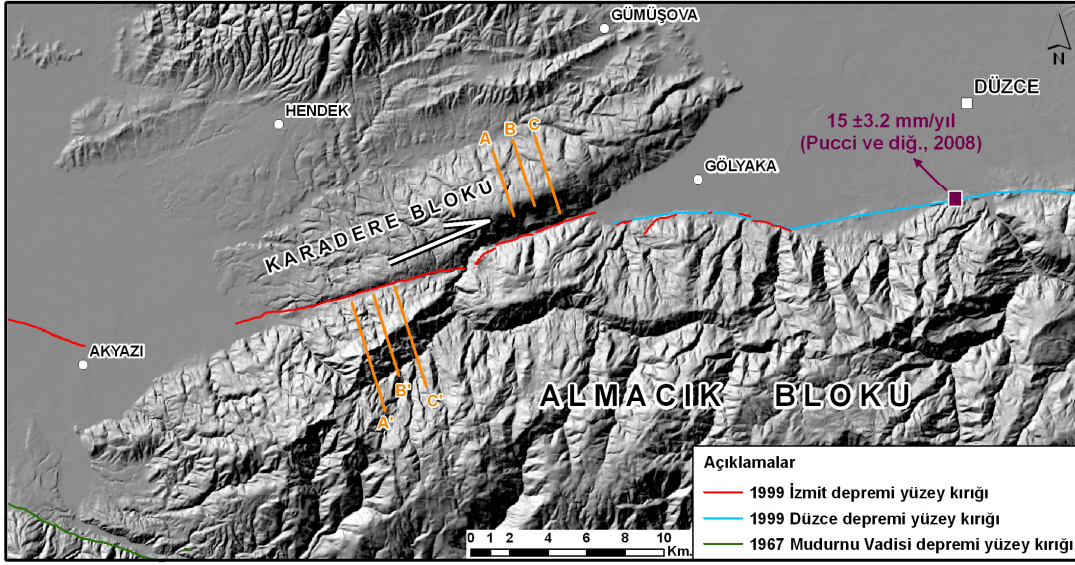
Şekil 4.26 : Almacık bloğu kuzeybatı kesiminin Karadere segmenti boyunca sağ-yanal yerdeğiştirmesi.

Segmentin orta kesimlerinde, Karadere köyü güneyinde yüzey kırığı yaklaşık 150 m uzunluğundaki bir basınç sırtının güney yamacını takip eder (Şekil 4.25). Basınç sırtını oluşturan litoloji eski alüvyon ile temsil edilir. Bu seviyelerden alınan bir kömür örneğinin C14 yaş tayini sonucunda elde edilen tarih günümüzden yaklaşık 15000 yıl öncesidir.

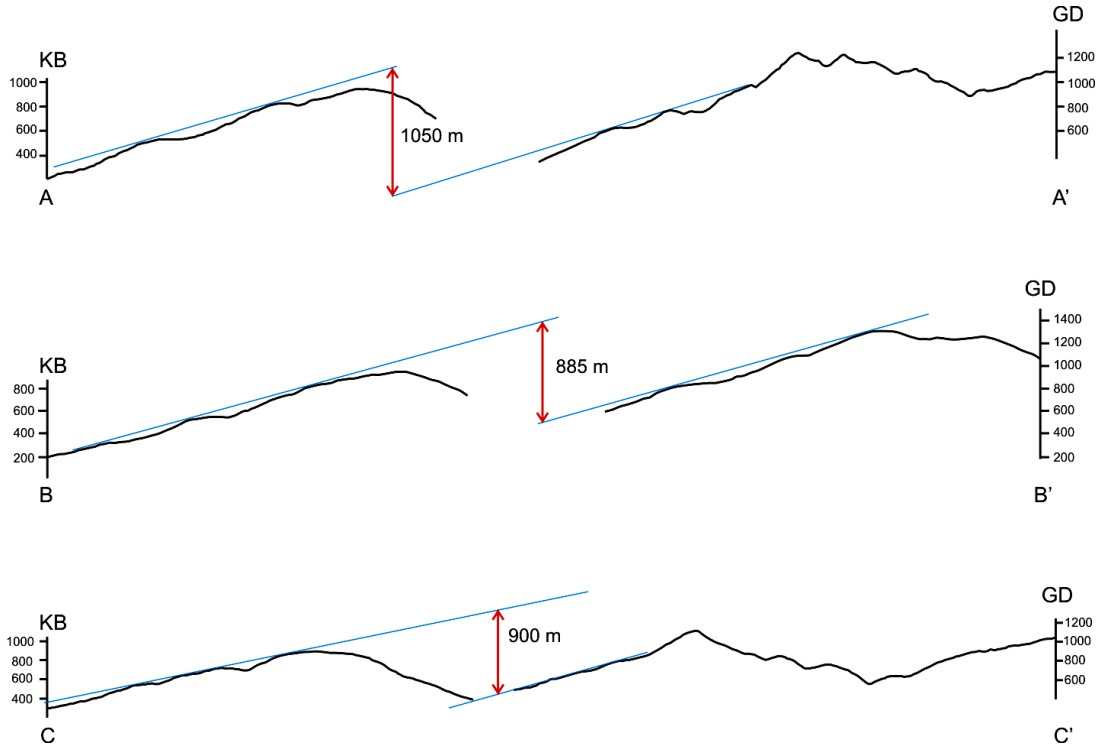
Almacık blokunun kuzeyinde yer alan Karadere bloku, Karadere segmenti boyunca sağ-yanal ötelenmiştir. Sağ-yanal ötelenme değeri sayısal yükseklik modeli kullanılarak batı kesimde 12 km doğu kesimde ise 9 km olarak ölçülmüştür. Bloğun

doğu ve batı kesimlerinde morfolojik yükseklik farkından ölçülen ötelenme değerinin ortalaması ise $10,5 \pm 1,5$ km'dir. Segment boyunca yapılan jeolojik haritalama sonucu segment üzerinde sağ-yanal hareket ile birlikte düşey bir yer değiştirmenin de uzun dönemde önemli ölçüde bölgeyi etkilediği anlaşılmıştır (bakınız: Bölüm 3.3). Karadere segmentinin batı kesimlerinde yüzeyleyen Orta Pleistosen yaşlı Örencik formasyonu fay tarafından kesilmiştir. Yapılan haritalamaya göre, alttaki birimler üzerinde açısız uyumsuzlukla yer alan bu çökellerin tabanı fay zonunun kuzey kesiminde daha yüksek kotlarda gözlenirken, güney kesimlerinde daha alçak kotlarda gözlenmiştir. Uyumsuzluk düzleminin eğimli olması nedeniyle düşey ötelenme için bu düzlemin referans alınması uygun bulunmamıştır. Meydana gelen düşey yer değiştirmenin ölçülebilmesi için Karadere bloğu, en az ötelenme değeri olan 9 km. kadar fayın hareket yönünün tersine hareket ettirilerek, meydana gelen toplam hareket sıfırlanıp, yeni oluşan yükseklik modeli üzerinde, segmentin orta kesimlerinde hem Almacık hem de Karadere bloklarının kuzey yamaçlarını örnekleyecek şekilde üç adet topoğrafik kesit çıkarılmıştır (Şekil 4.27 ve 4.28). Segment boyunca meydana gelen toplam düşey yer değiştirmenin sıfırlanması halinde Karadere bloğunun kuzey yamacı Almacık bloğunun kuzey yamacının devamı olmalıdır. Blokların aynı litoloji ve iklimsel ortamda bulunması nedeniyle benzer miktarda erozyona uğramış oldukları kabul edilmiştir. Çıkarılan topoğrafik kesitlerle her iki bloğun kuzey yamacının devamlılık yönünden uygunluğu ve düşey hareket miktarı araştırılmıştır. Alınan profillerdeki yamaç eğimi kuzey ve güney kesimde birbirine uyumludur. Yamaç eğimlerinin uyumlu görünmesi yöntemin güvenilirliği açısından da önemli bir göstergedir. Kuzey ve güneydeki yamaçların birbirinin devamı olabilemesi için kuzey kesimin ilksel olarak ne kadar aşağıda olması gerektiği ölçülmüştür. Buna göre A-A' kesitinde 1050 m, B-B' kesitinde 885 m, C-C' kesitinde ise 900 m düşey farklar ölçülmüştür. Bu üç değer ortalaması 945 m'dir. Bu hesaplama sonucunda Karadere bloğunun yaklaşık 950 m yükseldiği önerilmiştir.

Segmentin doğusunda, Beyköy civarında Pucci ve diğ. (2008) jeomorfik bir yapıdan $15 \pm 3,2$ mm/yıl kayma hızı hesaplamıştır. Bu hızın Karadere segmenti üzerinde meydana gelen kayma hızını da temsil ettiği kabulü ile segment üzerindeki toplam yer değiştirmenin meydana gelme süresi ve Karadere bloğunun yükselme hızı hesaplanmıştır.



Şekil 4.27 : Şekil 4.28’de görülen topoğrafik profillerin kesit yerleri.



Şekil 4.28 : Karadere segmenti boyunca meydana gelen düşey yer değiştirmeyi araştırmak için sağ-yanal ötelenmenin sıfırlanması sonrasında segmente dik açıyla alınan topoğrafik kesitler.

Bloğun en az sağ-yanal hareketi Pucci ve diğ. (2008) tarafından hesaplanan en az 11.8 mm/yıl olan kayma hızı ile beraber değerlendirilmiştir. Seçilen bu en az kayma hızı ile en az toplam sağ-yanal ötelenme değeri olan 9 km’lik kaymanın karşılanabilmesi için sağ-yanal hareketin en az 762.000 yıldır devam ettiği hesaplanmıştır. Bu süre içerisinde, 950 m olarak belirlenen toplam düşey yer

değiştirmenin meydana gelebilmesi için Karadere blokunun yükselme hızı en az 1.24 mm/yıl olarak hesaplanır.

4.6 Morfotektonik Değerlendirme

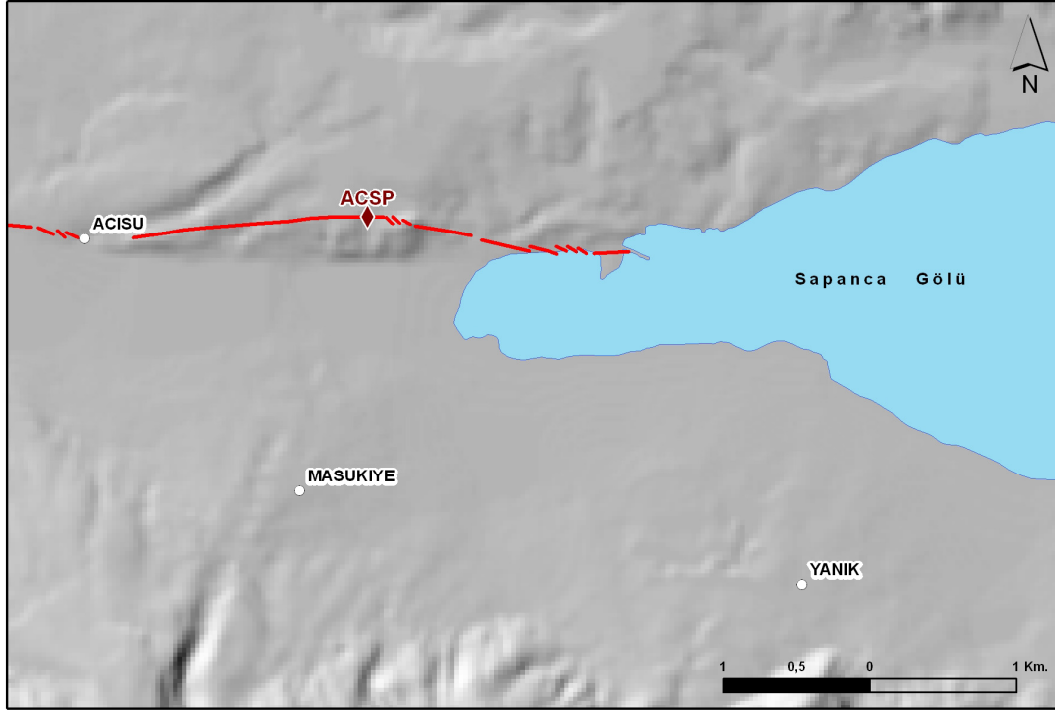
Tez çalışması kapsamında, İzmit Körfezi ve Gölyaka (Düzce) arasında 1999 İzmit depremi yüzey kırığı üzerinde fay morfolojisini yansıtan yapılar araştırılmıştır. Yüzey kırığı boyunca izlenen uzamış sırt, ötelenmiş dere ve tepeler, basınç sırtları, fay gölcükleri ve çöküntü alanları tanımlanmıştır. Bu segmentler üzerinde hesaplanmış olan jeomorfik kayma hızları ile ötelenen bu yapılar arasında bir ilişki kurulmuştur. Bu ilişki için, hem ötelenme miktarlarının hem de kayma hızlarının en az değerleri kullanılmıştır.

İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde bir derenin ötelenme miktarından ölçülen uzun dönem sağ-yanal ötelenme en az 380 m'dir. Bu ötelenmenin, Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde bu çalışmada hesaplanan 22.2 ± 3 mm/yıl kayma hızı değeri ile karşılaştırılması sonucunda, KAF'ın en az 20.000 yıldır bu güzergahı kullandığı önerilmiştir.

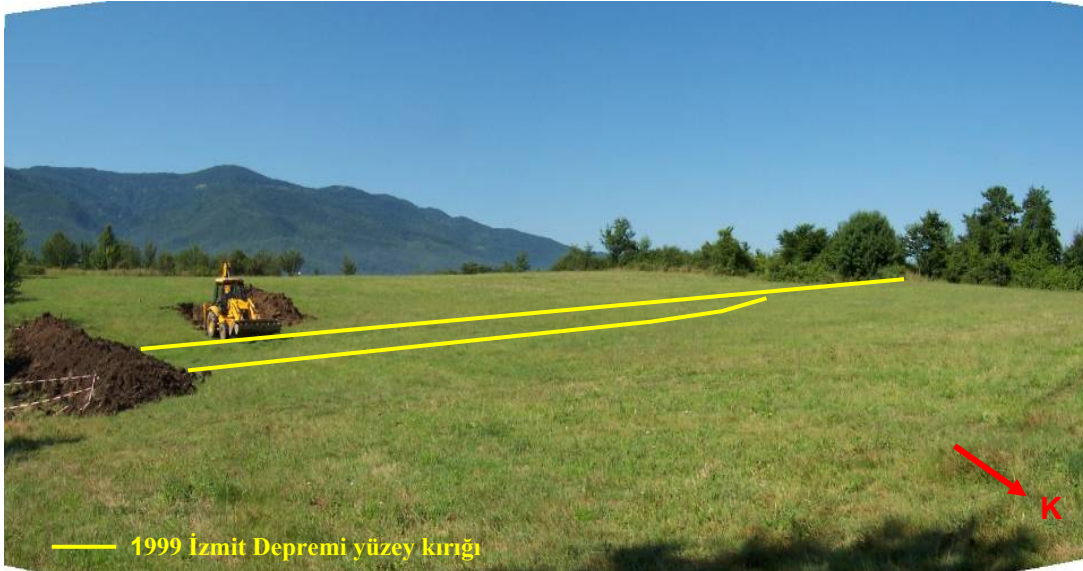
Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde Sakarya nehrinin ötelenmesinden KAF'ın bu kesimdeki uzun dönem sağ-yanal hareketinin en az 2650 m olduğu ölçülmüştür. Nehrin hemen batısından hesaplanan kayma hızı değeri ile bu ötelenme miktarı değerlendirildiğinde en az 138.000 yıldır KAF'ın bu güzergahı kullandığı söylenebilir.

Karadere segmenti üzerinde sağ-yanal harekete düşey bir bileşenin de eşlik ettiği belirlenmiştir. Karadere bloğunun en az 9 km'lik yerdeğiştirmesine karşılık en az 950 m'lik bir düşey yer değiştirme ölçülmüştür. Segmentin doğu kesiminde Pucci ve diğ. (2008) tarafından hesaplanan kayma hızı ile bu bileşenler değerlendirildiğinde, KAF'ın en az 762.000 yıldır bu hareketi sağladığı ve Karadere blokunun yükselme hızının 1.24 mm/yıl olduğu hesaplanmıştır.

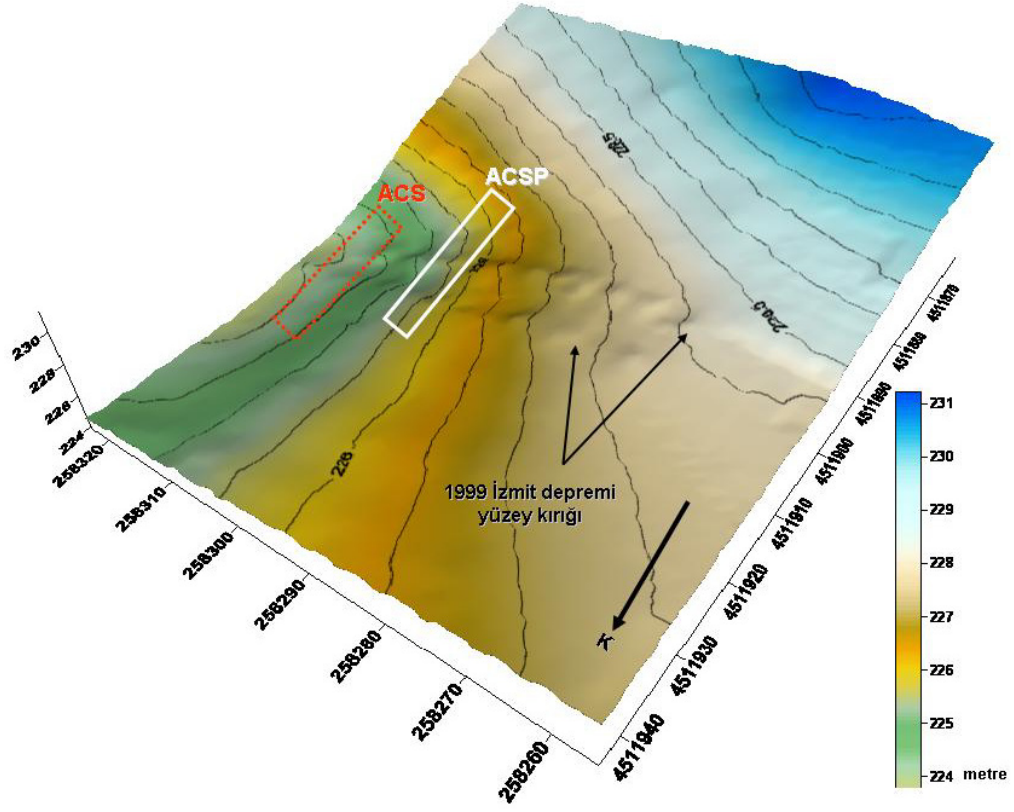
gelmiştir. Bunun üzerine, bu lokalitenin yaklaşık 15 m batısında yine her iki kolu da kesecek şekilde yeni bir hendek açılmış ve hidrolik payanda desteği ile, tek duvar loglanarak çalışma tamamlanabilmektedir (Şekil 5.3-5.5). Bu hendek ACSP olarak kodlanmıştır.



Şekil 5.2 : İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde yapılan fay kazısının konumu.



Şekil 5.3 : Acısu köyü doğusunda 1999 İzmit depremi yüzey kırığı ve açılan hendeklerin konumu.



Şekil 5.4 : Acısu lokasyonunun mikrotopoğrafyası, 1999 İzmit depremi yüzey kırığı ve üzerinde açılan hendeğin konumu.



Şekil 5.5 : Acısu lokasyonunda hidrolik payanda desteği ile çalışılan hendeğin genel görünümü (fotoğrafın bakışı güneyedir).

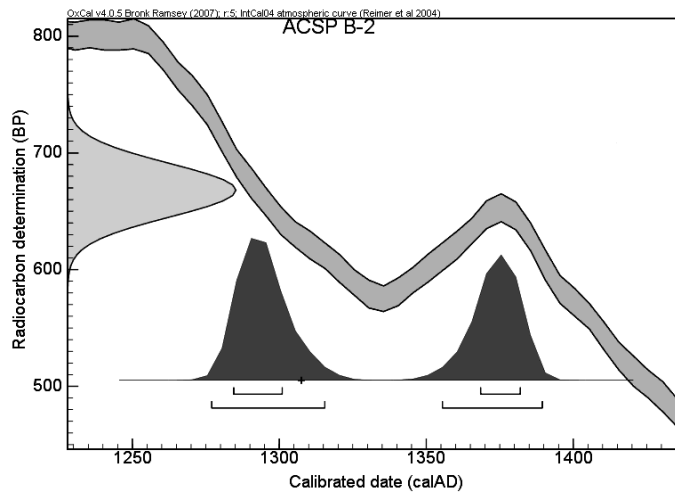
Açılan hendek 21 metre uzunluğunda, maksimum 2,5 m derinliğindedir. Eski deprem tespiti amacıyla kazıdaki stratigrafik ilişkiler ve deformasyonlar 1:20 ölçeğinde haritalanmıştır. Hendekte gözlenen birimler ağırlıklı olarak farklı kil seviyelerinden oluşur (Çizelge 5.1). Fay zonu kuzeyinde ve güneyinde bariz renk ve çökeltme ortamı farklılığı gözlenmiştir. Güney kesimde gözlenen litoloji, eğimli bir topoğrafya üzerine depolanmış kil-siltli kil seviyeleri halindedir. Bu kesimde yaygın kalış oluşukları gözlenmiştir. Kuzey kesimde ise daha koyu renkli ve homojen kil seviyeleri haritalanmıştır (Şekil 5.7).

5.1.1 Eski deprem tespitleri

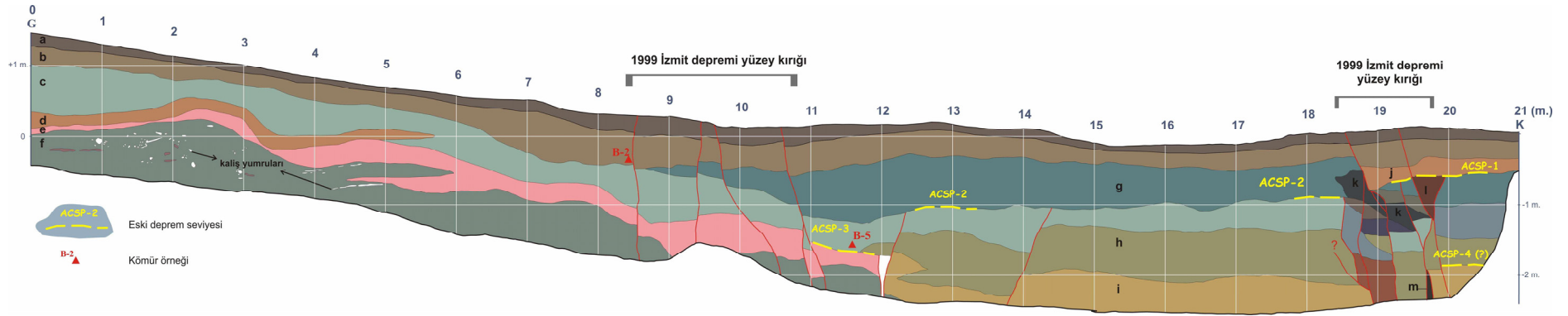
Acısu lokasyonunda yapılan çalışmada, 1999 depremi öncesi en az 3 eski deprem seviyesi belirlenmiştir (Şekil 5.7).

Bir önceki deprem (ACSP-1):

Hendek duvarının 20.metresinde haritalanan “1” birimi, koyu kahverengi kil matriks içerisinde düzensiz kum boyutlu taneler içerir ve düşey yönde kamalanmıştır. Her iki yönde kenarları faylanmış olan bu birim, deprem sonrası kırıklık içerisinde oluşmuş dolgu çökelleri olarak yorumlanmıştır (Şekil 5.7). Bu olayı yaşlandırabilecek bir örnek bulunamamıştır, ancak duvarın 8-9 metreleri arasında, daha üstte bulunan “b” biriminin alt kesimlerinden alınan kömür parçasının (ACSP B-2) C-14 yaş tayini 1284-1301 yılları arasında bir tarih vermektedir (Şekil 5.6). Belirlenen bu deprem bulgusu, 1300 yılları öncesi bir tarihte bölgede faylanmaya sebep olmuş bir depreme ait olmalıdır.



Şekil 5.6 : ACSP hendeğinin batı duvarından alınan ACSP B-2 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.



Şekil 5.7 : ACSP hendeğinin doğu duvarına ait haritalama (Litoloji açıklamaları için Çizelge 5.1'e bakınız).

Çizelge 5.1 : Şekil 5.7'de gösterilen ACSP hendeğine ait haritanın litoloji açıklamaları

Unite	Litoloji	Unite	Litoloji
a	güncel toprak	h	koyu gri-yesil kil
b	koyu kahverengi kil-seyrek çakıllı	i	sarımsı kahverengi kil
c	gri kil	j	açık kahverengi kil
d	kahverengi kil	k	koyu kahverengi kil-seyrek çakıllı
e	pembe kil	l	koyu kahverengi kil matriksi içerisinde düzensiz taneler
f	yesil kil- seyrek orta çakıllı, kalış yumrulu	m	koyu gri, kaotik çakıllar içeren, makaslanmış kil
g	koyu yesil-gri kil		

İki önceki deprem (ACSP-2):

Hendek duvarının 12. ve 15. metreleri arasında, faylanmış olan “c”, “h” ve “i” birimleri “g” birimi ile erozyonal olarak örtülmüştür. 18. ve 21. metreler arasında haritalanmış olan “k” seviyesinin ise bu faylanmaya bağlı olarak gelişmiş küçük bir fay gölcüğünün çökellerini temsil edebileceği düşünülmüştür (Şekil 5.7). “c” biriminin tabanından alınan kömür parçasının (ACSP B-5) C-14 yaş tayini sonucu yüksek olasılıkla 79-140 tarih aralığını vermektedir (Şekil 5.8). Gözlenen bu deprem seviyesi 79-140 tarih aralığından sonra 1284-1301 tarih aralığından önce bölgede faylanma meydana getirmiş bir depreme ait olmalıdır.

B-2 numunesi B-5 numunesi arasındaki düşey mesafe 120 cm., B-2 numunesi ile hendek yüzeyi arasındaki düşey mesafe 70 cm.’dir (Şekil 5.7). Örneklerin C14 sonucu ortalama değeri sırasıyla 1301 ± 23 ve 128 ± 25 olarak hesaplanmıştır. Her iki mesafe için hesaplanan sedimantasyon hızı yaklaşık 0.1 cm/yıl’dır. Ortalama çökeltme hızının 0,1 cm kabul edilmesi halinde, bu depremin 528 ± 25 ya da 507 ± 23 yılları civarında gerçekleşmiş bir deprem olması muhtemeldir.

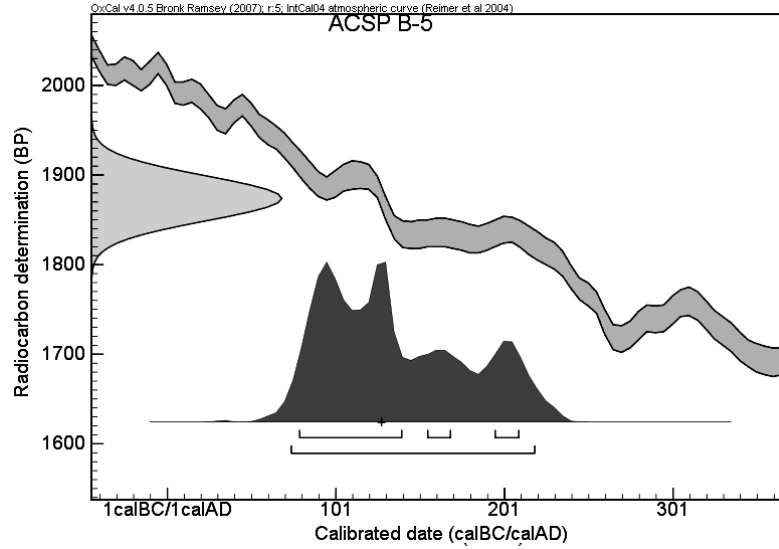
Üç önceki deprem (ACSP-3):

Bu depremin varlığına ait gözlemler hendek duvarının 11-12 metreleri arasında yer almaktadır. Duvarın güney kesimleri boyunca sürekli olarak izlenebilen “e” ve “f” birimleri bir süreksizlikle ani olarak kesilip; kuzey kesimde sürekli izlenebilen “h” ve “i” birimleri ile yanyana gelmektedir (Şekil 5.7). Her ne kadar bu depremin verisi sadece bu aralıkta gözlenmişse de; bu faylanma ile kuzey ve güney kesimde birbirinden çok farklı olan birimlerin, izlenen süreksizlik ile yanyana gelmiş olması deprem seviyesinin güvenilirliği arttırmaktadır. Bu faylanmayı örten “c” biriminin alt kesimlerinden yaşlandırılan bir karbon örneğinin (ACSP B-5) sağladığı yaş aralığına göre bu deprem, 128 ± 25 yılı öncesinde meydana gelmiş bir deprem nedeniyle oluşmuştur.

Dört (?) önceki deprem (ACSP-4):

Hendek duvarının 20. metresinde, “h” biriminin altında yer alan; ince ve düşey konumlu bir kil ünitesi haritalanmıştır (Şekil 5.7). Bu kil içerisinde gözlenmiş olan makaslanma izleri ve kaotik konumlu çakıllar, bu ünitenin, “h” biriminin çökeliminden önce gerçekleştirmiş bir depremin sebep olduğu deformasyon ile

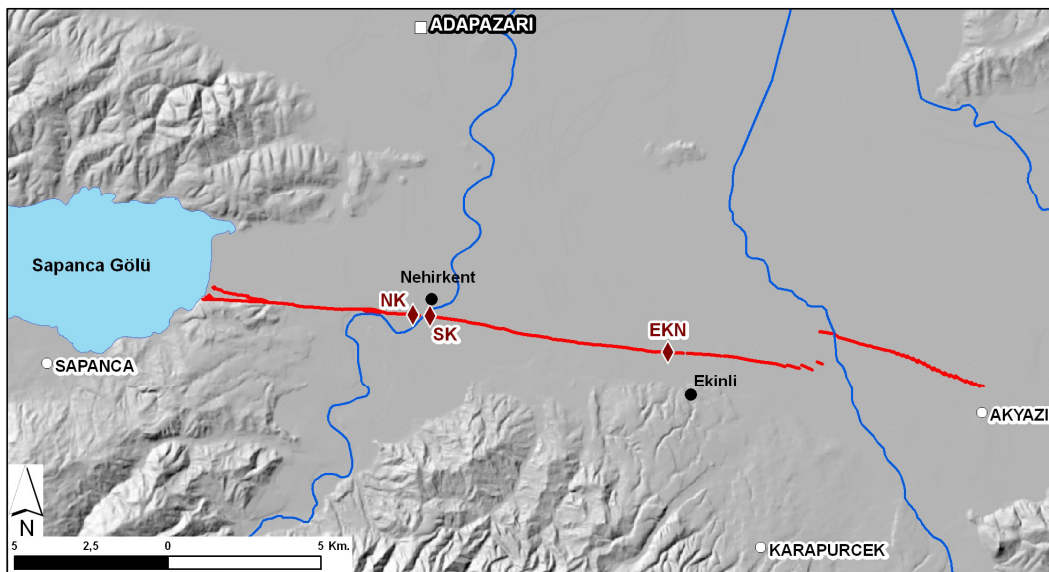
oluşabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Bu deformasyonun, 12. metrede belirlenen ACSP-3 depremi ile oluşmuş olması da muhtemeldir.



Şekil 5.8 : ACSP hendeğinin batı duvarından alınan ACSP B-5 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.

5.2 Sapanca-Akyazı Segmenti Üzerinde Yapılan Paleosismoloji Çalışmaları

Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde Sakarya Nehri'nin doğu ve batı kenarlarında, ve 8 km doğusunda bulunan Ekinli köyü kuzeybatısında hendek çalışmaları yapılmıştır (Şekil 5.9). Sakarya Nehri batısında yer alan lokasyonda 3 boyutlu hendek çalışması yapmak mümkün olmuştur. Çalışılan 3 lokasyon aşağıda batıdan doğuya sıralanarak sunulmuştur.



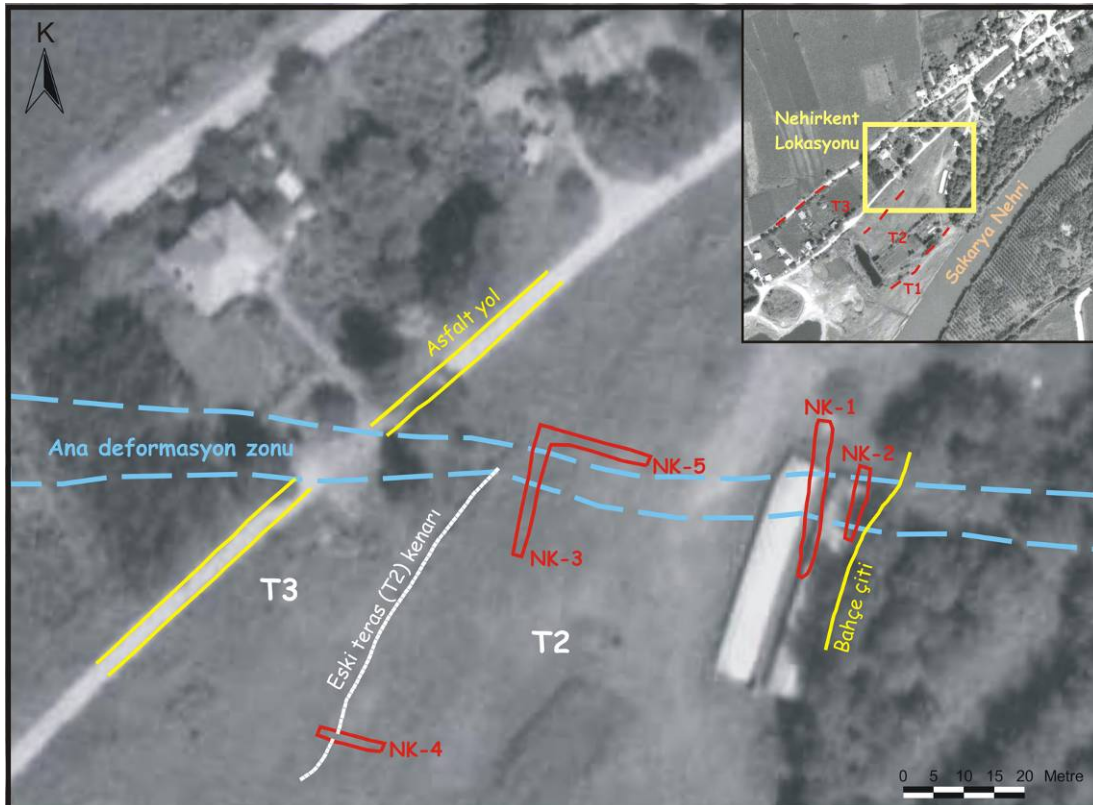
Şekil 5.9 : Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde çalışılan lokasyonların konumu.

5.2.1 Nehirkent lokasyonu (NK)

Sakarya Nehri'nin batı kenarında 1999 İzmit depremi yüzey kırığı K85B doğrultusunda uzanır ve batıdan doğuya sırasıyla bir asfalt yolu, nehrin eski bir terasının kenarını ve bir bahçe çitini öter (Şekil 5.10).

Nehrin bir önceki terası (T2) üzerinde faya dik 3 hendek (NK-1, NK-2, NK-3) açılmış ve stratigrafik ilişkiler incelenerek eski deprem seviyeleri araştırılmıştır. Fay zonu tarafından kesilmiş olan teras kenarının stratigrafisinin ve ötelenme miktarının belirlenebilmesi için yüzey kırığı konumuna paralel iki hendek (NK-4, NK-5) daha açılmıştır (Şekil 5.10).

Nehrin eski terası üzerinde faya dik açılan 3 hendekte nehre ait kanal ve taşkın çökelleri gözlenmiştir. NK-1 ve NK-2 hendekleri çalışma alanının doğu kesiminde açılmış ve çakıl boyutundan kil boyutuna değişen malzemenin bu kesimde depolandığı gözlenmiştir. Batı kesimde açılan NK-3 hendeğinde ise nispeten daha ince taneli malzeme depolanmıştır.



Şekil 5.10 : Nehirkent lokasyonunda 1999 İzmit depreminin yüzey kırığı, ötelenen yapılar ve açılan hendeklerin konumu.

Yüzey kırığına dik açılan üç hendekte izlenen stratigrafik ve yapısal ilişkilerden 1999 öncesi 3 eski deprem belirlenmiştir. Eski deprem seviyeleri belirlenirken, NK-1 ve

NK-2 hendekleri birbirlerine olan yakın konumları nedeniyle birarada değerlendirilmiş ve bu hendekler içerisindeki gözlemlere dayanarak belirlenen deprem seviyeleri “NKD” harfleri ile kodlanıp numaralandırılmıştır. NK-3 hendeği NK-1 ve NK-2 hendeklerinden farklı stratigrafik özelliklere sahiptir. Bu nedenle eski deprem seviyesi belirlemede NK-3 hendeği kendi içinde değerlendirilmiş ve belirlenen eski deprem seviyeleri “NKB” harfleri ile kodlanıp numaralandırılmıştır (Şekil 5.12-22).

Lokasyonda, elektronik teodolit ile fay zonu, 1999 depremi ile ötelenen yapılar ve eski teras kenarı haritalanmış, teras kenarını belirleyebilmek amacı ile bölgenin mikrotopografyası çıkartılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu, eski teras kenarının toplam 18,5 metre sağ yanal ötelendiği ölçülmüştür.

5.2.1.1 NK-1 ve NK-2 hendekleri

Çalışma lokasyonunun doğusunda fay zonuna dik konumlandırılarak 5 m arayla iki hendek açılmıştır. İlk önce açılan NK-1 hendeğindeki stratigrafik yapıların devamının izlenebilmesi ve eski deprem olay seviyelerinin karşılaştırılması amacıyla 5 m doğusunda ikinci bir hendek (NK-2) daha açılmıştır (Şekil 5.10). NK-1 hendeğinin uzunluğu 22 m, derinliği ise yaklaşık 2 m’dir. NK-2 hendeği ise 7 m uzunlukta 1,5 m derinlikte açılmıştır. NK-1 hendeğinin her iki duvarı, NK-2 hendeğinin ise doğu duvarı 50x50cm gridlenerek, yapısal ve stratigrafik ilişkiler incelenmiş ve yapılan gözlemler 1:10 ölçeğinde haritalanmıştır (Şekil 5.12-14). Her iki hendekte Sakarya nehrine ait kanal çökelleri ağırlıklı olmak üzere taşkın çökelleri de gözlenmiştir.

NK-1 hendeğinde 1999 İzmit depremine bağlı oluşan deformasyon doğu duvarda 7-15 metreleri arasında 8 m’lik bir zon olarak, batı duvarda da 8-16 metreleri arasında yine 8 m’lik bir zon olarak haritalanmıştır. Ana deformasyon zonu ise 13-15 metreler arasında belirlenmiştir (Şekil 5.11 ve 5.13). Hem NK-1 hem de NK-2 hendeklerinde gözlenen stratigrafik ilişkiler değerlendirildiğinde, bu kesimde 1999 İzmit depremi öncesi 2 eski deprem seviyesi tespit edilmiştir.



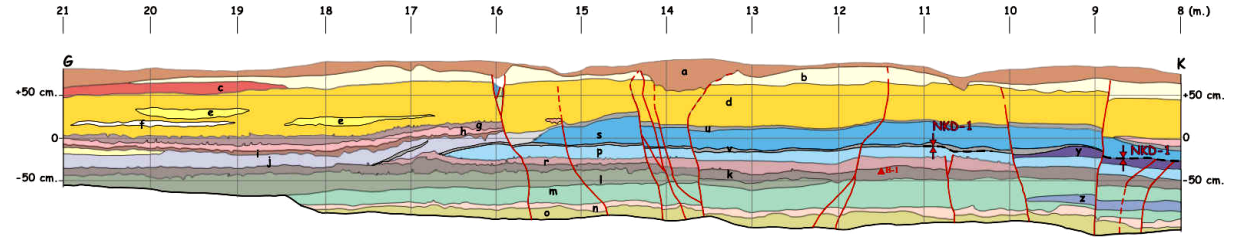
Şekil 5.11 : NK-1 hendeği doğu duvarında gözlenen ana deformasyon zonunun fotomozaik görüntüsü (Fotoğrafta görülen karelaj 50x100 cm'dir).

5.2.1.1a. Eski deprem tespitleri

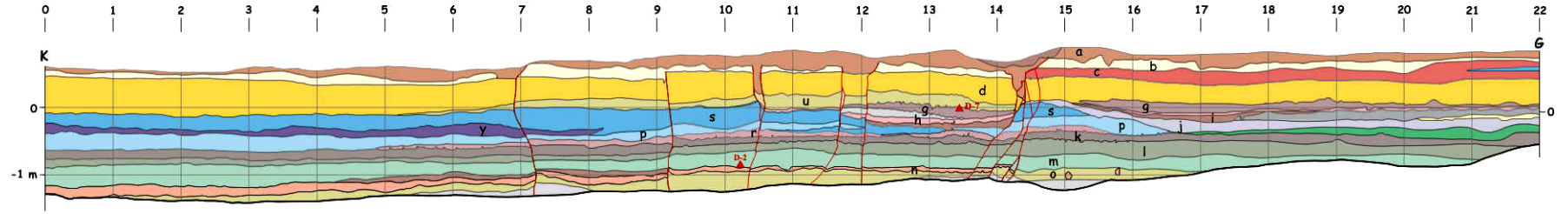
NK-1 ve NK-2 hendeklerinde tespit edilen iki eski deprem seviyesine ait bulgular aşağıda açıklanmıştır.

Bir önceki deprem (NKD-1):

Bu depreme ait gözlemler NK-1 hendeği batı duvarının 8-11 metreleri arasında yer almaktadır. 10-11 metreleri arasında “r” birimi ve altında yer alan seviyelerde bir süreksizlik boyunca ötelenmeler gözlenmiştir. Bu süreksizlik ve ötelenmeler daha üstteki seviyeleri ise etkilememiştir. 8-9 metreleri arasında “y” ve daha alttaki seviyeler içerisinde izlenen süreksizlik “s” birimi ile örtülmüştür. “v”-“y” birimleri ile “s” biriminin sınırı eski deprem seviyesi olarak belirlenmiştir (Şekil 5.12) Bu deformasyonun alt seviyelerinde bulunan 1 numaralı örnek yaşlandırılmamıştır. Doğru duvarda “g” birimi içerisinde alınmış olan karbon örneklerinin (NK-1 D-7 ve NK-1 D2) C-14 tarihlendirmesinin ortalama değeri sırasıyla 1768 ± 23 ve 1025 ± 55 tarihleridir. Doğru duvardan elde edilen bu tarihlendirmelere göre, NKD-1 depremi 1025 ± 55 tarihi sonrası ve 1768 ± 23 tarihi öncesinde meydana gelen bir deprem olmalıdır (Şekil 5.15 ve 5.16).



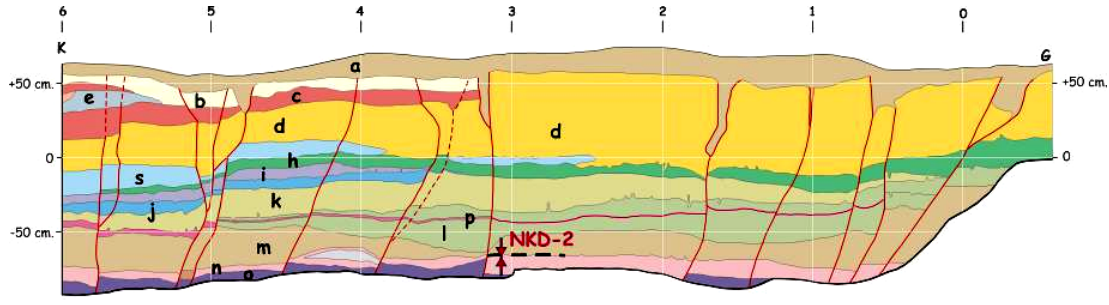
Şekil 5.12 : NK-1 hendeğinin batı duvarına ait haritalama.



Şekil 5.13 : NK-1 hendeğinin doğu duvarına ait haritalama.

Çizelge 5.2 : Şekil 5.12 ve 5.13’de gösterilen NK-1 hendeğinin litoloji açıklamaları.

Unite	Litoloji	Unite	Litoloji	Unite	Litoloji
a	güncel toprak	h	pembe kil	o	çakıl
b	açık sarı, kumlu, kaba kumlu silt	i	kahverengi, killi kum	p	gri, gevşek, nadir ince çakıllı, laminalı kum
c	kaba kum	j	gevşek, nadir çakıllı, kötü boyanmalı kum	r	kahverengi, iy boyanmalı killi kum
d	kum, üstte doğru silt (derecelenme)	k	kahverengi kil	s	gri, çok gevşek kum
e	gri, gevşek, kum-çakıl	l	kaba kum	u	çakıl
f	seyrek çakıllı, açık kahverengi kum	m	çakıl	v	gri, kötü boyanmalı kum
g	kahverengi, killi silt	n	pembe kil	y	gri, gevşek kum
				z	nadir ince çakıllı, kaba kum



Şekil 5.14 : NK-2 hendeğinin doğu duvarına ait haritalama.

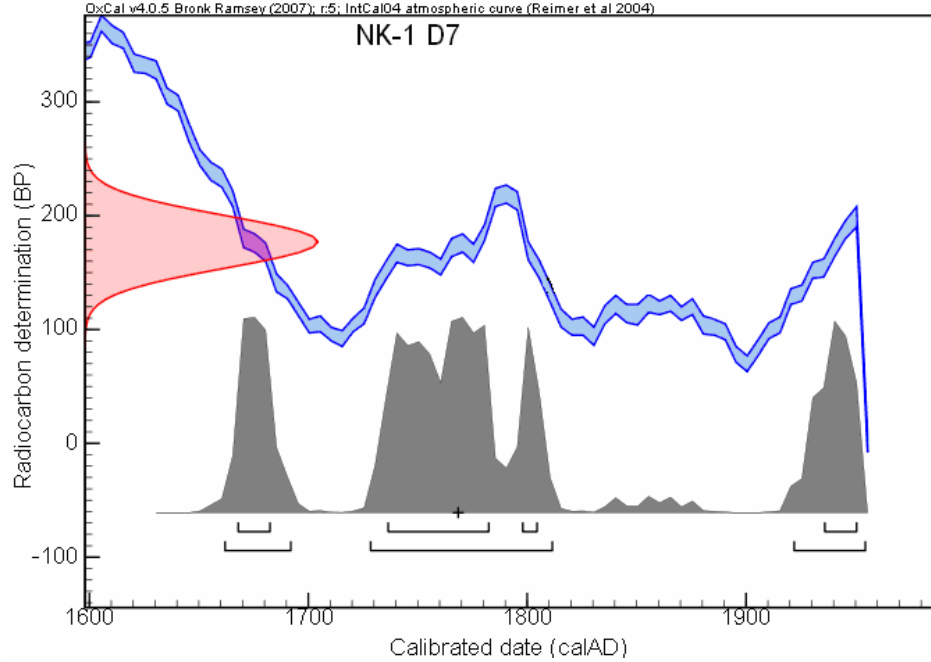
Çizelge 5.3 : Şekil 5.14’de gösterilen NK-2 hendeğinin litoloji açıklamaları.

Unite	Litoloji
a	güncel toprak
b	açık sarı, kumlu, kaba kumlu silt
c	kaba kum
d	tabanda kum, üstte doğru silt (derecelenme)
e	siltli kum, kaba kum
f	seyrek çakıllı, açık kahverengi kum
h	açık sarı, killi silt
i	gri kum
j	pembe kil
k	gri kum, derecelenmeli
l	açık kahve-sarı iyi boylanmış kum
m	gri, gevşek kum
n	açık kahverengi kil
o	gevşek kum
p	pembe kil
s	gri, çok gevşek kum

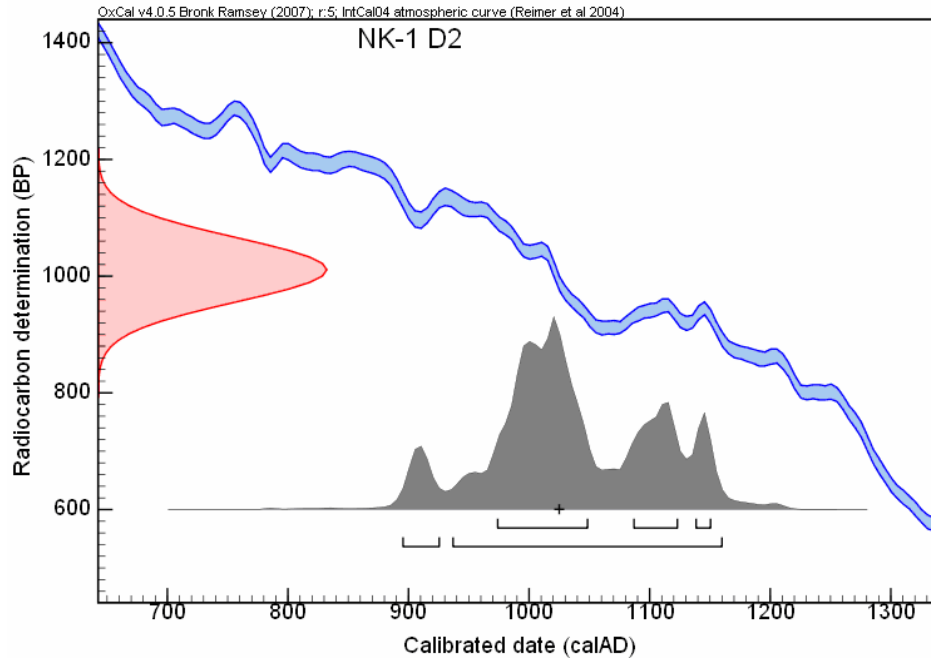
İki önceki deprem (NKD-2):

Bu depremi işaret eden deformasyon NK-2 hendeği doğu duvarının alt kesimlerinde, 3. metrede gözlenmiştir. Hendek tabanında “n” ve “o” birimlerini kesip, güney kesimde düşey olarak aşağı öteleyen ve yüzeye doğru devam eden bir süreksizlik takip edilmiştir. Bu seviyelerin hemen üstünde yer alan ve neredeyse tüm duvar boyunca takip edilebilen pembe bir kil seviyesinde ve daha üstteki seviyelerde çok daha düşük ötelenmeler haritalanmıştır. Bu durumda, “n” ve “o” birimleri birden fazla deprem ile ötelenmiş olmalıdır. Deprem, bu birimlerin depolanmasından sonra, “m” biriminin depolanmasından ise önce meydana gelmiştir (Şekil 5.14). “m” biriminin tabanı deprem seviyesi olarak belirlenmiştir. Bu olayın, NK-1 hendeği doğu duvarı 7. ve 9. metreleri ile batı duvarının 9. metresinde, “n” biriminin haritalanan ötelenmeleri ile korelasyonu da mümkündür. NK-1 hendeği, doğu

duvarında “n” biriminin en üst seviyesinden alınan kömür parçasının (NK-1 D-2) C-14 yaş tayini sonucunda 974-1048 tarih aralığı elde edilmiş, ortalama değer ise 1025 ± 55 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.16). Bu faylanmayı meydana getiren deprem (NKD-2), bu tarih aralığından hemen sonra meydana gelen bir deprem olmalıdır.



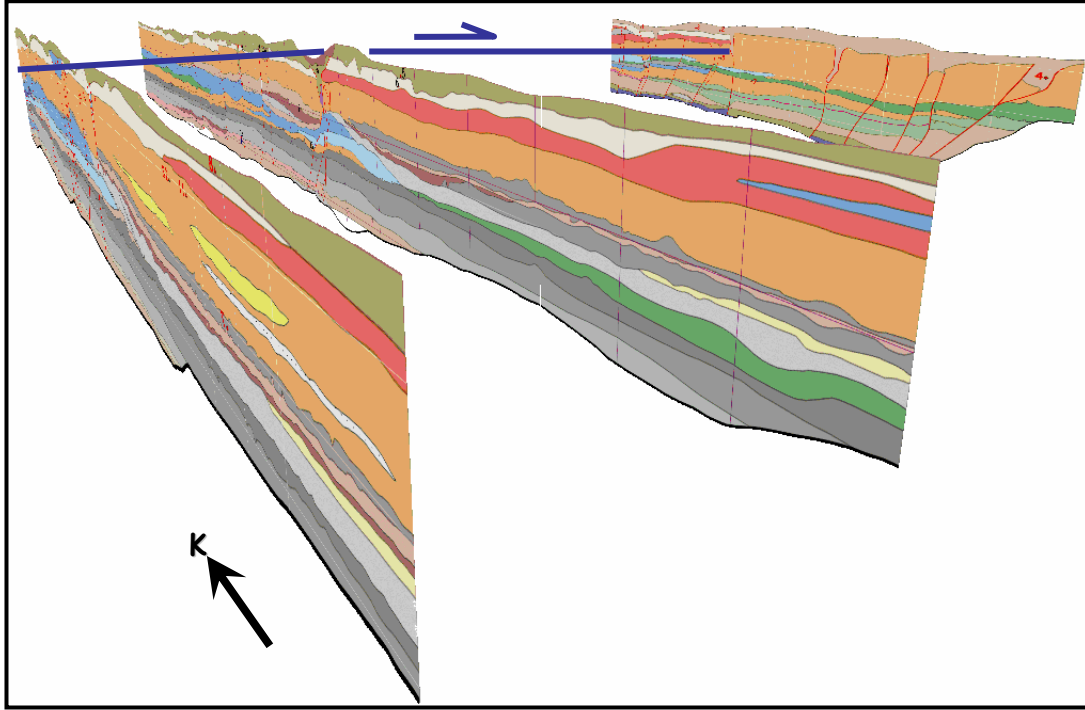
Şekil 5.15 : NK-1 hendeğinin doğu duvarından alınan “NK-1 D-7” numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.



Şekil 5.16 : NK-1 hendeğinin doğu duvarından alınan “NK-1 D-2” numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.

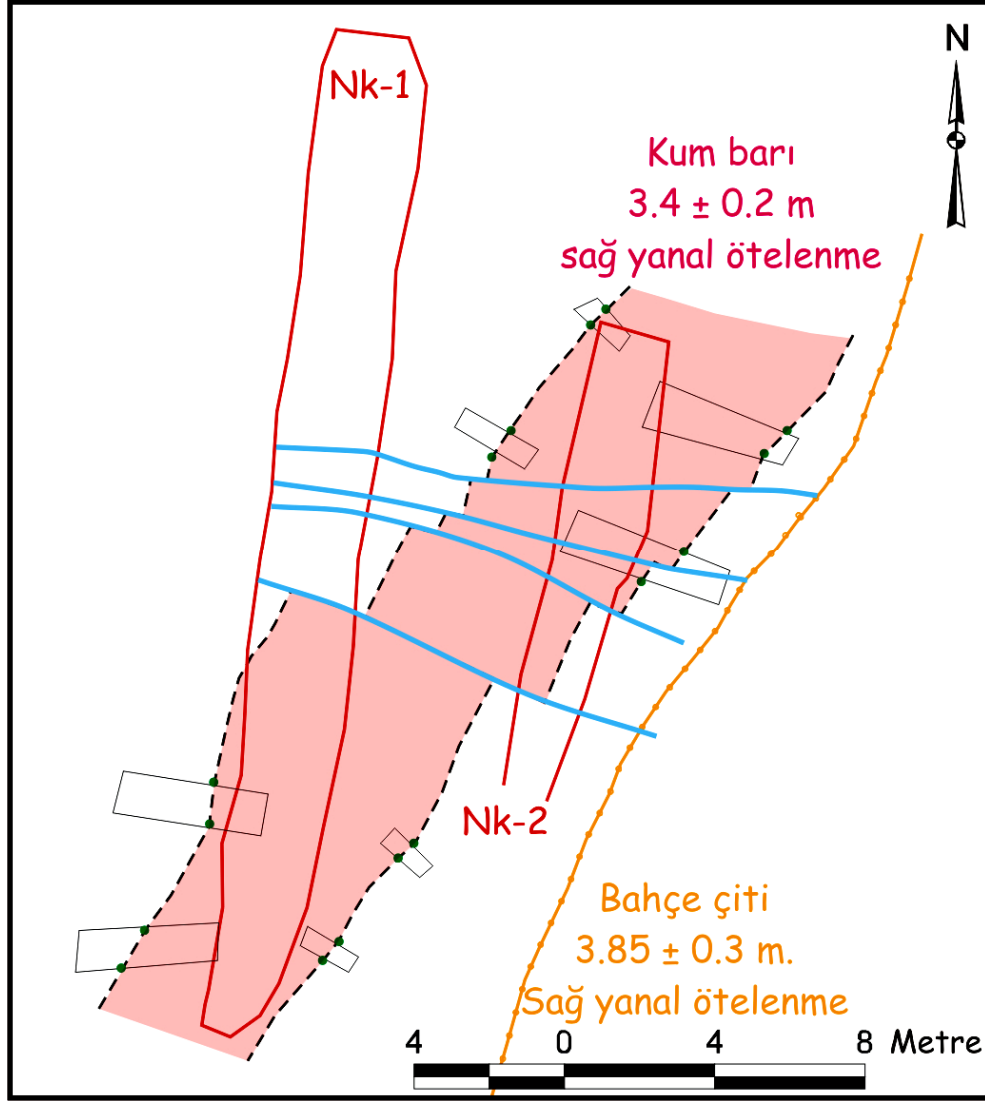
5.2.1.1b. Kümülatif ötelenme belirlemeye yönelik çalışmalar

NK-1 hendeği doğu duvarı 14. ve 22. metreleri arasında haritalanan bir kaba kum seviyesinin (“c” birimi) bu duvarda faylanma ile kesildiği, batı duvarda ise kamalanarak sonlandığı gözlenmiştir (Şekil 5.17 ve 5.18). NK-2 hendeği içerisinde de gözlenen bu birimin bir önceki deprem ile de ötelenmiş olabileceği ihtimali üzerinde durulmuş ve bir önceki depremin lokasyonda sebep olduğu ötelenme miktarının tespiti araştırılmıştır.



Şekil 5.17 : NK-1 ve NK-2 hendeklerinin üç boyutlu görünümü ve “c” biriminde (kırmızı renkli seviye) izlenen sağ-yanal ötelenme.

Bir kum barını temsil eden bu seviyenin (“c” birimi) sınırlarını takip etmek üzere NK-1 ve NK-2 hendeklerinden de faydalanarak 4’ü beko ve 4’ü elle olmak üzere toplam 8 küçük hendek daha açılmıştır. Açılan hendeklerde “c” biriminin sınırları belirlenip elektronik teodolit ile haritalanmıştır. Yapılan haritalama sonucunda kum barının sadece 3.4 m sağ yanal ötelendiği anlaşılmıştır. Hendeğin 5 m doğusundaki bir bahçe çitinde son depremde meydana gelen ötelenme miktarı ise 3.85 ± 0.3 m olarak ölçülmüştür. Bu durumda kum barının sadece son depremde meydana gelen faylanma ile ötelendiği anlaşılmıştır (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 : NK-1 ve NK-2 hendeklerinde kum barına ait ötelenmenin yardımcı hendeklerle çıkarılan haritası ve ölçülen ötelenme değeri.

5.2.1.2 NK-3 hendeği

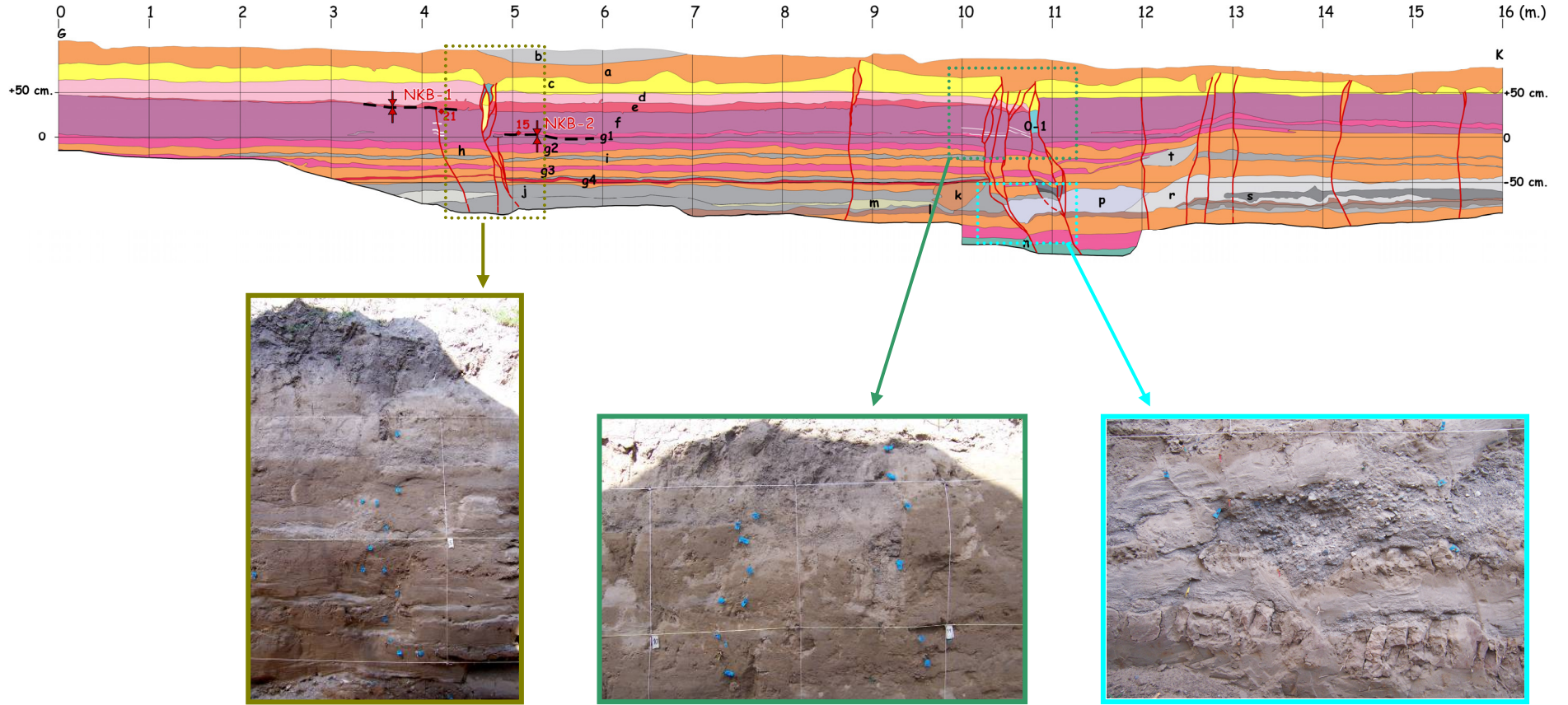
NK-1 hendeğinin yaklaşık 50 m batısında faya dik konumlu bir hendek (NK-3) daha açılmıştır. Açılan hendeğin uzunluğu 16 m, derinliği ise 1,5-2 m arasında değişmektedir. Terasın (T2) batı kenarına yakın açılan bu hendekte NK-1 ve NK-2 hendeklerinde gözlenen litolojiye göre daha ince taneli bir depolanma gözlenmiştir (Çizelge 5.4, Şekil 5.20). Kum ve çakıl boyutunda yüksek enerji depolanması hendek tabanında gözlenmiş, üstte doğru ise düşük enerji ile depolanmış kum-silt-kil seviyeleri ile temsil edilmiştir. Sıklıkla kil seviyeleri ile ardalanan kum-silt seviyelerinde hendeğin alt kesimlerinde tekne tipi ve düzlemsel çapraz tabakalanmalar hakimdir (Şekil 5.19).



Şekil 5.19 : NK-3 hendeği batı duvarında kum seviyelerinde laminalı çapraz tabakalanmalar (düşey karelaj mesafesi 50 cm.'dir).

Çizelge 5.4 : Şekil 5.22'de gösterilen NK-3 hendeğinin litoloji açıklamaları.

Ünite	Litoloji
a	güncel toprak
b	sunı dolgu
c	sarı silt
d	açık sarı, laminalı silt
e	kaba kum
f	ardalanmalı kil ve silt seviyeleri
g1-g2-g3-g4	pembe kil
h	sarı kum
i	gri kum
j	laminalı gri kum
k	kahverengi, gevşek killi kumlu çakıl
l	kahverengi kil
m	açık sarı silt
n	yeşilimsi gri kil
o-1	eski deprem çatlak dolgusu
p	çakıllı gri kaba kum
r	kaba kum
s	kum
t	gri laminalı kum



Şekil 5.20 : NK-3 hendeğinin batı duvarına ait haritalama. Altta yer alan fotoğraflar haritalama üzerindeki kesikli çerçeveler ile gösterilmiş alanlara aittir.

5.2.1.2a. Eski deprem tespitleri

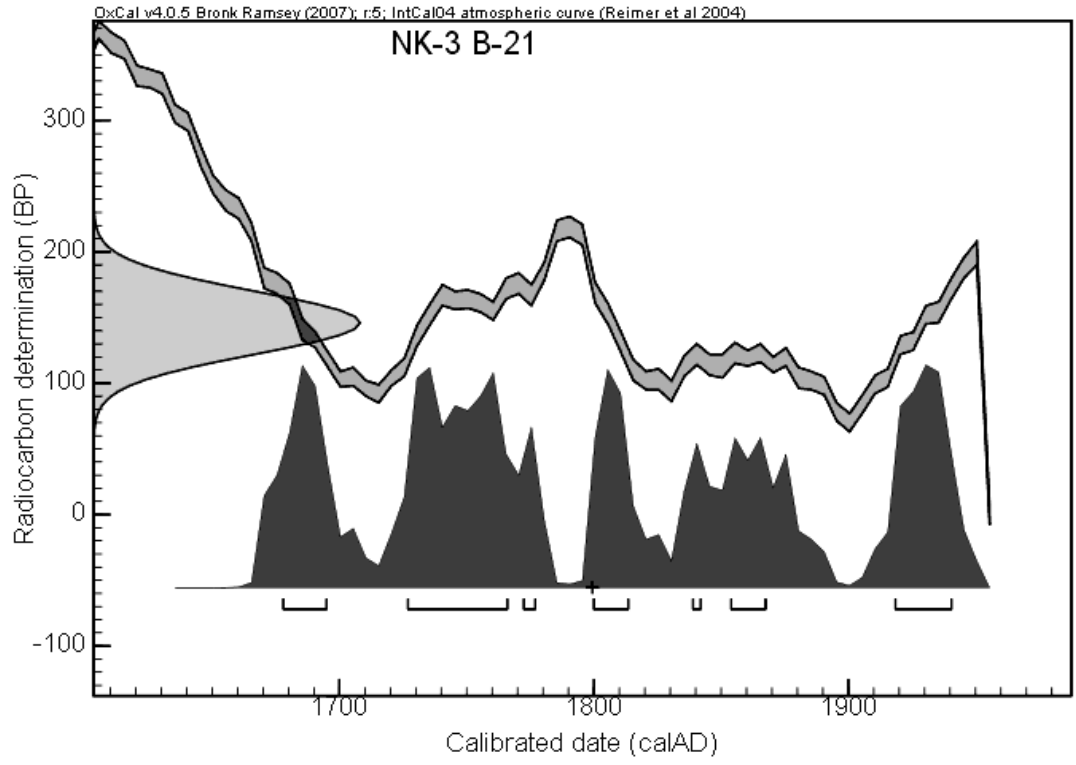
NK-3 hendeğinde yapılan çalışma sonucunda 1999 depremi öncesi iki eski deprem seviyesi belirlenmiştir. Belirlenen eski deprem seviyeleri (NKB-1 ve NKB-2), çalışma alanı doğusunda belirlenen eski deprem seviyeleri (NKD-1 ve NKD-2) ile deneştirilebilir özelliktedir.

Bir önceki deprem (NKB-1):

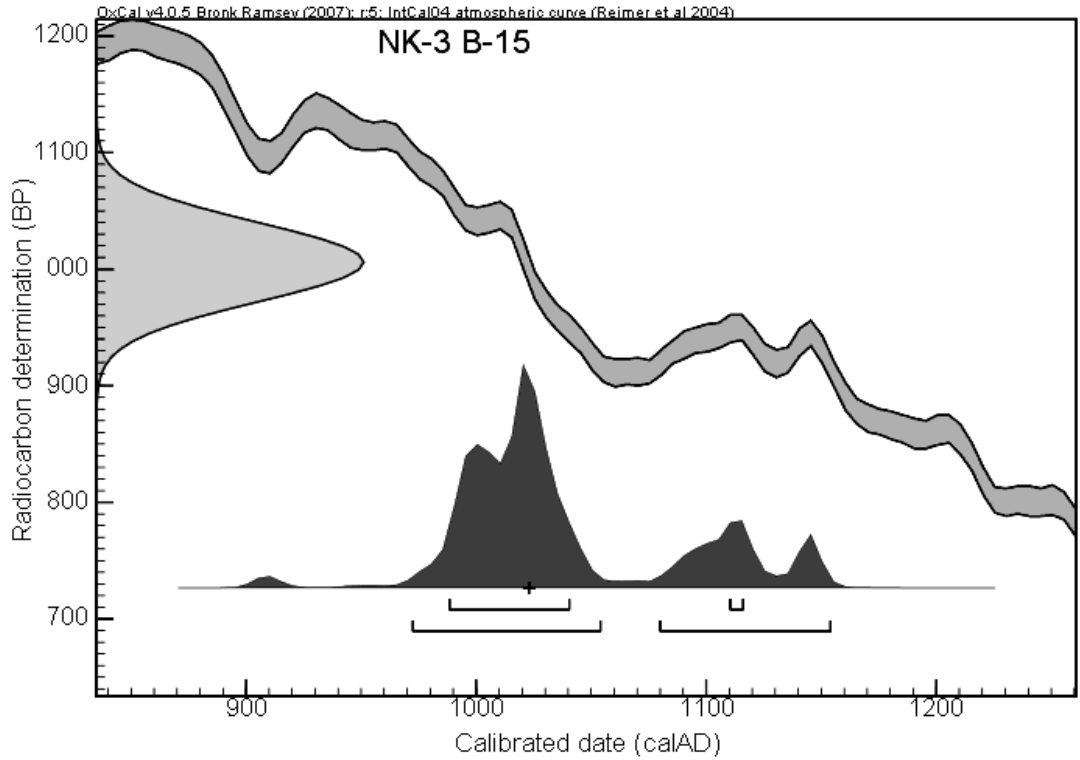
Tüm hendek boyunca sürekli izlenen “f” birimi, kil ve silt seviyelerinin ardalanmasıdan oluşur. Duvarın 4. metresinde izlenen bir süreksizlik hem alttaki seviyelerde hem de “f” birimi içerisinde ardalanan seviyelerde ötelenmeler meydana getirerek (hendeğin 4. metresinde, “f” birimi içerisinde yer alan beyaz çizgiler bu seviyeleri göstermektedir), tüm “f” birimini kapsayacak bir deformasyon oluşturmuştur (Şekil 5.20). Haritalanan bu süreksizlik “e” birimi ve daha üstteki seviyeler içerisinde takip edilememiş ve bu seviyelerde herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir. hendek duvarının 10 ve 11 metreleri arasında, “o-1” ile kodlanan ve düşey olarak gözlenen birim, “d” ve “e” birimlerinin düzensiz bir şekilde birarada bulunmalarından oluşur ve bu birimlerin konumlarından daha aşağıda bir konumda yer alır (Şekil 5.20). Bu gözlemlerden ötürü, “o-1” biriminin, deprem nedeniyle açılan bir kırıklığa malzeme dolması (*infill*) ile oluştuğu düşünülmüştür. Bu gözlemlere dayanarak, “f” biriminin üstü ve “e” biriminin altını sınırlayan bir deprem seviyesi belirlenmiştir. Bu seviyenin hemen altından alınan kömür parçasının (NK-3 B-21) C-14 yaş tayini sonucunda 1678-1695 tarih aralığı elde edilmiştir. Bu deprem seviyesini lokasyonun doğu kesiminde NK-1 hendeğinde belirlenmiş olan NKD-1 depremi ile deneştirmek mümkündür.

İki önceki deprem (NKB-2):

Hendek duvarının beşinci metresinde tabandan üst seviyelere doğru izlenen süreksizlik “g1” seviyesi altında küçük bir kanal ile aşındırılmış ve ince bir kil seviyesi ile (“g1” seviyesi) örtülmüştür (Şekil 5.20). “g1” biriminin üst kesiminden alınan karbon örneğinin (NK-3 B-15) C-14 yaş tayini sonucu 988-1040 tarihleri elde edilmiştir (Şekil 5.22). Bu tarih aralığı, izlenen deformasyona sebep olan depremin yakın sonrası bir tarihi vermektedir. Bu deprem seviyesini lokasyonun doğu kesiminde NK-2 hendeğinde belirlenmiş olan NKD-2 depremi ile deneştirmek mümkündür.



Şekil 5.21 : NK-3 hendeğinin batı duvarından alınan “NK-3 B-21” numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.



Şekil 5.22 : NK-3 hendeğinin batı duvarından alınan “NK-3 B-15” numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.

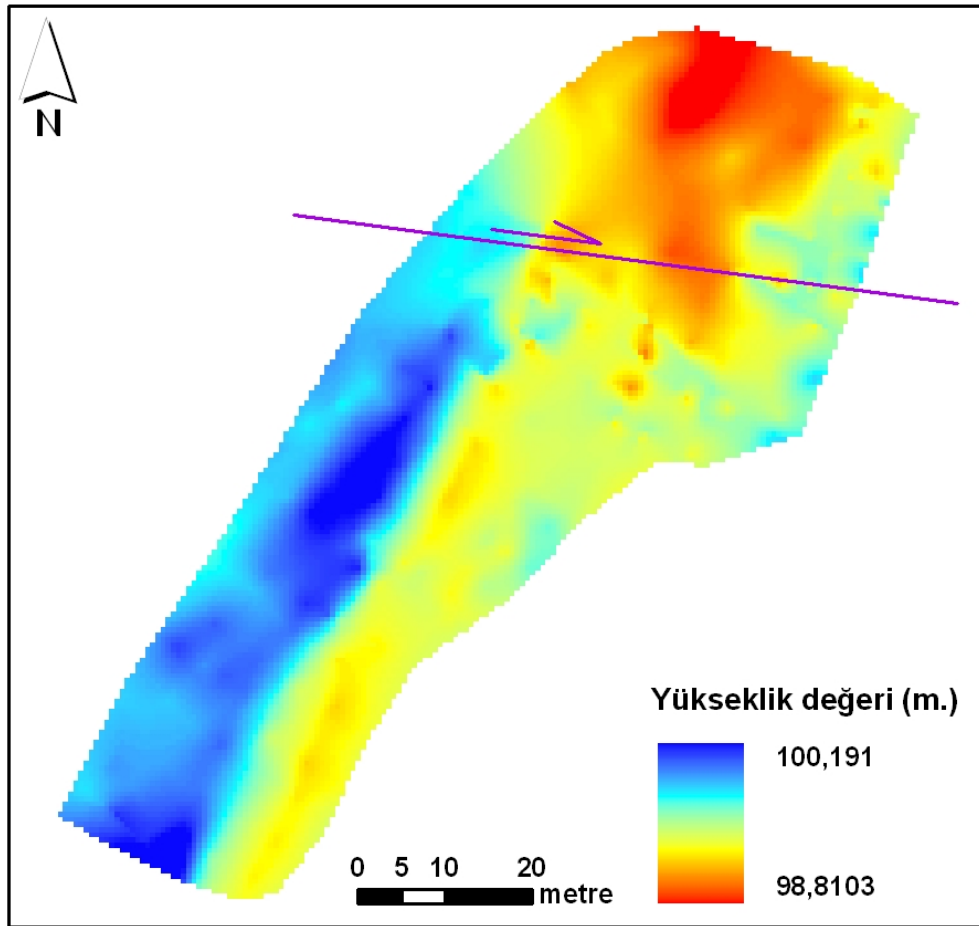
5.2.1.3 NK-4 ve NK-5 hendekleri

Çalışma lokasyonunda, Sakarya nehrinin eski terasının (T2) kenarı, fay zonunun güneyinde yüzeyde belirgin olarak izlenmektedir ve KD-GB yönünde uzanır (Şekil 5.23). Fay zonunun kuzeyinde yüzey gözlemleri ile teras kenarının devamı olabilecek bir yapı takip edilmeye çalışılmış fakat herhangi bir yapı gözlenememiştir. Lokasyonda, fay zonuna dik konumda açılmış olan üç hendekte yapılan gözlemlerde, kuzey kesimin düşey yönde aşağıya ötelenmiş olduğu gözlemine dayanarak; teras kenarının, düşey yönde meydana gelen ötelenmeler ile kuzey kesimde gömülmüş olabileceği düşünülmüştür. Bunu test etmek amacı ile GPR (Ground Penetrating Radar-Yer Radarı) kullanılarak hem kuzey hem de güney kesimde yeraltı görüntülenmiştir.

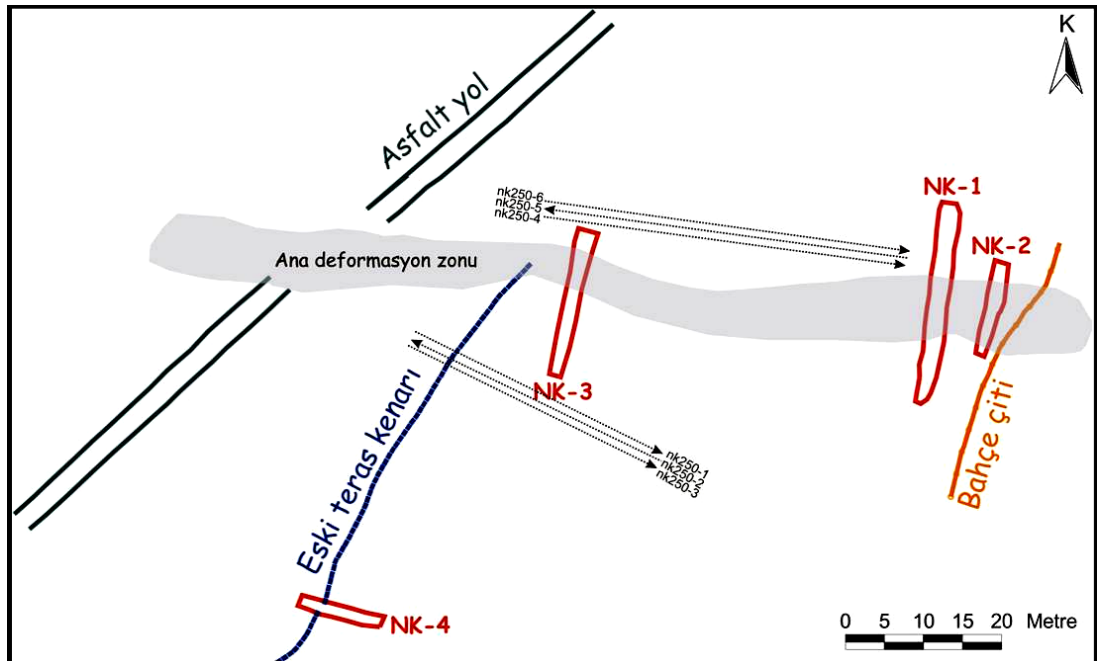


Şekil 5.23 : Şekil 5.10’da haritalanmış eski teras kenarının (T2) fotoğrafı (bakış GB’ya).

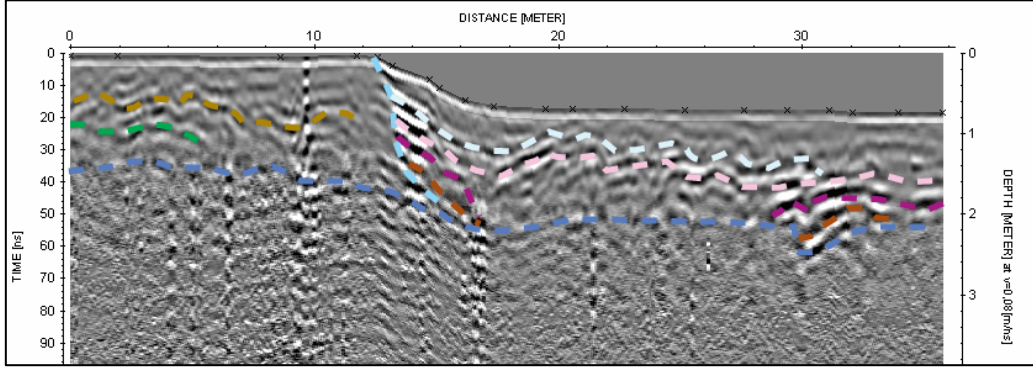
Güney kesimde mikrotopoğrafya çalışması ile teras kenarının geometrisi ortaya çıkarılmış ve kenar çizgisi haritalanmıştır (Şekil 5.24). Teras kenarının görünür olduğu güney kesimde ve yüzeyde izlenemeyen kuzey kesimde, kenar çizgisine dik konumda üç’er GPR profili alınmış ve kuzeyde, gömülü olan benzer bir geometriye rastlanmıştır (Şekil 5.25-5.27).



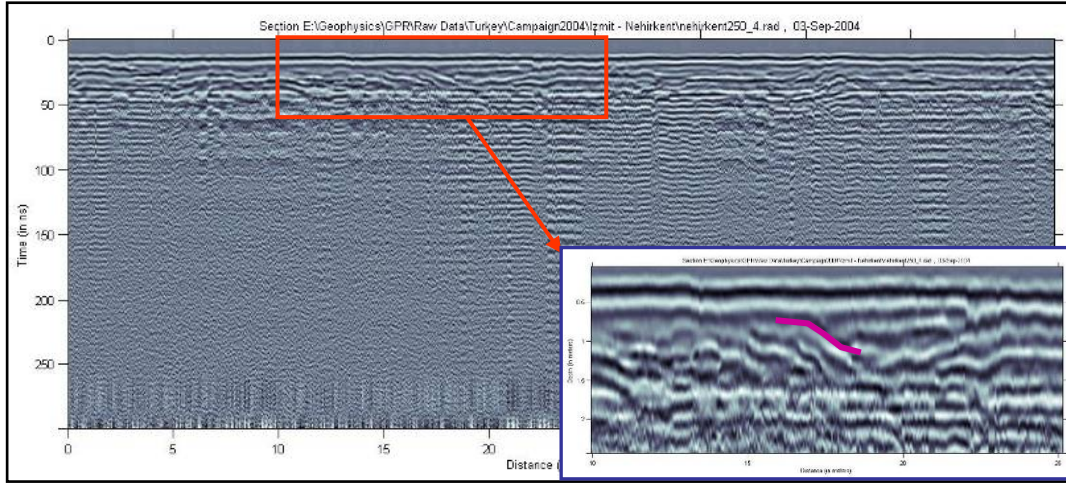
Şekil 5.24 : Sakarya nehrine ait eski teras kenarının (T2) haritalanması amacıyla mikrotopoğrafya çalışması. (Yükseklik değerleri gerçek topoğrafik değerlerden bağımsız, göreceledir, örnekleme aralığı 20 cm.'dir)



Şekil 5.25 : Nehirkent lokasyonunda alınan GPR profillerinin konumu.



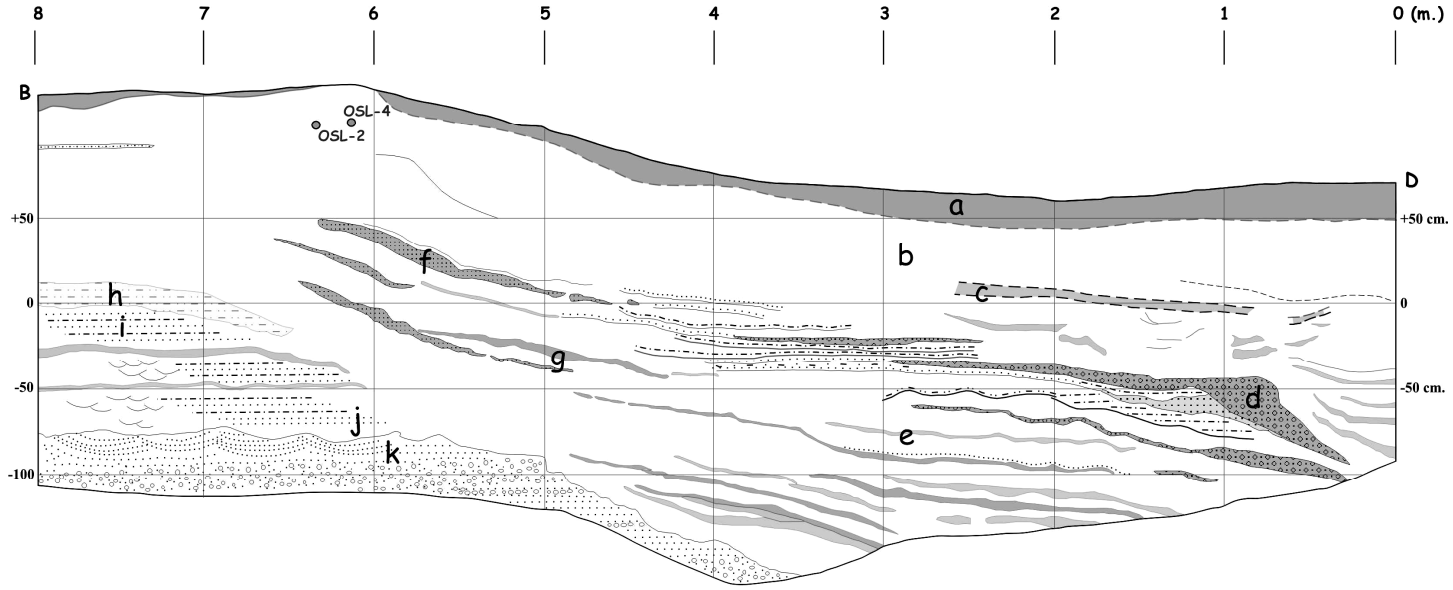
Şekil 5.26 : Fay zonunun güneyinde, teras seviyesinin görünür kenarı üzerinde alınan GPR profili ve izlenen seviyeler.



Şekil 5.27 : Fay zonunun hemen kuzeyinde yaklaşık D-B yönünde alınan GPR profili (nk250_4) ve profilden belirlenen gömülü teras kenarının görünümü.

Güney kesimde, teras kenarının geometrisi ve stratigrafisinin belirlenebilmesi amacıyla yapıya dik bir hendek (NK-4) açılmıştır (Şekil 5.25 ve 5.28). NK-4 hendeğinin batı kesiminde, tabanda tekne tipi çapraz tabakalanmalı kaba kum-kum seviyeleri üst kesimlere doğru tane boyu incelererek siltli kum, silt, killi silt ve ince kil seviyeleri olarak izlenmiştir. Bu litolojinin üzerine erozyonal olarak, doğuya eğimli, kil, silt, killi silt seviyeleri depolanmıştır (Şekil 5.28).

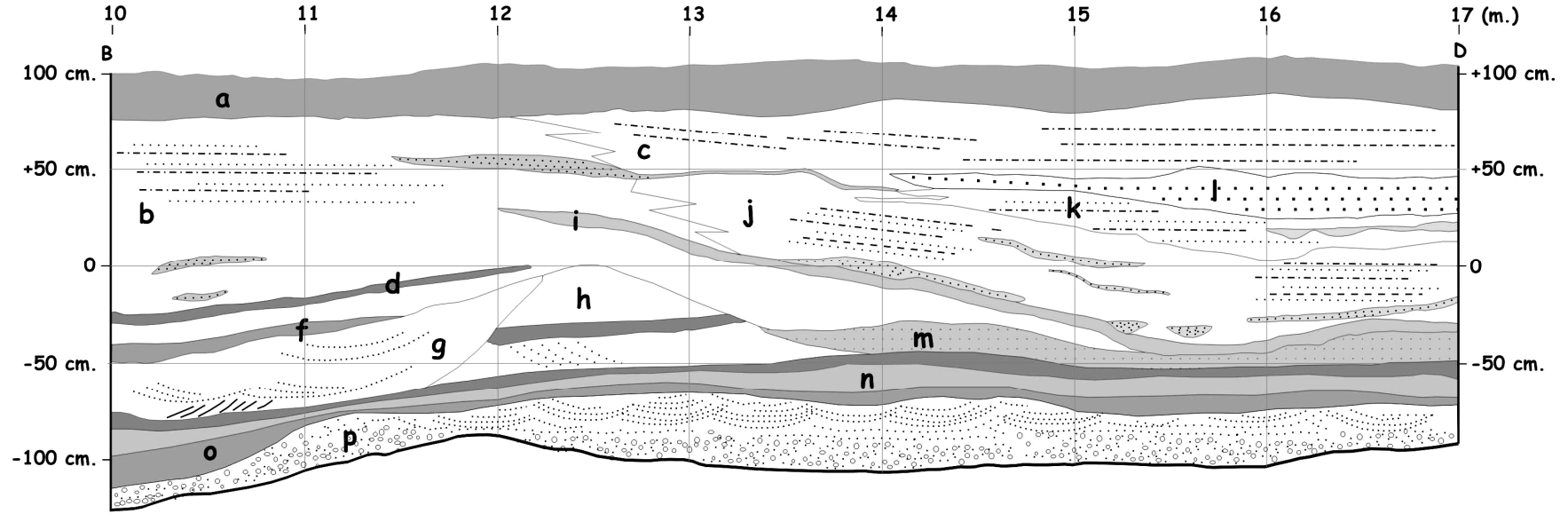
Kuzey kesimde alınan GPR profilinde gözlenen benzer yapıyı test edebilmek için NK-4 hendeğine ve fay zonuna paralel bir hendek (NK-5) daha açılmıştır (Şekil 5.29 ve 5.30). NK-4 hendeği ile benzer bir stratigrafi ve geometri gösteren NK-5 hendeğinin 12-13 metreleri arasında teras kenarı yüzeyden yaklaşık 40 cm aşağıda belirlenmiştir (Şekil 5.29).



Şekil 5.28 : NK-4 hendeğinin kuzey duvarına ait haritalama

Çizelge 5.5 : Şekil 5.28’de gösterilen NK-4 hendeğinin litoloji açıklamaları

Ünite	Litoloji	Ünite	Litoloji
a	güncel toprak	f	gri kum
b	sarı silt	g	yeşil kil
c	kahverengi kil	h	kum
d	çakıllı kaba kum	i	Siltli kum
e	pembe kil	j	Kumlu silt
		k	gri çakıl-kaba kum-kum, tekne tipi çapraz tabakalanmalı

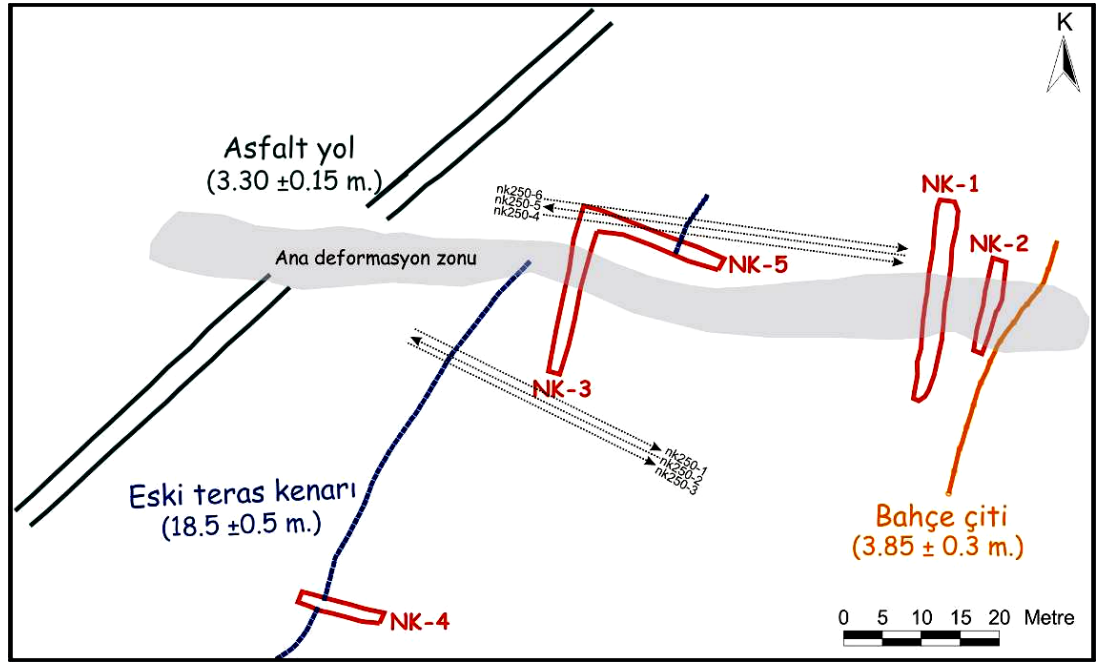


Şekil 5.29 : NK-5 hendeği güney duvarına ait haritalama. Gömülü teras kenarı 12-13 metreler arasında izlenmektedir.

Çizelge 5.6 : Şekil 5.29’da gösterilen NK-5 hendeğinin litoloji açıklamaları

Ünite	Litoloji	Ünite	Litoloji
a	güncel toprak	j	siltli killi kum
b	kahverengi silt-kum	k	kum-silt
c	açık sarı silt	l	gri gevşek kaba kum
d	pembe kil	m	gri kaba kum-kum
f	kahverengi kil	n	kahverengi kum-silt
g	gevşek gri kum, laminalı, çapraz tabakalanmalı	o	kahverengi kil
h	çakıllı gri kum	p	gri gevşek çakıllı kaba kum
i	pembe siltli kil		

Lokasyonda elektronik teodolit ile 1999 depremi ile ötelenen asfalt yol, bahçe çiti ve teras kenarı haritalanmıştır (Şekil 5.30). Bu haritalama sonucunda asfalt yol ve bahçe çitinin sırasıyla 3.3 m ve 3.85 m, nehrin eski terasının kenar çizgisinin ise toplam 18.5 m sağ-yanal ötelendiği ölçülmüştür (Şekil 5.30). Son depremde lokasyonda bulunan yapılarda meydana gelen 3.3 m ve 3.85 m'lik ötelenme değerleri gözönünde bulundurulduğunda, teras kenarında ölçülen 18,5 m ötelenme değerinin meydana gelebilmesi için 1999 depremi dahil 4 ya da 5 eski depremin bölgede yüzey faylanması ve ötelenme meydana getirmiş olmalıdır.



Şekil 5.30 : Fay zonunun güneyinde gözlenen teras kenarının ve gömülü olarak devam eden uzantısının haritası ve ölçülen ötelenme değeri.

Çizelge 5.7 : Teras kenarının (T2) yaşlandırılması amacıyla alınan numunelerin OSL yaş tayini sonuçları

Lab. no.	Derinlik (cm)	Yaş (ka)	Doz (Gy)	(n)	Doz oranı (Gy/ka)	Kozmik (Gy7ka)
NK-OSL2	20	0.864±0.100	1.06 ± 0.12	10	1.23 ± 0.04	0.26
NK-OSL4	20	0.851±0.118	1.04 ± 0.14	10	1.23 ± 0.04	0.26

Çizelge 5.8 : Teras kenarının yaşlandırılması amacıyla alınan numunelerin OSL yaş tayini sonuçları

Numune no	Minimum yaş (takvim yılı)	Maximum yaş (takvim yılı)
NK-OSL4	1037	1273
NK-OSL2	1042	1242

NK-4 hendeğinden, teras kenarını yaşlandırılabilmek amacı ile OSL yaşlandırma yöntemine uygun iki adet numune alınmıştır. NK-OSL-2 numaralı örneğin OSL yaş tayini 1142 ± 100 tarihini, NK-OSL-4 numaralı örneğin yaş tayini ise 1155 ± 118 tarihlerini vermiştir (Çizelge 5.7).

OSL yaş tayini ile elde edilen sonuçlara göre teras kenarının yaşı en az 1037 en çok 1273'dir (Çizelge 5.7 ve 5.8). Bu tarih değerleri ve 18,5 m ötelenme değeri ile lokasyondaki kayma hızı son 1000 sene için $22,2 \pm 3$ mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

5.2.2 Sakarya nehri doğusu (SK)

Sakarya nehri doğu kenarında 1999 depremi yüzey kırığı bir kavaklık içinde iki kol halinde izlenir. Kavak ağaçlarında son faylanma ile oluşan ötelenme miktarı Langridge ve diğ. (2002) tarafından deprem sonrasında 3.3 m olarak ölçülmüştür (Şekil 5.31).

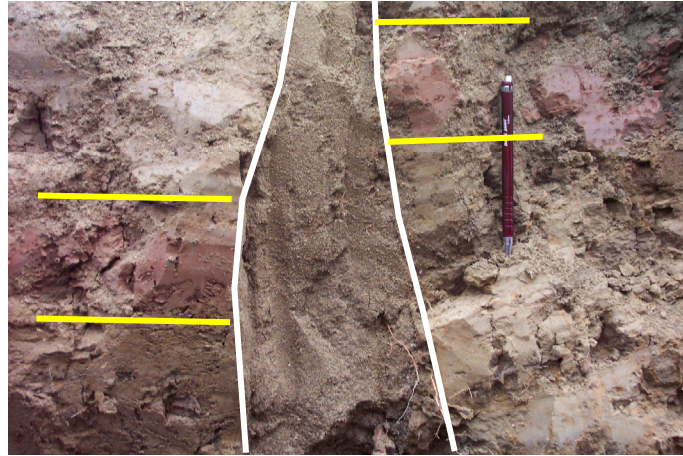
Lokasyonda her iki kolu da kesecek şekilde, 16 m uzunluğunda ve yaklaşık 1,5 m derinliğinde bir hendek kazılmış ve SK harfleri ile kodlanmıştır. Yapılan kazıda Sakarya nehrine ait kanal ve taşkın çökelleri gözlenmiştir. Açılan hendek nehrin en genç terasında yer alır ve gözlenen seviyeler hendek tabanında kaba kum ile başlayıp kum, silt ve kil ardalı kum-silt seviyeleri ile devam eder (Şekil 5.32-5.34).



Şekil 5.31 : Sakarya Nehri doğusunda, 1999 İzmit depremi ile kavak ağaçlarında meydana gelen sağ yanal ötelenme.



Şekil 5.32 : SK hendeğinin genel görünümü.



Şekil 5.33 : Batı duvarda yer alan bir kum daykı ve pembe kil seviyesindeki ötelenme.



Şekil 5.34 : Batı duvarda yer alan iyi boyplanmalı kum seviyelerindeki laminalı çapraz tabakalanmalar.

Hendeğin batı duvarında L seviyesinin alttaki seviyelerin üzerine erozyonal olarak geldiği, diğer bir erozyonal seviyenin ise G seviyesinin üstü olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.36 ve 5.37). Eski deprem belirlemede bu iki erozyonal seviyenin neden olduğu kayıt eksikliği mevcuttur. Hendeğin kuzey kesimlerinde gözlenen kum daykları 1999 depremi sonucu oluşmuştur (Şekil 5.33 ve 5.36).

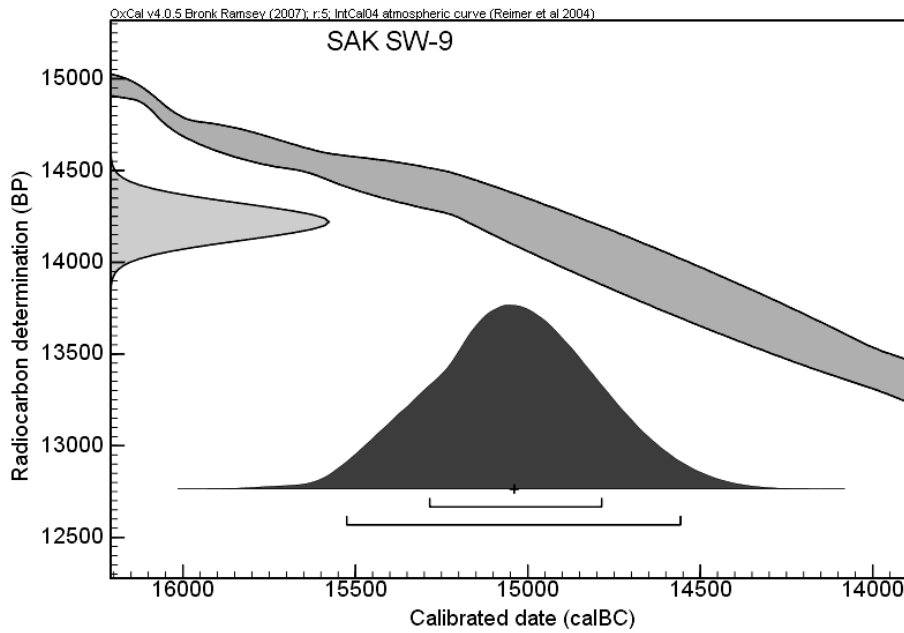
Yapılan hendek çalışması sonucunda lokasyonda 1999 depremi öncesine ait iki eski deprem tespit edilmiştir.

5.2.2.1 Eski deprem tespitleri

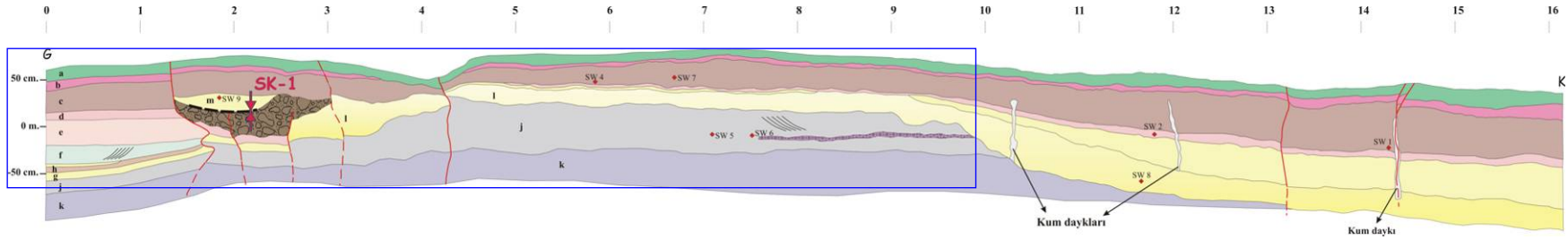
Sakarya lokasyonunda 1999 İzmit depremi öncesi iki eski deprem seviyesi tespit edilmiştir.

Bir önceki deprem (SK-1):

Açılan hendeğin batı duvarında 1-3 metreleri arasında yer alan kanal eski kırıklar ile kesilmiş ve bir silt seviyesi (“m” birimi) ile örtülmüştür (Şekil 5.36). Bu olay 1999 depreminden bir önce gerçekleşmiş bir depremi işaret eder. “m” birimi içerisinde kömür örneği aranmış ve üst kesimlerinden bulunmuş olan tek numune (SAK SW-9) C-14 yaş tayini ile tarihlendirilmiştir. Numuneden elde edilen M.Ö. 15500-14500 tarih aralığı kömür parçasının taşınmış olduğunu göstermektedir (Şekil 5.35) Bu deprem seviyesi tarihlendirilememiştir.

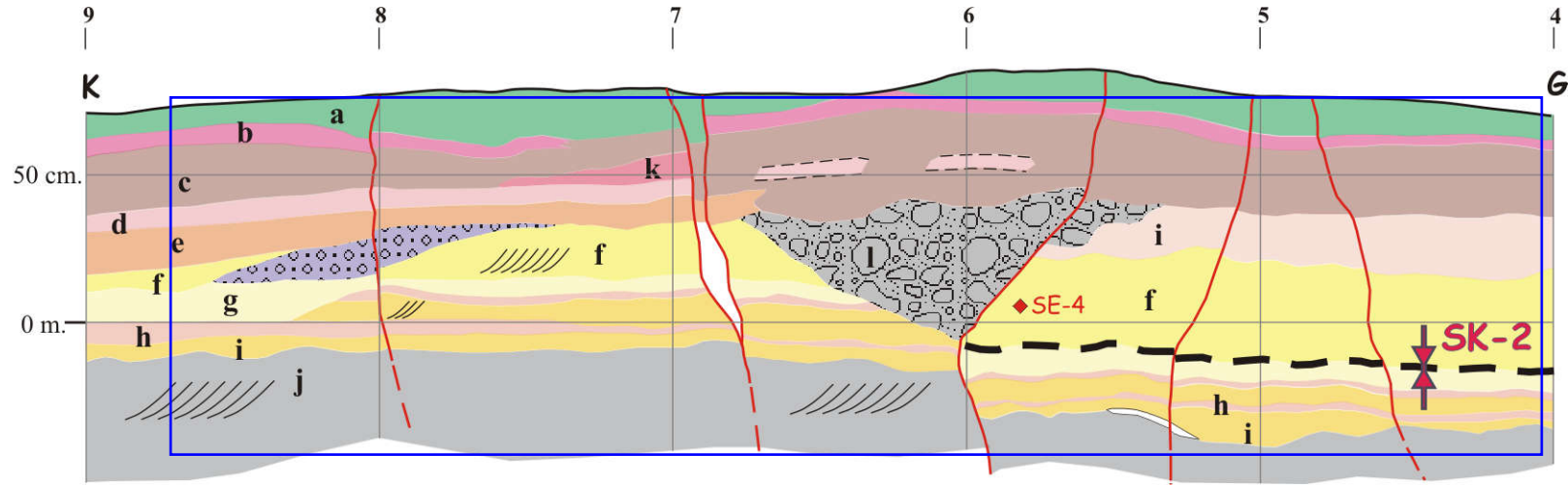


Şekil 5.35 : SAK hendeğinin batı duvarından alınan SW-9 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.



a: yeşil kil	b: kırmızımsı kahverengi kil
c: açık kahverengi kum-silt ar dalanması	d: pembe kil
e: pembe kil- sarı silt-gri ince kum ar dalanması	f: gri, laminalı ince kum
g: sarı silt	h: açık kahverengi kil
j: gevşek, ince taneli gri kum	k: gevşek, gri kaba kum
l: sarı ince kum-silt ar dalanması	m: sarı silt

Şekil 5.36 : SK hendeğinin batı duvarına ait haritalama. Üstteki fotomozaik, log üzerinde mavi çerçveli alanı temsil eder.

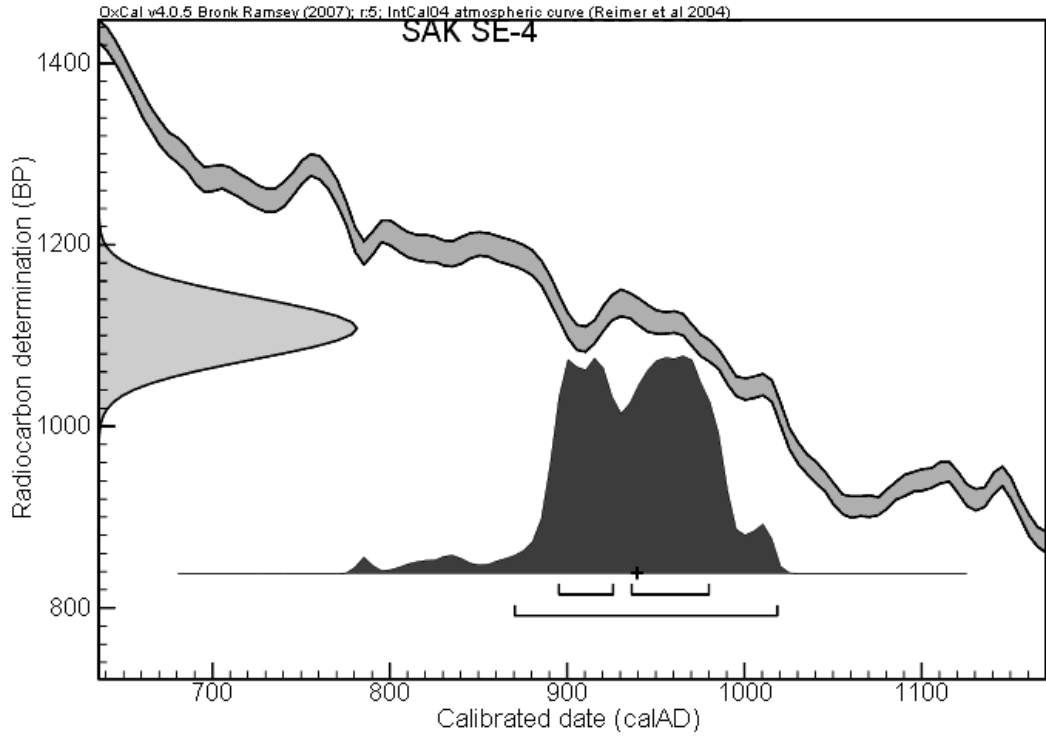


a: yeşil kil	b: kırmızımsı kahverengi kil
c: kahverengi silt-kil	d: pembe kil
e: kahverengi kumlu silt	f: sarı ince kum
g: sarı kaba kum	h: gevşek, ince taneli gri kum, kaba kum
i: sarı silt	j: gevşek gri kum
k: açık kahverengi ince kum	l: kanal çökelleri

Şekil 5.37 : SK hendeğinin doğu duvarına ait haritalama. Üstteki fotomozaiik görüntü, log üzerinde mavi çerçeveli alanı temsil eder.

İki önceki deprem (SK-2):

Açılan hendeğin doğu duvarının 6. metresinde, kanal çökellerinin altında ince kum-silt seviyelerinin ardalandığı bir paket (“h” ve “i” birimleri) gözlenmiştir (Şekil 5.37). Hem bu paketi hem de daha üstteki genç seviyeleri kesen süreksizlik gözönüne alındığında; paketteki ötelenmenin genç seviyelere göre daha yüksek olduğu gözlenmiş ve bunun bir diğer deprem vasıtasıyla olduğu düşünülmüştür. Paketin hemen üstündeki ince kum seviyesinin (f birimi), faylanma ile düşen kesimde, daha kalın gözlenmesi nedeniyle deprem seviyesi “f” biriminin hemen altı olarak belirlenmiştir. Bu seviyenin üstünden alınmış olan SE-4 numaralı karbon örneğinin C-14 yaş tayini sonucu 895-926 tarih aralığını vermektedir (Şekil 5.38). SK-2 deprem seviyesinin temsil ettiği faylanma bu tarihler öncesinde meydana gelen bir deprem ile oluşmuştur.



Şekil 5.38 : SK hendeğinin batı duvarından alınan SE-4 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.

5.2.3 Ekinli lokasyonu (EKN)

Sakarya nehrinin yaklaşık 8 km doğusunda, Ekinli köyü kuzeyinde 1999 İzmit depremi yüzey kırığı K80°B doğrultusunda uzanıp bir su kanalını keserek doğuya doğru devam eder (Şekil 5.39). Depremden hemen sonra yapılan çalışmalarda bu lokalitede bir traktör izinden ölçülen sağ-yanal ötelenme Langridge ve diğ. (2002) tarafından 2.26 m, Emre ve diğ.. (2003) tarafından ise 2.20 m olarak ölçülmüştür. Aynı lokasyonda aynı araştırmacılar tarafından su kanalı kenarında ölçülen ötelenme değerleri ise sırasıyla 2.42 ve 2.25 m'dir.



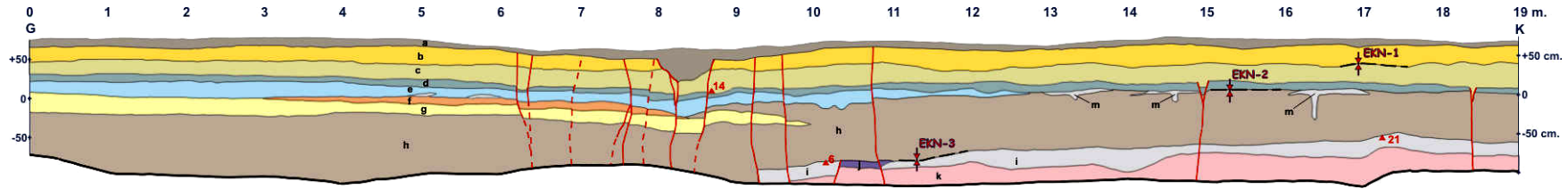
Şekil 5.39 : Ekinli köyü kuzeyinde 1999 İzmit depremi yüzey kırığı ve üzerinde açılan hendeğin konumu (fotoğrafın bakışı doğudan batıyadır).

Kanalın batı kenarında, eski depremlerin tarihlendirilmesi amacıyla 19 m uzunluğunda ve yaklaşık 1,5 m derinliğinde, faya dik bir hendek açılmıştır. Yüksek yeraltısuyu seviyesi dolayısıyla hendek içerisinde depolanan su, su pompası ile boşaltılmış ve duvarlarda oluşabilecek çökmelere karşı hidrolik payanda desteği ile çalışma tamamlanmıştır (Şekil 5.40). Açılan hendek EKN harfleri ile kodlanmıştır.



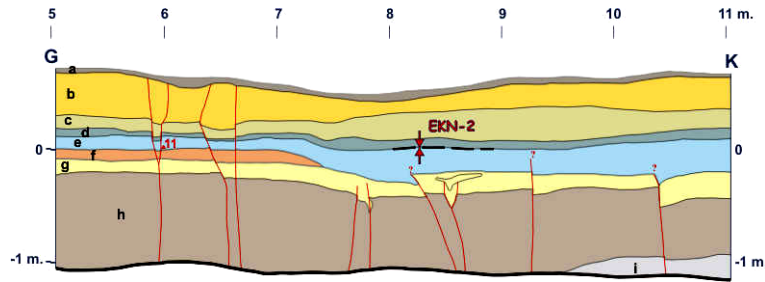
Şekil 5.40 : Hendek duvarlarının sabit kalmasını sağlamak amacıyla kullanılan hidrolik payandaların hendek içerisinde görünümü.

Açılan hendeğin batı ve doğu duvarları 1:20 ölçeğinde haritalanmıştır. Hendek içerisinde gözlenen litoloji tabanda kil seviyeleri, üst kesimlere doğru ise siltli kil ve killi silt seviyeleri ile temsil edilmiştir (Şekil 5.40-5.44). Yapılan haritalama ile deformasyonlar ve stratigrafik ilişkiler değerlendirilip eski deprem seviyeleri belirlenmiştir (Şekil 5.41 ve 5.42).



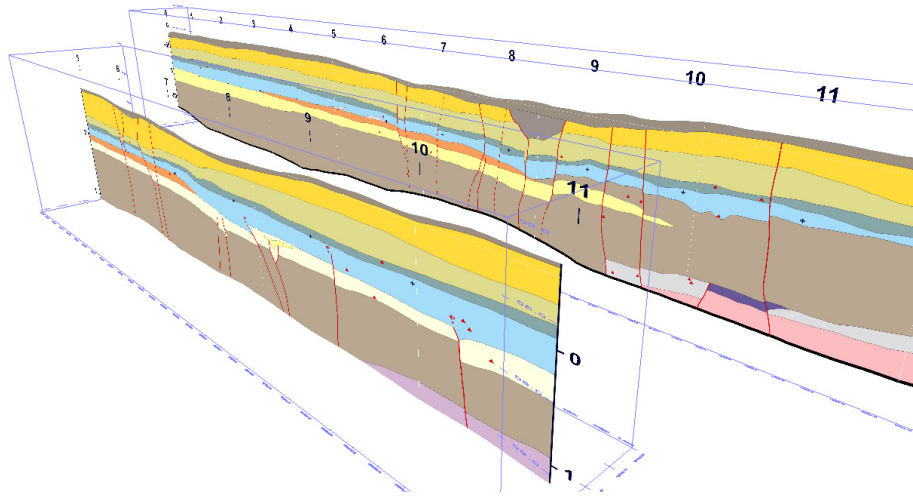
a: toprak	b: açık sarı, killi silt
c: açık kahverengi, siltli kil	d: yeşil, killi silt
e: sarı, siltli kil	f: kahverengi, kumlu kil
g: kaba kum	h: kahverengi kil
i: gri, orta iyi boylanmış kum	j: gri, siltli kil
k: koyu pembe kil	m: sivilaşma sonucu oluşmuş kum volkanları

Şekil 5.41 : EKN hendeğinin batı duvarına ait haritalama.



a: toprak	b: açık sarı, killi silt
c: açık kahverengi, siltli kil	d: yeşil, killi silt
e: sarı, siltli kil	f: kahverengi, kumlu kil
g: kaba kum	h: kahverengi kil
i: gri, orta iyi boylanmış kum	

Şekil 5.42 : EKN hendeğinin doğu duvarına ait haritalama.



Şekil 5.43 : EKN hendeğinin doğu ve batı duvarlarına ait haritalamanın üç boyutlu görünümü (bakış güneybatıya'dır).



Şekil 5.44 : EKN hendeğinin doğu duvarında gözlenen 1999 İzmit depremine ait kayma düzlemlerinden biri. Kayma çizikleri saf sağ-yanal hareketi göstermektedir.

5.2.3.1 Eski deprem tespitleri

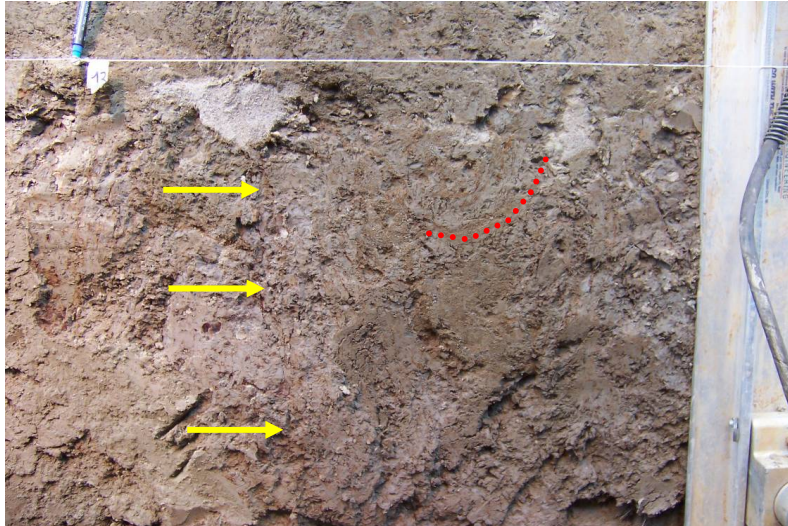
Ekinli lokasyonunda 1999 İzmit depremi öncesi 3 eski deprem belirlenmiştir.

Bir önceki deprem (EKN-1): Bu depremin sebep olduğu deformasyon EKN hendeği batı duvarı 14 ve 19 metreler arasında gözlenmiştir. Hendeğin her iki duvarında da üst kesimlerde düzenli olarak izlenebilen “c” birimi faylanmış ve üstüne gelen seviyede herhangi bir deformasyon oluşmamıştır (Şekil 5.41). Bu gözleme

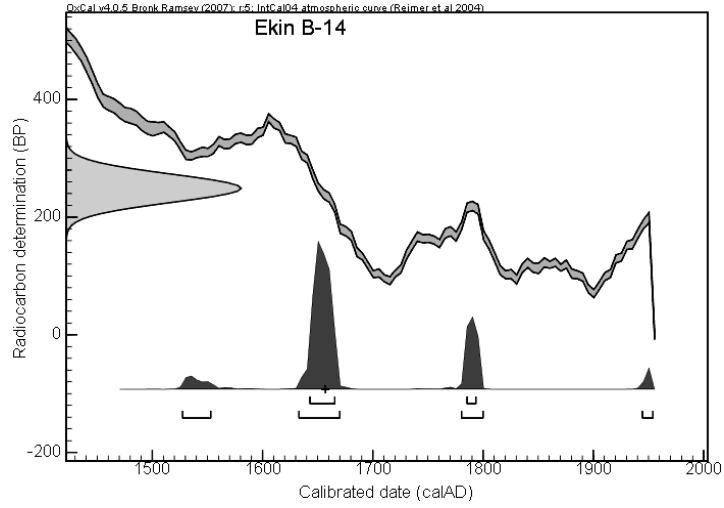
dayanarak, 1999 depreminin bir öncesi depremin bu faylanmaya sebep olduğu düşünülmüştür. “c” biriminin tabanından alınan kömür örneğinin (EKN B-14) C-14 yaş tayini 1643-1665 tarihleri arasını vermektedir (Şekil 5.46). Bu durumda, belirlenen deprem, bu tarih aralığının yakın sonrasında meydana gelmiştir.

İki önceki deprem (EKN-2): Doğu hendek duvarında 7. ve 11. metreler arasında faylanan “e” biriminin “d” birimi ile örtülmesi bu depreme ait en önemli gözlemdir. Batı duvarda, 13-17 metreler arasında gözlenen, “d” biriminin örttüğü sıvılaşma yapıları da bu depremle ilişkilendirilmiştir (Şekil 5.41 ve 5.42). EKN-D11 numaralı karbon örneğinin C-14 yaş tayini 1520-1593 yılları arasında bir tarih vermiştir (Şekil 5.47). Batı duvarda “c” biriminin tabanından alınan örneğin (EKN B-14) C-14 yaş tayini sonucu 1643-1665 tarih aralığı elde edilmiştir. Bu durumda, EKN-2 depremi 1520-1593 tarih aralığı sonrası ve 1643-1665 tarih aralığı öncesinde meydana gelen ve lokasyonda faylanmaya sebep olan bir deprem olmalıdır.

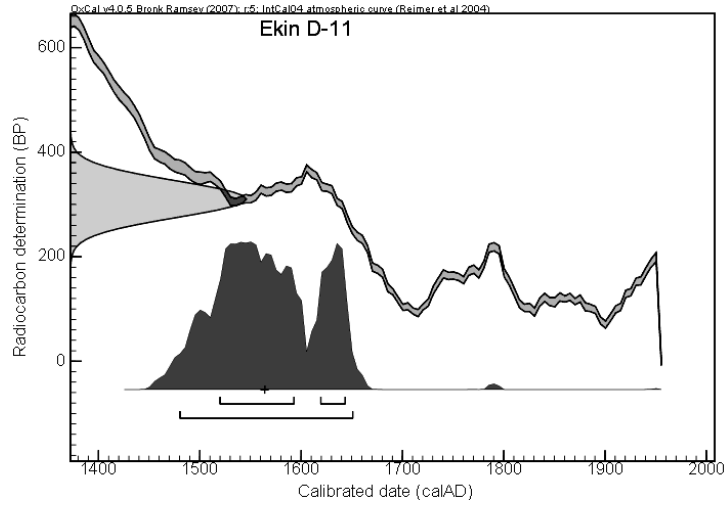
Üç önceki deprem (EKN-3): Bu depreme ait gözlem, EKN hendeğinin batı duvarında 10-11 metreleri arasında, duvarın alt kesimlerinde faylandığı gözlenen “i”, “j” ve “k” seviyelerinin “h” seviyesi ile örtülmüş olmasıdır (Şekil 5.41). “h” seviyesinin tabanı eski deprem seviyesi olarak belirlenmiştir. Deprem seviyesinin hemen altından alınan EKN B-6 ve EKN B-21 karbon örnekleri C-14 yaş tayini ortalama değerleri 1024 ± 20 ile 1093 ± 29 tarihlerini vermiştir (Şekil 5.48 ve 5.49). EKN-3 depremi bu tarih aralığının hemen sonrasında meydana gelmiş bir deprem olmalıdır.



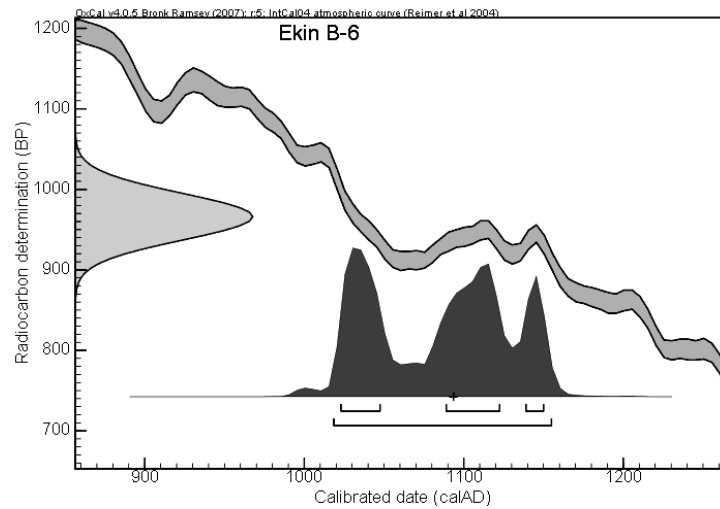
Şekil 5.45 : EKN hendeğinin batı duvarı 13-14 metreleri arasında görülen sıvılaşma yapıları. (Sarı oklar kum bacasını, kırmızı noktalı çizgi çökeltiye bağlı oluşmuş deformasyonu gösterir.)



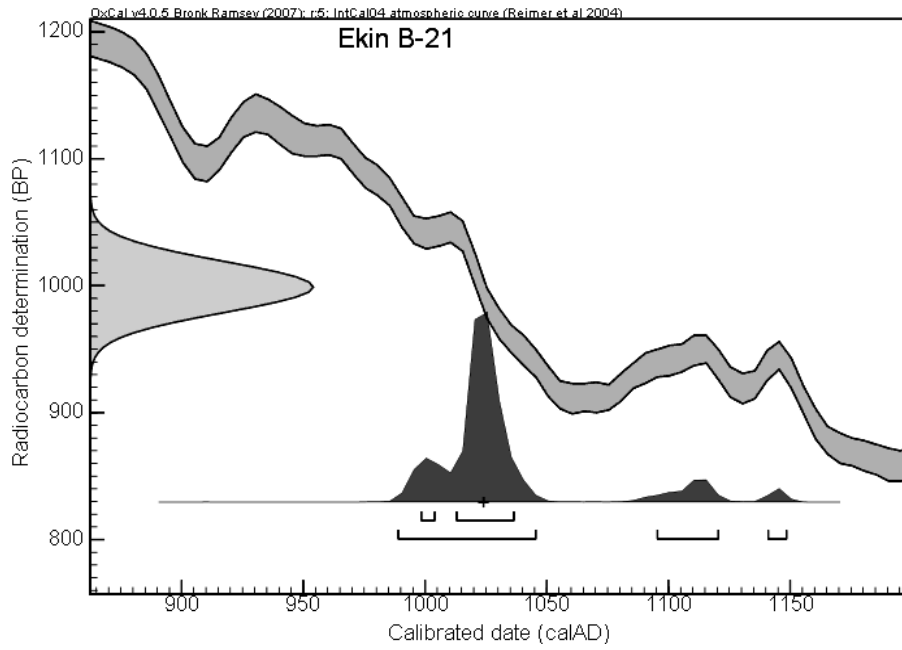
Şekil 5.46 : EKN hendeğinin batı duvarından alınan EKN-B14 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.



Şekil 5.47 : EKN hendeğinin doğu duvarından alınan EKN-D11 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.



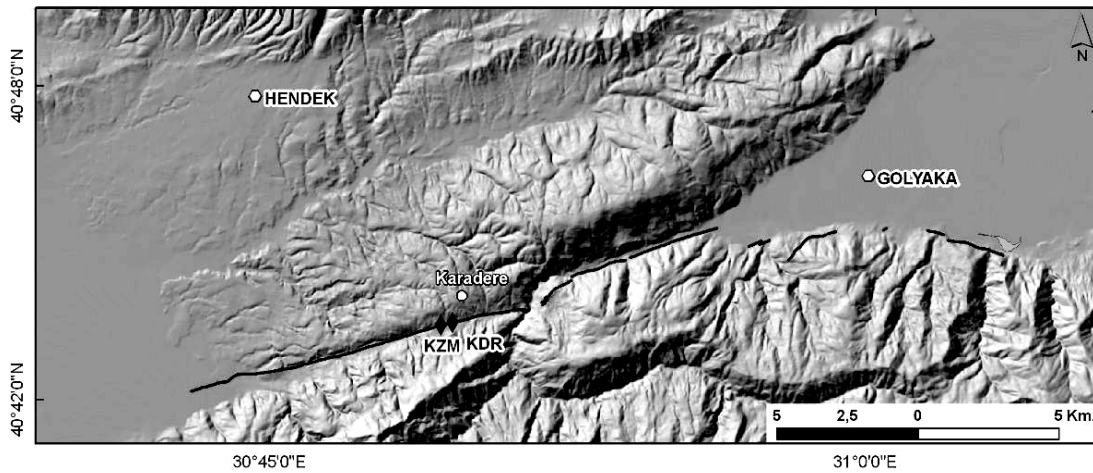
Şekil 5.48 : EKN hendeğinin batı duvarından alınan EKN-B6 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.



Şekil 5.49 : EKN hendeğinin batı duvarından alınan EKN-B21 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.

5.3 Karadere Segmenti Üzerinde Yapılan Paleosismoloji Çalışmaları

Karadere segmentinde bölgenin morfolojik konumundan dolayı hendek çalışmaları için uygun lokasyon bulmak bir hayli güç olmuştur. Paleosismoloji çalışmaları için segment üzerindeki en önemli dezavantaj KAF'ın çoğunlukla vadi boyunca veya dik yamaçları keserek devam edışıdır (Şekil 5.50). Bu nedenle uygun sedimantasyon alanları oldukça sınırlıdır. Segmentin orta kesimlerinde, Karadere köyü güneybatısında ve güneyinde belirlenen iki farklı lokasyonda eski deprem tespiti amacıyla hendek çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 5.50 : Karadere segmenti üzerinde paleosismolojik çalışma yapılan lokasyonlar.

5.3.1 Kazimiye lokasyonu (KZM)

Kazimiye mahallesinde 1999 İzmit depremi yüzey kırığı asphalt bir yolu ve kenarındaki bahçe çitini 1.1 m sağ yanal öterler (Şekil 5.51). Yolu batısında kalan kesim hem kuzeyden hem güneyden gelen kolüvyal malzemenin depolanması açısından uygun bir lokasyondur. Bu depolanmanın eski deprem seviyelerinin korunması ve belirlenmesi açısından avantaj sağlayacağı fikriyle bu lokasyonda fayadık bir hendek açılmıştır (Şekil 5.52).



Şekil 5.51 : 1999 İzmit depreminde asphalt yolda ve bahçe çitinde meydana gelen sağ yanal yer değiştirme (fotoğrafın bakış yönü KKD'yadır).

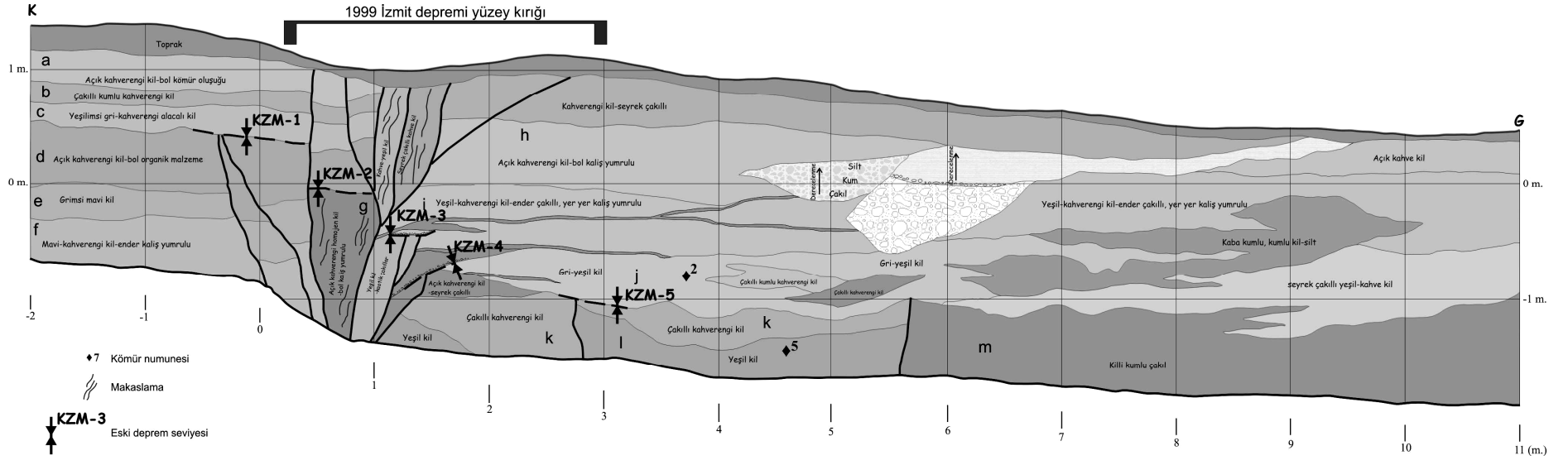


Şekil 5.52 : Karadere köyü Kazimiye mahallesinde açılan hendeğin konumu (kırmızı oklar 1999 İzmit depremi yüzey kırığını işaret etmektedir, fotoğrafın bakış yönü kuzeydir).

Açılan hendeğin uzunluğu 13 m, derinliği ise yaklaşık 2,5 m'dir. Batı duvardaki fay zonunda oluşan çökmeler sonucu sadece doğu duvar çalışılabilmiş, stratigrafi ve deformasyonlar 1:20 ölçeğinde haritalanmıştır (Şekil 5.54). Hendeğe kolüvyal malzemenin depolandığı gözlenmiştir. 1999 İzmit depreminin lokasyonda sebep olduğu ana deformasyon zonu hendek duvarının 0-3 metreleri arasında gözlenmiştir (Şekil 5.53 ve 5.54).



Şekil 5.53 : KZM hendeği. **a)** Doğu hendek duvarında fay zonu ve hendek stratigrafisi, **b)** Batı hendek duvarında fay zonu ve hendek stratigrafisi.



Şekil 5.54 : Kazimiye hendeği doğu duvarına ait haritalama

5.3.1.1 Eski deprem tespitleri

Lokasyonda beş eski deprem tespit edilmiştir.

Bir önceki deprem (KZM-1): Bu depreme ait bulgular hendek duvarının -1 ve 0 metreleri arasında gözlenmiştir. Tabanda yer alan 3 farklı kil seviyesinde (“d”, “e” ve “f” seviyeleri) ötelenme meydana getiren süreksizlikler daha üstteki seviyeler tarafından örtülmüştür (Şekil 5.54). Depremi tarihlendirebilmek amacıyla “c” biriminin alt seviyelerinde kömür oluşuğu araştırılmış ve iki adet numune alınmıştır. Fakat bulunan kömür parçaları çok küçük olduğu için bir tarihlendirme yapılamamıştır.

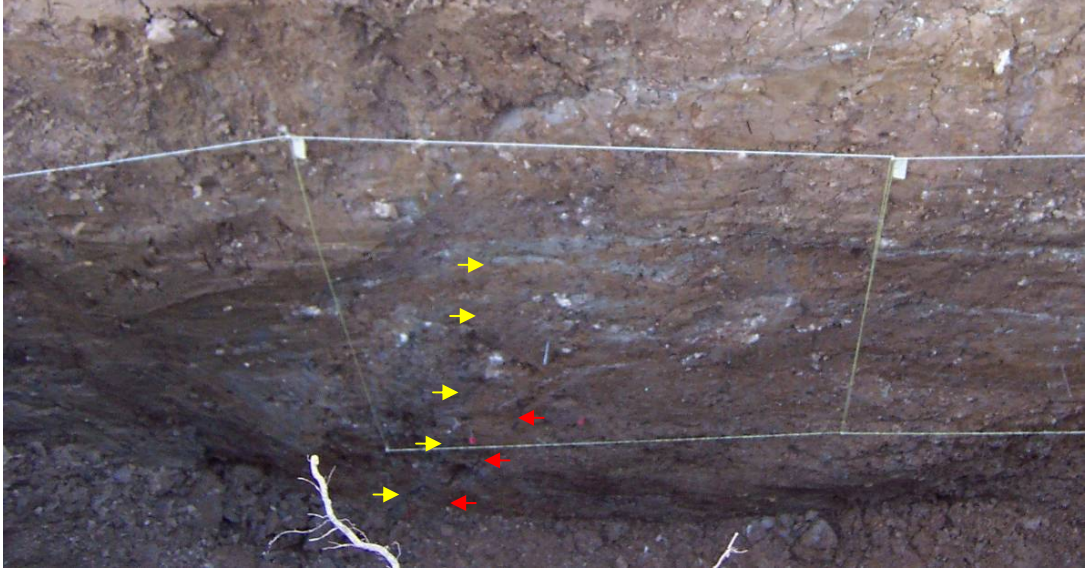
İki önceki deprem (KZM-2): Hendek duvarının 0-1 metreleri arasında, içerisinde herhangi bir seviye gözlenmeyen, düşük derecede makaslanmış, dağınık kalış yumruları içeren açık kahverengi renkte bir kil paketi gözlenmiştir. “g” birimi olarak adlandırılan bu kil paketi, kuzey ve güneyinde yer alan süreksizlikler ile kendinden çok farklı litolojilerle sınırlandırılmış ve “d” birimi tarafından örtülmüştür (Şekil 5.54). Yapılan bu gözlemler doğrultusunda “g” biriminin eski bir depreme ait bir faylanma ile oluştuğu düşünülmüş ve “d” biriminin tabanı deprem seviyesi olarak belirlenmiştir. Bu seviyenin tarihlendirmesi yapılamamıştır.

Üç önceki deprem (KZM-3): Bu depremin verileri hendek duvarının 1-2 metreleri arasındadır. Makaslanmış, içinde kaotik konumlu çakıllar içeren killi malzemenin (h birimi) sınırını oluşturan süreksizlikler, tabanında çakıllarla başlayan killi bir seviye tarafından örtülmüştür (Şekil 5.54 ve 5.55). Seviyenin hemen güneyinden alınmış olan karbon örneklerinin C-14 yaş tayini sonucunda taşınmış oldukları anlaşılmıştır. Bu deprem tarihlendirilememiştir.

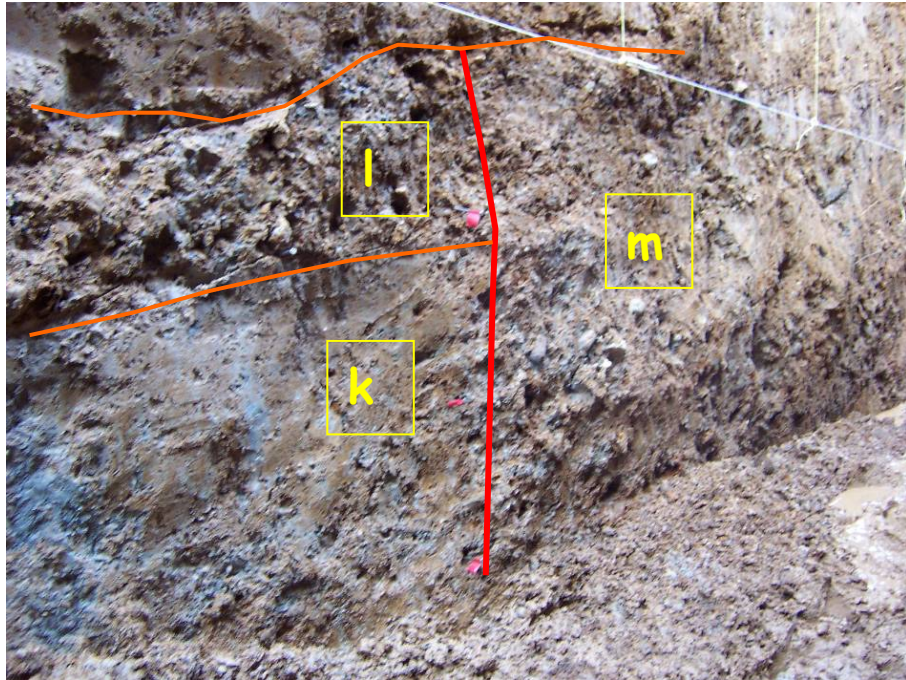
Dört önceki deprem (KZM-4): Hendek duvarının 1-2 metreleri arasında haritalanan bir süreksizlik tabanında çakıl ile başlayan bir seviye tarafından örtülmüştür (Şekil 5.54 ve 5.55). Bu seviyenin altında yer alan “j” birimi içerisinden alınan kömür örneğinin (KZM D-2) C-14 yaş tayini sonucu ortalama değeri 434-494 tarih aralığını vermektedir (Şekil 5.57). Bu faylanmaya neden olan deprem bu tarih aralığı sonrasında gerçekleşen bir deprem olmalıdır.

Beş önceki deprem (KZM-5): Hendek duvarının 2. ve 6. metreleri civarında “l”, “m” ve “k” birimlerinde ötelenme meydana getirmiş olan süreksizlikler grimsi yeşil bir kil seviyesi (j birimi) tarafından erozyonal olarak örtülmektedir (Şekil 5.54 ve 5.56).

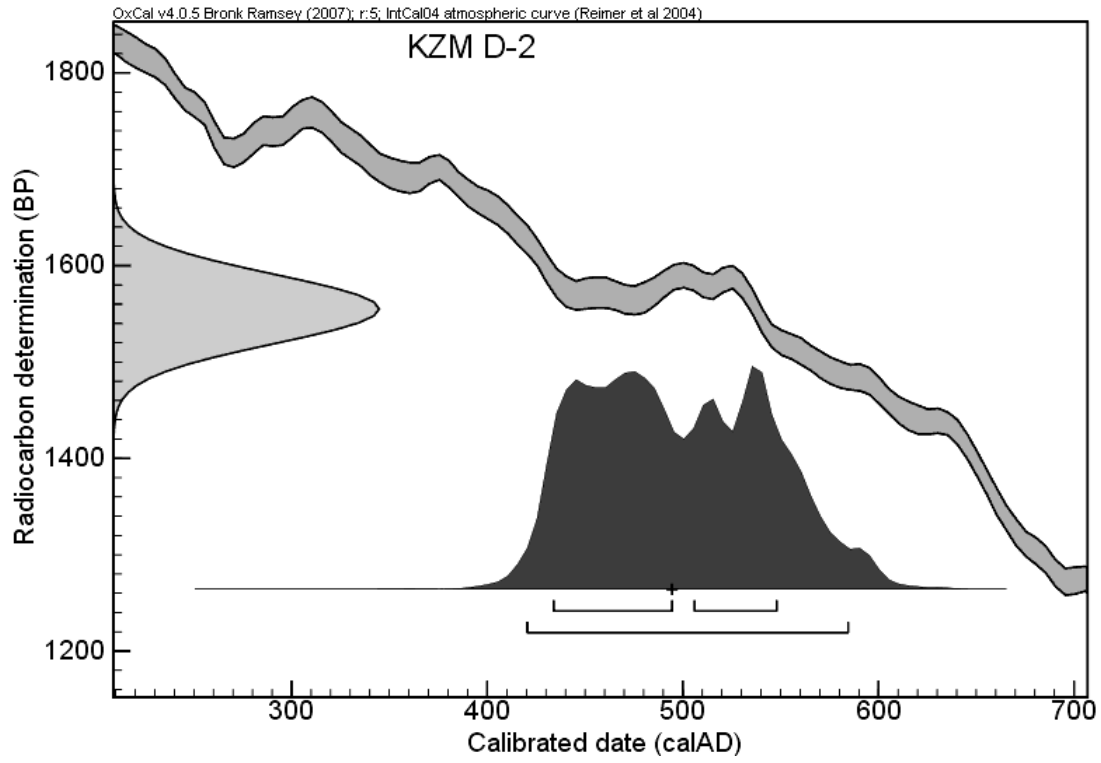
“l” birimi üst seviyelerinden alınan kömür örneğinin (KZM D-5) yaş tayini sonucunda elde edilen ortalama değer 309 yılıdır (Şekil 5.58). “k” ve “j” birimlerinden alınan yaş sonuçlarına göre bu deprem, 309 yılından sonra 494 yılından önce bölgede faylanma meydana getirmiş bir depremdir.



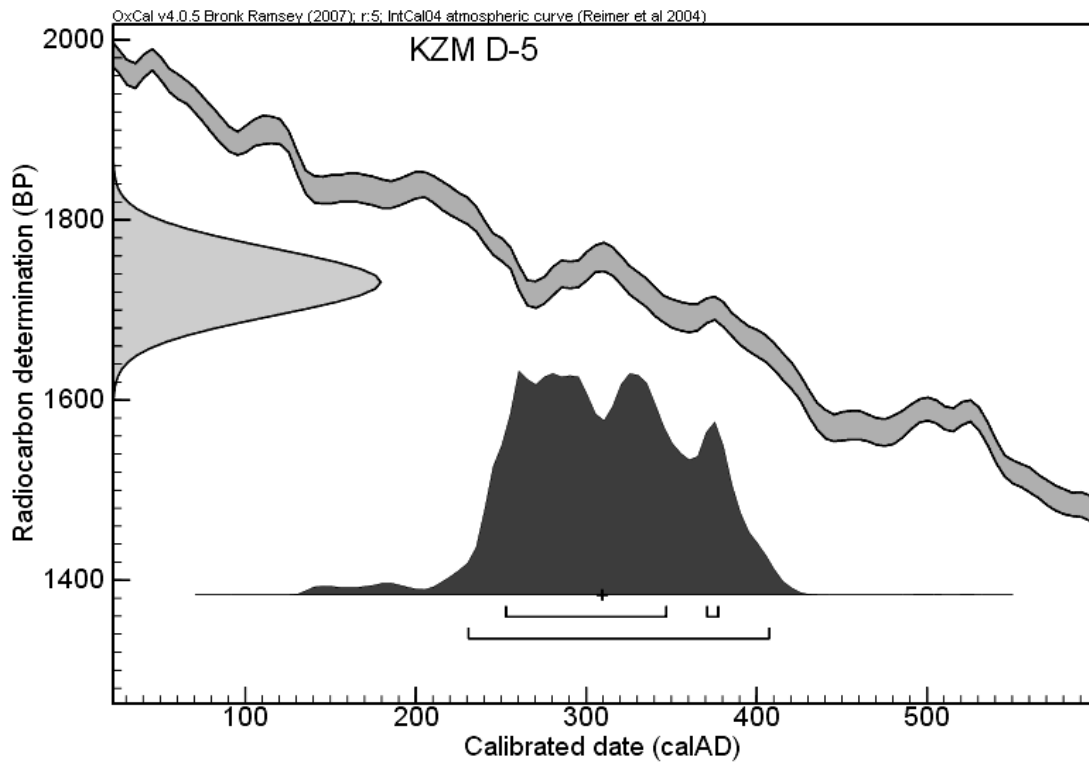
Şekil 5.55 : KZM hendeği doğu duvarında tespit edilen KZM-3 ve KZM-4 depremlerine ait faylanmalar (Sarı oklar KZM-3 depreminin, kırmızı oklar ise KZM-4 depreminin sebep olduğu faylanmayı göstermektedir).



Şekil 5.56 : KZM hendeği doğu duvarında 6. metrede tespit edilen, KZM-5 depreminin sebep olduğu faylanma.



Şekil 5.57 : KZM hendeğinin doğu duvarından alınan KZM D-2 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.



Şekil 5.58 : KZM hendeğinin doğu duvarından alınan KZM D-5 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu.

5.3.2 Karadere lokasyonu (KDR)

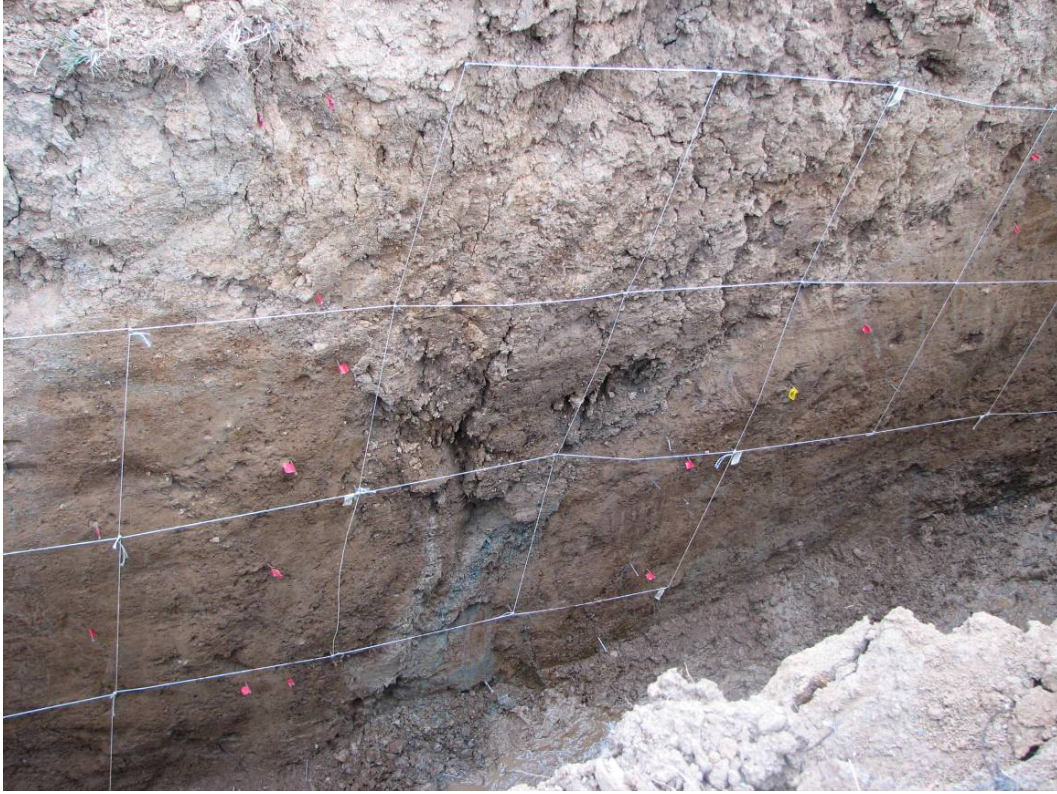
Karadere köyü güneyinde 1999 İzmit depremi yüzey kırığı bir asfalt yolu ve hemen doğusunda bulunan bir bahçe çitini öter. Depremden hemen sonra yapılan çalışmalarda (Hartleb ve diğ., 2002; Emre ve diğ., 2003), asfalt yolda 1 m ve bahçe çitinde 1,1 m sağ-yanal ötelenme ölçülmüştür. Bu bölgede yüzey kırığı bir basınç sırtının güney yamacını takip eder. Bahsedilen basınç sırtının güney yamacında, 1999 İzmit depremi yüzey kırığına dik olacak şekilde bir hendek açılmıştır ve KDR harfleri ile kodlanmıştır (Şekil 5.59).

11 m uzunluğunda ve yaklaşık 2,5 m derinliğinde kazılan hendeğin batı duvarında gözlenen stratigrafik seviyeler ve deformasyonlar 1:20 ölçeğinde haritalanmıştır. Hendek içerisinde, 1999 İzmit depreminin meydana getirdiği deformasyon 3. ve 7. metreler arasında gözlenmiştir (Şekil 5.60 ve 5.61). C-14 yaş tayini sonuçlarına göre; bu 4 m'lik deformasyon zonunun kuzey kesiminde Pleistosen yaşlı (~15.000 yıl) seviyeler, zon içerisinde ve güneyinde ise Holosen çökelleri yer almaktadır. Hendek içerisinde izlenen çökellerin kuzeyden güneye doğru gençleştiği, aynı zamanda deformasyonun da kuzeyden güneye ilerlediği belirlenmiştir (Şekil 5.61).

Hendek çalışması sonucunda Holosen çökelleri içerisinde 1999 depremi öncesi 5 eski deprem tespit edilmiştir.



Şekil 5.59 : Karadere segmenti üzerinde açılan hendeğin (kırmızı ok ile gösterilmiştir) ve 1999 İzmit depremi yüzey kırığının (sarı oklar ile işaretlenmiştir) görünümü.



Şekil 5.60 : Karadere hendeklerinin batı duvarında, 1999 İzmit depremi sonucu oluşan faylanmanın görünümü (Duvar üzerindeki karelaj 50x50 cm. dir).

5.3.2.1 Eski deprem tespitleri

Lokasyonda beş eski deprem tespit edilmiştir.

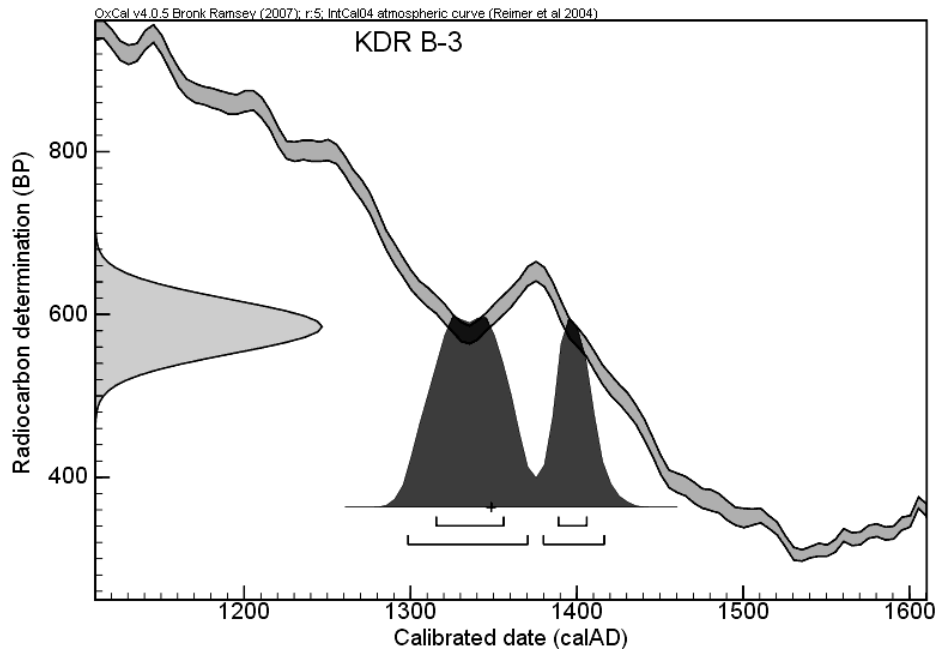
Bir önceki deprem (KDR-1): 7. ve 8. metrelerde, “I” ve altındaki seviyelerde izlenen süreksizlikler hendek duvarının üst seviyelerinde “m” birimi ile örtülmüştür (Şekil 5.61). “I” biriminin en üst kesimlerinden alınan karbon örneğinin (KDR B-3) C-14 yaş tayini 1298-1370 tarih aralığını vermiştir (Şekil 5.62). Bu yaş sonucuna göre, izlenen süreksizliklere sebep olan deprem 1298-1370 yılları yakın sonrasında meydana gelmiş bir depremdir.

İki önceki deprem (KDR-2): 6. ve 8. metreler arasında “h”, “i” ve “j” seviyelerinde izlenen deformasyon “k” birimi ile örtülmüştür (Şekil). “I” biriminde yer alan KDR B-7 numaralı karbon örneğinin C-14 yaş tayini sonucunda 1155-1225 tarih aralığı elde edilmiştir (Şekil 5.63). Bu durumda, belirlenen bu deprem 1155-1225 tarihleri öncesinde meydana gelen bir depremi temsil etmektedir.

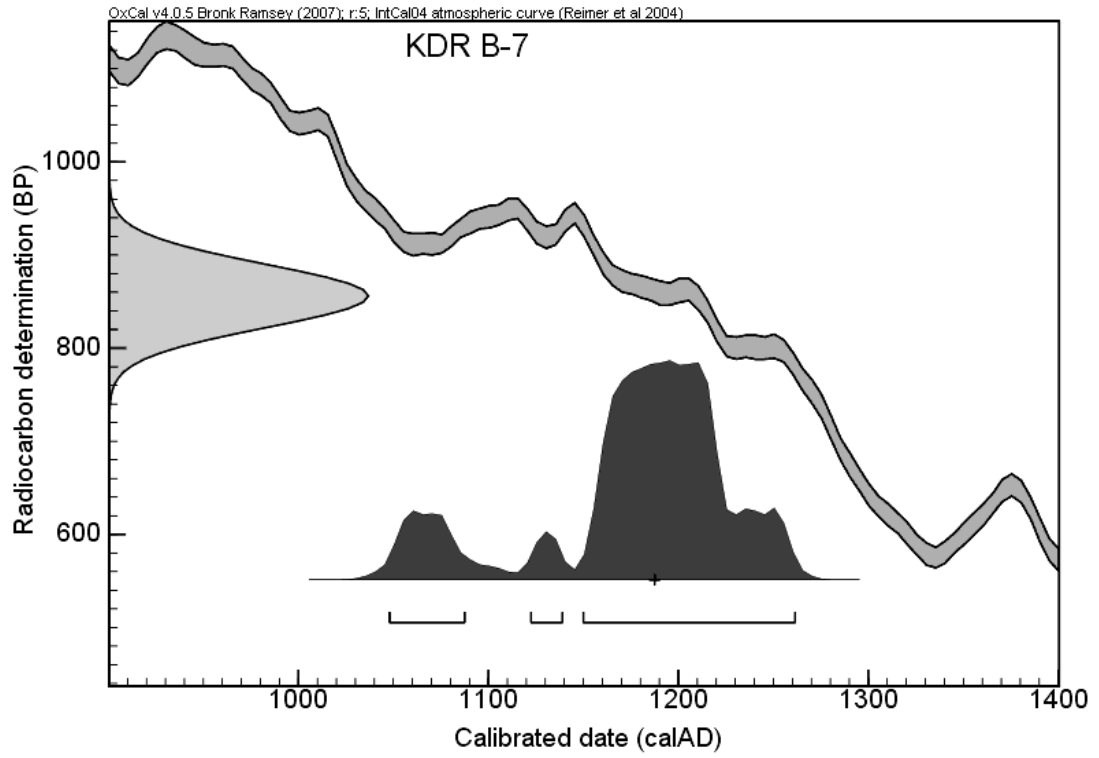
Üç önceki deprem (KDR-3): Bu depreme ait gözlemler 3. ve 4. metreler arasında yapılmıştır. “c”, “d”, “e” ve “f” birimlerinde izlenen süreksizlikler “b” birimi tarafından örtülmüştür (Şekil 5.61). KDR B-10 numaralı kömür örneğinin C-14 yaş tayini sonucu 652-691 tarih aralığını vermiştir (Şekil 5.64). Buna göre, bu süreksizlikler 652-691 yıllarından sonra meydana gelen bir deprem nedeniyle oluşmuştur.

Dört önceki deprem (KDR-4): 2. ve 4. metreler arasında “e” seviyesinde izlenen süreksizlikler “d” birimi tarafından örtülmüştür (Şekil 5.61). 4. ve 5. metreler arasında “e” birimi içerisinde gözlenen makaslamaların da bu deprem ile ilgili olduğu düşünülmüştür.”d” biriminin altı eski deprem seviyesi olarak belirlenmiştir. Birimin alt kesimlerinden alınmış olan karbon örneğinin (KDR B-10) C14 tarihlendirmesi sonucu 652-691 tarih aralığı elde edilmiştir. Elde edilen bu tarih aralığına göre, bu deprem 652-691 yılları yakın öncesinde meydana gelmiş bir depremdir (Şekil 5.64).

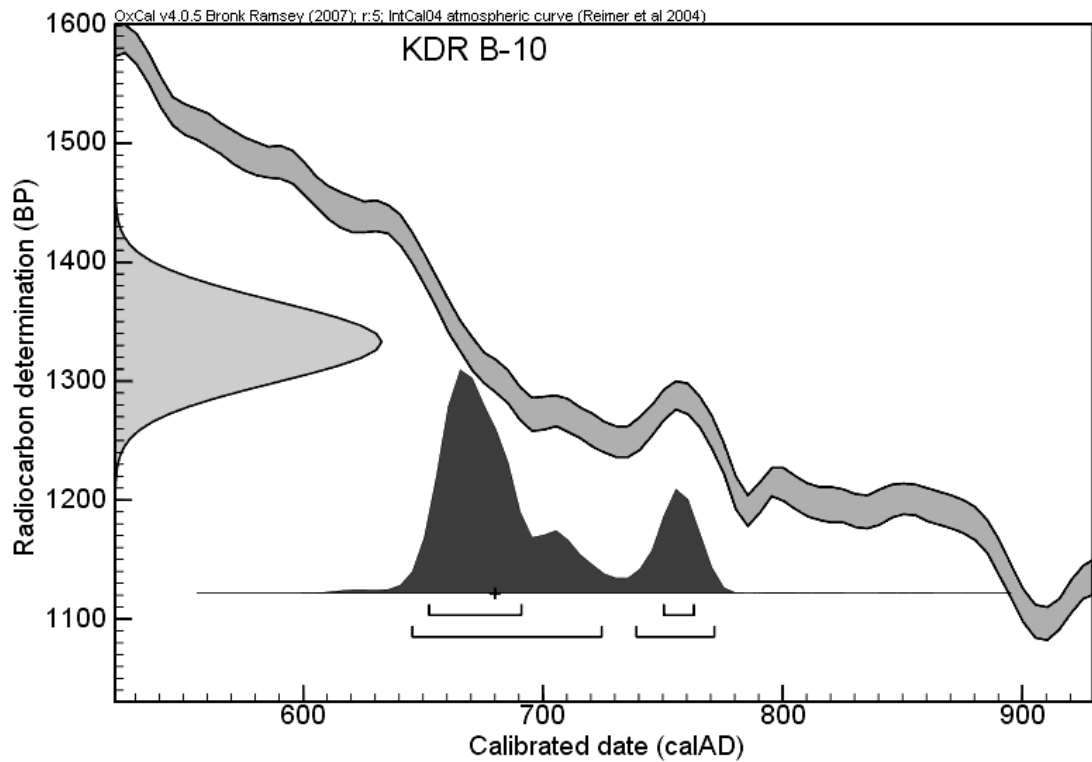
Beş önceki deprem (KDR-5): 0-2 metreleri arasında, faylanan “f” birimi “e” birimi ile örtülmüştür (Şekil 5.61). “e” biriminin altı, “f” biriminin üstü eski deprem seviyesi olarak belirlenmiştir. “f” biriminde faylanma meydana getiren bu deprem, KDR B-10 numunesinin C-14 yaş tayinine göre, 652-691 yılları öncesinde lokasyonda faylanma meydana getirmiş bir depremdir.



Şekil 5.62 : KDR hendeğinin batı duvarından alınan “KDR B-3” numaralı kömür parçasının C-14 yaş tayini sonucu.



Şekil 5.63 : KDR hendeğinin batı duvarından alınan “KDR B-7” numaralı kömür parçasının C-14 yaş tayini sonucu.



Şekil 5.64 : KDR hendeğinin batı duvarından alınan “KDR B-10” numaralı kömür parçasının C-14 yaş tayini sonucu.

5.4 Veri Değerlendirme ve Tarihsel Deprem Korelasyonu

Bu tez çalışması kapsamında, 17 Ağustos 1999 depremi yüzey kırığı üzerinde toplam 6 lokasyonda; 8 adet faya dik hendek, 2 adet de faya paralel hendek çalışması yapılarak paleosismolojik veri üretilmiştir. Her bir segment üzerinde belirlenen eski deprem seviyeleri yapısal ve stratigrafik belirginlik ve tarihlendirme güvenilirliği açısından değerlendirilmiş ve tarihsel deprem kayıtlarından derlenen depremler ile karşılaştırılarak aşağıda ilgili segment başlığı altında sunulmuştur.

5.4.1 İzmit-Sapanca segmenti üzerinde belirlenen eski depremler

İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde tek lokasyonda yapılan hendek çalışmasında stratigrafik ilişkilerden üç (muhtemel dört) eski deprem belirlenmiştir (Çizelge 5.9). Çalışmada yapısal ve stratigrafik olarak güvenilir seviyeler tespit edilmiş fakat tüm hendek içerisinden sadece iki numune yaşlandırılabilmiştir. Belirlenen eski deprem seviyeleri, elde edilen bu iki yaş tayini sonucuna göre yorumlanmış ve tarihsel deprem kayıtları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.65).

ACSP-1 deprem seviyesi hendek içerisinde yapılan gözlemler doğrultusunda güvenilir bir deprem seviyesidir. Tarihlendirme için seviyeye yakın bir stratigrafik birimden yaşlandırılacak bir numune bulunamamıştır. Bu deprem seviyesi, stratigrafik olarak daha üstte yer alan ve üstüne geldiği birimleri hendeğin kuzey kesiminde erozyonel olarak örten bir birim (“b” birimi) içerisinden elde edilebilen bir yaş ile tarihlendirilmeye çalışılmıştır. Buna göre, bu seviyenin temsil ettiği deprem, 1300 yılı öncesi meydana gelmiş bir depremdir. Hendek duvarında, ACSP-1 seviyesinin altında kalan “g” biriminin güneye doğru uzanıp “b” birimi tarafından örtülmesine dayanılarak, depremin 1300 yılı yakın önceleri bir tarihte meydana gelmiş bir deprem olabileceği yorumu yapılmıştır. Tarihsel dökümanlarda yer alan deprem kayıtlarında, bölgede 1000 tarihi civarında kümelenmiş olan birçok güçlü ve hasar yapıcı depremler yer almaktadır. Bu deprem seviyesi, bu kümelenme dahilindeki bir depremi temsil edebileceği gibi başka bir tarihe de sahip olabilir.

ACSP-2 deprem seviyesi hendek içerisinde yapılan gözlemler doğrultusunda oldukça güvenilir bir seviyedir. Tarihlendirme için iki farklı senaryo üretilmiştir (Çizelge 5.9). Birinci senaryoya göre; deprem seviyesi, hendek içerisinde elde edilen iki C-14 tarihlendirmesine (ACSP B-2 ve B-5 numuneleri) göre 128 ± 25 'den sonra ve 1300

± 23 'den önce meydana gelmiş bir depremi temsil etmektedir. İkinci senaryoda, elde edilen iki C-14 tarihlendirmesi ile sedimentasyon hızı hesaplanarak bu deprem seviyesi yaşlandırılmaya çalışılmıştır. Bu senaryodaki hata payının yüksekliği kaçınılmazdır. B-2 ve B-5 numuneleri arasındaki düşey mesafe 120 cm., B-2 numunesi ile hendek yüzeyi arasındaki düşey mesafe 70 cm. olarak ölçülmüştür. Numunelerden elde edilen C-14 yaş tayini sonucuna göre her iki mesafe için hesaplanan sedimentasyon hızı birbiriyle uyumlu olarak yaklaşık 0.1 cm/yıl'dır. Ortalama çökme hızının 0,1 cm kabul edilmesi halinde, bu deprem seviyesinin 528 ± 25 ya da 507 ± 23 yılları civarında gerçekleşmiş bir depremi temsil edebileceği yorumlanmıştır. Tarihsel dökümanlarda, 554 yılında İzmit'de ciddi hasara neden olan bir deprem yer almaktadır. İkinci senaryo ile ACSP-2 için belirlenen tarih 554 yılında meydana gelen deprem ile uyumlu görünse de tarih hesaplamasındaki hata payından ötürü güvenilirliği düşüktür.

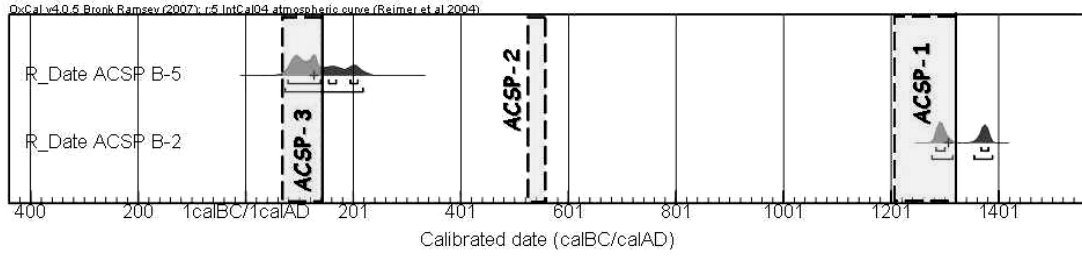
ACSP-3 deprem seviyesi hem stratigrafik, hem yapısal hem de C14 yaşlandırması açısından bakıldığında güvenilir bir eski deprem izidir. C-14 yaş tayini ile 128 ± 25 yılı öncesi olarak yaşlandırılan bu seviyenin tarihsel deprem kayıtları ile korelasyonu da uyumludur. Tarihsel dökümanlarda yer alan 120 (veya 122 ya da 128) yılında meydana geldiği belirtilen deprem (bakınız Bölüm 2.1) çok yüksek olasılıkla bu deformasyonu oluşturan depremdir.

Çizelge 5.9 : ACSP hendeğinde belirlenen deprem seviyelerine ait tarih aralıkları ve tarihsel depremler ile denştirilmesi.

Deprem seviyesi	Deprem tarih aralığı		Deprem denştirme
ACSP-1	1300 ± 23 öncesi		1000 civarı (?)
ACSP-2	I	128 ± 25 'den sonra 1300 ± 23 'den önce	15 Ağustos 554 (?)
	II	528 ± 25 507 ± 23	
ACSP-3	79-140 yakın öncesi		M.S. 120
ACSP-4	79-140 öncesi		(?)

ACSP-4 deprem seviyesi, hendek tabanında dar bir alanda izlenmiş, özellikle alt kesimdeki devamı ve alttaki seviyelerle ilişkisi gözlenememiştir. Bu aralıkta yapılan gözlemler ile bu seviyenin kendi başına ayrı bir depremi temsil ettiğini söylemek güçtür. Bu deprem “i” biriminin çökeliminden sonra herhangi bir deprem (yüksek

ihtimal ACSP-3) ile birlikte oluşmuş olabileceği gibi, ayrı bir depremi de yansıtabilir. Bu deprem seviyesinin tarihlendirme güvenilirliği çok düşük olduğundan sonuçlara eklenmemiştir.



Şekil 5.65 : Acısu lokasyonunda ACS hendeğinde belirlenen eski depremlerin bulunabilecekleri tarih aralıkları.

5.4.2 Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde belirlenen eski depremler

Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde üç ayrı lokasyonda yapılan hendek çalışmaları ile paleosismolojik veri toplanmıştır.

Nehirkent lokasyonunda eski deprem belirlemeye yönelik çalışılan hendeklerin ikisi lokasyonun doğu kesiminde bir tanesi ise batı kesiminde bulunur. Doğu kesimde bulunan hendekler (NK-1 ve NK-2 hendekleri), içerilerinde gözlenen stratigrafik seviyelerin devamlılığı ve izlenebilirliği nedeniyle bir arada değerlendirilmiştir. Bu hendeklerde belirlenen eski deprem seviyeleri NKD harfleri ile kodlanarak gençten yaşlıya doğru numaralandırılmıştır (Çizelge 5.10). Lokasyonun batısında kalan hendek (NK-3) doğudaki hendeklerden daha farklı bir stratigrafi sunduğu için kendi içinde incelenmiş ve belirlenen eski depremler NKB harfleri ile kodlanarak gençten yaşlıya doğru numaralandırılmıştır (Çizelge 5.11). Belirlenen eski deprem seviyelerinin stratigrafik ve yapısal özellikleri bakımından güvenilirliği yüksektir. Üç hendek içerisinden toplam dört adet C-14 yaş tayini sonucu ile bu deprem seviyelerinin tarihlendirilmesi yapılabilmektedir (Çizelge 5.10 ve 5.11).

NKD-2 ve NKB-2 deprem seviyeleri birbirleriyle denestirilebilir ve 1000 yılı civarında meydana gelen bir depremi temsil etmektedir. Tarihsel dökümanlarda yer alan deprem kayıtlarında, 1000 tarihi civarında kümelenmiş olan birçok güçlü ve hasar yapıcı deprem yer almaktadır. Bu deprem seviyesi, bu kümelenme dahilindeki bir depremi temsil edebilir (Şekil 5.66, Çizelge 5.12).

NKD-1 ve NKB-1 deprem seviyeleri bulundukları tarih aralığı itibariyle birbirleriyle denestirilebilir ve buna göre 1768 ± 23 yakın öncesi 1678-1695 tarih aralığı sonrası bir depremi temsil etmektedirler. Bölgede bu tarihler arasında yüzey faylanması

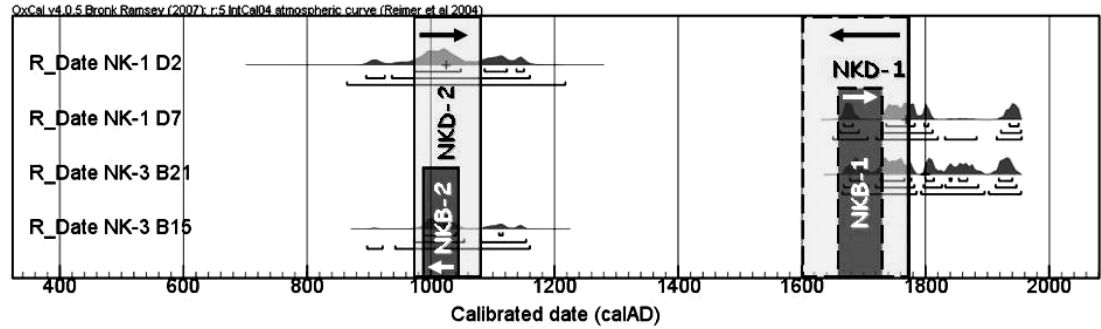
yaratabilecek deprem ise tarihsel kayıtlarda yer alan 25 Mayıs 1719 depremidir (Şekil 5.66, Çizelge 5.12).

Çizelge 5.10 : NK-1 ve NK-2 hendeklerinde belirlenen deprem seviyelerine ait yorumlar.

Deprem seviyesi	Deprem tarih aralığı
NKD-1	1768 $\pm$ 23 yakın öncesi
NKD-2	1025 $\pm$ 55 yakın sonrası

Çizelge 5.11 : NK-3 hendeğinde belirlenen deprem seviyelerine ait yorumlar.

Deprem seviyesi	Deprem tarih aralığı
NKB-1	1678-1695 yakın sonrası
NKB-2	988-1040 yakın öncesi



Şekil 5.66 : Nehirkent lokasyonunda hendek çalışmaları sonucu belirlenen eski depremlerin bulunabilecekleri tarih aralıkları.

Bu değerlendirmeler doğrultusunda, Nehirkent lokasyonunda yapılan hendek çalışmaları sonucunda 2 eski depremin çalışma alanında yüzey faylanması yarattığı sonucuna varılmıştır (Çizelge 5.12).

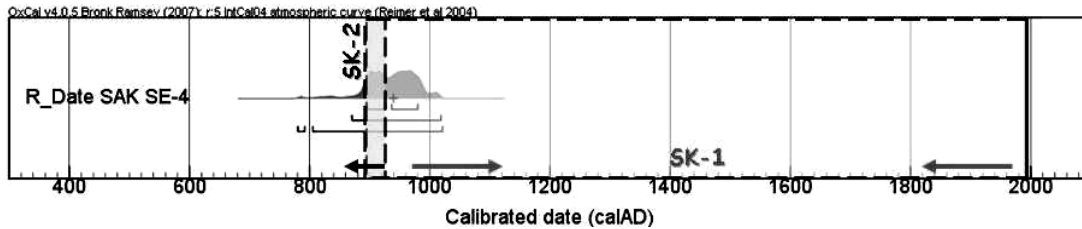
Lokasyonda bulunan bir morfolojik yapının toplam ötelenmesinden ve yaşından edinilen bilgiler doğrultusunda (bakınız Bölüm 5.2.1.3) beklenen eski deprem sayısı en az 4 en fazla 5'tir. Çalışma alanının, Bölüm 5.2'de de bahsedildiği gibi, hem aşınma hem de depolanma ortamı olması eski deprem belirlemede ve yaş sonuçlarının stratigrafik mukayesesinde dezavantaj sağlamıştır. Lokasyonda belirlenen eski depremler arasındaki tarih boşluğu, bu dönemde faylanmaya sebep olabilecek deprem eksikliğinden öte, bölgedeki aşınma dönemlerinden kaynaklanan stratigrafik kayıt eksikliğini işaret etmektedir.

Çizelge 5.12 : Nehirkent lokasyonunda çalışılan hendeklerden belirlenen eski depremlerin birbirleriyle ve tarihsel dökümanlarda yer alan depremler ile denştirilmesi.

Deprem seviyesi	NK-1 ve NK-2	NK-3	Deprem Deneştirme
D1	1768 ± 23 yakın öncesi	1678-1695 yakın sonrası	25 Mayıs 1719
? Erozyon nedeniyle kayıt eksikliği ?			
D2	1025 ± 55 yakın sonrası	988-1040 yakın öncesi	1000 yılları

Sakarya nehri doğusunda yapılmış olan hendek (SK hendeği) çalışmasında 1999 İzmit depremi öncesi iki eski deprem seviyesi belirlenmiştir. Bu seviyelerden daha yaşlı olan tarihlendirilebilmiş, daha genç olan ise tarihlendirilememiştir (Şekil 5.67, Çizelge 5.13).

SK-1 deprem seviyesi stratigrafik ve yapısal özellikleri açısından güvenilir bir seviyedir. Seviyenin yakın tarihi belirlenememiştir fakat daha alt seviyelerden yapılan yaşlandırma sonucu 895-926 yılları civarında bir tarih elde edilmiştir. Bu seviyenin temsil ettiği deprem 895-926 yıllarından sonra 1999 depreminden önce bölgede yüzey faylanması meydana getiren bir depremdir.



Şekil 5.67 : Sakarya hendeğinde (SK) belirlenen eski depremlerin bulunabilecekleri tarih aralıkları.

Çizelge 5.13 : Sakarya (SK) hendeğinde belirlenen deprem seviyelerine ait tarih aralıkları ve tarihsel depremler ile denştirilmesi.

Deprem seviyesi	Deprem tarih aralığı	Deprem Deneştirme
SK-1	895-926'dan sonra 1999'dan önce	(?)
SK-2	895-926 öncesi	26 Ekim 740 28 Mayıs 862(?) 9 Ocak 869(?)

SK-2 deprem seviyesi SK hendeğinin doğu duvarında stratigrafik ilişkilerden belirlenmiştir ve güvenilir bir seviyedir. Seviyeyi örten birimin alt kesimlerinden alınan C-14 yaşlandırması sonucunda 895-926 tarih aralığı elde edilmiş, ortalama değer ise 939 ± 34 olarak hesaplanmıştır. Tarihsel dökümanlarda yer alan deprem kayıtları incelendiğinde 26 Ekim 740, 28 Mayıs 862 ve 9 Ocak 869 depremleri bölgede belirlenen tarih aralığında faylanma yaratabilecek depremlerdir. Bu üç depremin etki alanları göz önünde bulundurulduğunda, 26 Ekim 740 tarihinde meydana gelen depremin doğu Marmara'da sebep olduğu etki diğer iki depreme göre daha fazladır (bakınız: Bölüm 2.1). Bu sebeple, belirlenen bu deprem seviyesinin 740 yılında meydana gelen depremi temsil ettiği kabul edilmiştir.

Sakarya nehrinin 8 km. doğusunda Ekinli köyü kuzeyinde yapılan hendek (EKN hendeği) çalışmasında 1999 İzmit depremi öncesinde 3 eski deprem seviyesi belirlenmiştir. Eski deprem seviyelerinin stratigrafik ve yapısal ilişkiler açısından güvenilirliği oldukça iyidir. Hem doğu hem batı duvardan üç farklı birimi temsil eden dört C-14 yaşlandırması yapmak mümkün olmuştur.

EKN-1 deprem seviyesinin temsil ettiği deprem 1643-1665 tarih aralığından sonra ve 1999 depreminden önce bölgede faylanma meydana getirmiş bir depremdir. Tarihsel deprem incelemelerine göre bu deprem seviyesi 25 Mayıs 1719 depremini temsil etmelidir (Çizelge 5.14, Şekil 5.68).

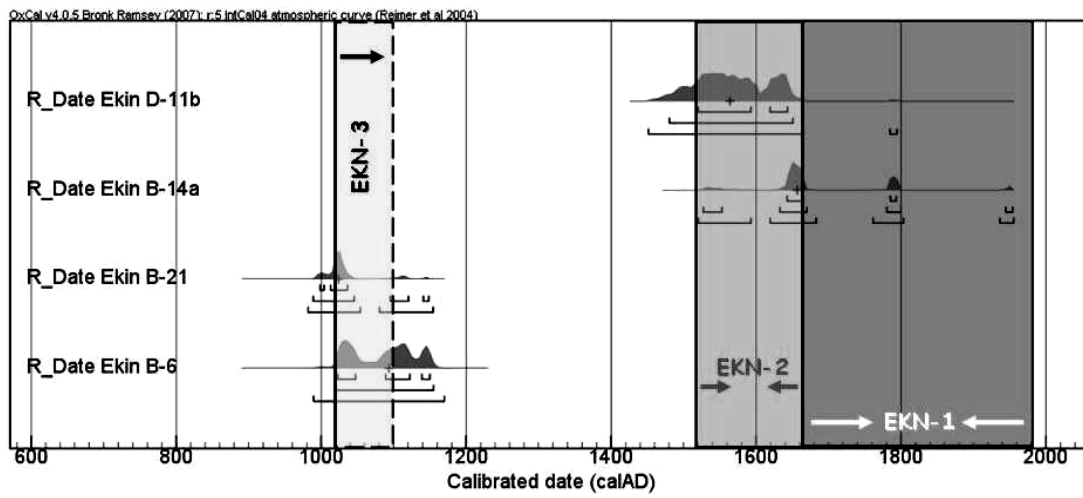
Elde edilen C14 tarihlendirmelerine göre EKN-2 deprem seviyesi 1520-1593'den sonra 1643-1665'den önce meydana gelen bir depremi temsil etmektedir. Tarihsel dökümanlarda 1 Ekim 1567'de İstanbul ve İzmit'de hasar yapan, bazı binaların yıkımına sebep olan bir deprem yer almaktadır. Deprem Sapanca'yı da etkilemiş ve burada heyelanlara sebep olmuştur. Bu deprem hakkında daha ayrıntılı bilgi olmamasına rağmen İstanbul ve İzmit'in daha doğusunda meydana gelmiş olması mümkündür. EKN-2 deprem seviyesi bu deprem ile korele edilmiştir (Çizelge 5.14, Şekil 5.68).

EKN-3 deprem seviyesi oldukça güvenilir bir deprem seviyesidir ve seviyenin hemen altında iki C14 tarihlendirmesi yapmak mümkün olmuştur. C14 yaş tayini sonuçlarına göre bu deprem 1000-1100 yılları arasında meydana gelen bir deprem olmalıdır. Tarihsel dökümanlarda yer alan deprem kayıtlarında, 1000 tarihi civarında kümelenmiş olan birçok güçlü ve hasar yapıcı deprem yer almaktadır. Bu deprem

seviyesi, bu kümelenme dahilindeki bir depremi temsil edebilir (Çizelge 5.14, Şekil 5.68).

Çizelge 5.14 :EKN hendeğinde belirlenen deprem seviyelerine ait tarih aralıkları ve tarihsel depremler ile deneştirilmesi.

Deprem seviyesi	Deprem tarih aralığı	Deprem Deneştirme
EKN-1	1643-1665'den sonra	25 Mayıs 1719
EKN-2	1520-1593'den sonra 1643-1665'den önce	1 Ekim 1567
EKN-3	1024±20 yakın sonrası 1093±29 yakın sonrası	1000 yılları



Şekil 5.68 : Ekinli hendeğinde (EKN) belirlenen eski depremlerin bulunabilecekleri tarih aralıkları.

Tüm lokasyonlardan elde edilen sonuçlar birleştirildiğinde Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde beş eski deprem belirlenmiştir (Çizelge 5.15).

Çizelge 5.15 :Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde çalışılan hendeklerden belirlenen eski depremlerin birbirleriyle ve tarihsel dökümanlarda yer alan depremler ile korelasyonu.

	NK	SK	EKN	Korelasyon
D1	1678-1695 yakın sonrası 1768 $\pm$ 23 yakın öncesi	895-926 sonrası 1999 öncesi	1643-1665 sonrası	25 Mayıs 1719
D2			1520-1593 sonrası 1643-1665 öncesi	1 Ekim 1567
D3	1025 $\pm$ 55 yakın sonrası 988-1040 yakın öncesi		1024 $\pm$ 20 yakın sonrası 1093 $\pm$ 29 yakın sonrası	1000 yılları civarı
D4		895-926 öncesi		26 Ekim 740 (?) 28 Mayıs 862(?) 9 Ocak 869(?)

5.4.3 Karadere segmenti üzerinde belirlenen eski depremler

Karadere segmentinin orta kesimlerinde iki farklı lokasyonda (KZM ve KDR) yapılan hendek çalışmaları sonucunda eski deprem seviyeleri belirlemek mümkün olmuştur. Belirlenen deprem seviyelerinin güvenilirlikleri tartışılmış ve tarihsel dökümanlarda yer alan depremler ile korele edilmiştir.

KZM hendeği içerisinde 1999 depremi öncesi beş deprem izi tespit edilmiştir. Belirlenen deprem seviyeleri stratigrafik ve yapısal özellikler açısından değerlendirildiğinde güvenilir seviyelerdir. Stratigrafik olarak birbirlerinden net olarak ayrılabilen bu deprem seviyelerinden sadece KZM-4 ve KZM-5 seviyesinin tarih aralığı sınırlandırılabilmiştir (Şekil 5.69, Çizelge 5.16).

Tarihlendirilebilen en eski deprem seviyesi (KZM-5) 309 ±37 sonrası ve 434-494 tarih aralığı öncesinde bölgede yüzey faylanması sebep olmuş bir depremin izidir. Tarihsel kayıtlar ışığı altında durum değerlendirildiğinde, bu tarihlerde, bölgede faylanma yaratma ihtimali olan depremler 358 ve 447 depremleridir. 447 depreminin etki alanlarına bakıldığında Marmara batısında da etkili olduğu görülmektedir. Özellikle İzmit ve banliyölerinde çok ağır hasar yapan 358 depreminin yüzey kırığının, bu segment üzerinde de faylanma meydana getirmiş olması olasıdır.

KZM-4 deprem seviyesi 434-494 tarih aralığı sonrasında meydana gelen bir depremi temsil eder. Bu deprem 15 Ağustos 554 depremi ile korele etmek mümkündür. 554 depremi ve 1999 depremi arasında geçen sürede 3 farklı deprem daha (KZM-1, 2, 3) lokasyonda yüzey faylanması sebebiyet vermiştir (Çizelge 5.16, Şekil 5.69).

Çizelge 5.16 :KZM hendeğinde belirlenen eski deprem seviyelerine ait tarih aralıkları tarih aralıkları ve tarihsel depremler ile denştirilmesi.

Deprem seviyesi	Deprem tarih aralığı	Deprem Deneştirme
KZM-1	434-494 sonrası	(?)
KZM-2	434-494 sonrası	(?)
KZM-3	434-494 sonrası	(?)
KZM-4	434-494 sonrası	15 Ağustos 554 (?)
KZM-5	309 ±37 sonrası 434-494öncesi	22-28 Ağustos 358

Çizelge 5.17 :KDR hendeğinde belirlenen eski deprem seviyelerine ait tarih aralıkları tarih aralıkları ve tarihsel depremler ile denestirilmesi.

Deprem seviyesi	Deprem tarih aralığı	Deprem Deneştirme
KDR-1	1298-1370 sonrası	25 Mayıs 1419
KDR-2	1155-1225 öncesi	1000 yılları
KDR-3	652-691 sonrası	26 Ekim 740 (?) 28 Mayıs 862(?) 9 Ocak 869(?)
KDR-4	652-691 yakın öncesi	15 Ağustos 554
KDR-5	652-691 öncesi	358 (?)

KDR-3 depremi 652-691 tarih aralığı sonrasında bölgede faylanma meydana getirmiş depremi temsil eder. KDR-2 depreminin 1000 yılı civarına tekabül etmesi KDR-3 depremi için üst sınır oluşturabilir. Bu durumda, bu depremin 1000 yılından önce 652-691 tarih aralığından sonra gerçekleşmiş bir deprem olduğu varsayılabilir. Tarihsel dökümanlarda bu aralıkta bölgede faylanmaya sebep olabilecek depremler 26 Ekim 740, 28 Mayıs 862 ve 9 Ocak 869 depremleridir.

KDR-4 depremi 652-691 tarih aralığı yakın öncesinde meydana gelen bir depremi temsil eder. 15 Ağustos 554 tarihinde İstanbul, İznik, İzmit ve Sakarya'yı etkileyen ve özellikle İzmit ve Sakarya civarında ağır hasar yapan bir deprem meydana gelmiştir. KDR-4 deprem seviyesi yüksek olasılıkla 554 yılında meydana gelen depremi temsil etmektedir.

KDR-5 depreminin yakın tarihini belirleyebilecek bir numune bulunamamıştır fakat KDR B-10 numaralı örneğin C-14 yaş tayini sonucuna göre bu deprem 652-691 tarih aralığından önce meydana gelen bir depremdir. KDR-5 depremi, stratigrafik olarak hendek içerisinde en altta yer alan depremdir. KDR-3 ve KDR-4 depremlerinin tarih yorumlamalarına göre ise 500'lü yıllardan önce lokasyonda faylanma meydana getiren bir depremi temsil etmelidir. KZM hendeğinde belirlenen 5 eski depremden en eskisi olan KZM-5 depremi 358 depremi ile denestirilmiştir. KDR hendeğinde belirlenen 5 eski deprem KZM hendeği ile karşılaştırılacak olursa KDR-5 depreminin KZM-5 depremi ile aynı deprem olması ve 358 depremini temsil etmesi yüksek olasılıkla mümkündür (Çizelge 5.18).

Çizelge 5.18 :Karadere segmenti üzerinde çalışılan hendeklerden belirlenen eski depremlerin birbirleriyle ve tarihsel dökümanlarda yer alan depremler ile denestirilmesi.

	KZM	KDR	Deprem Deneştirme
D1	434-494 sonrası	1298-1370 sonrası	25 Mayıs 1419
D2	434-494 sonrası	1155-1225 öncesi	26 Ekim 989 (?) Ocak 1010 (?)
D3	434-494 sonrası	652-691 sonrası	26 Ekim 740 (?) 28 Mayıs 862(?) 9 Ocak 869(?)
D4	434-494 sonrası	652-691 yakın öncesi	15 Ağustos 554
D5	309 ±37 sonrası 434-494öncesi	652-691 öncesi	22-28 Ağustos 358

5.4.4 Değerlendirme ve sonuç

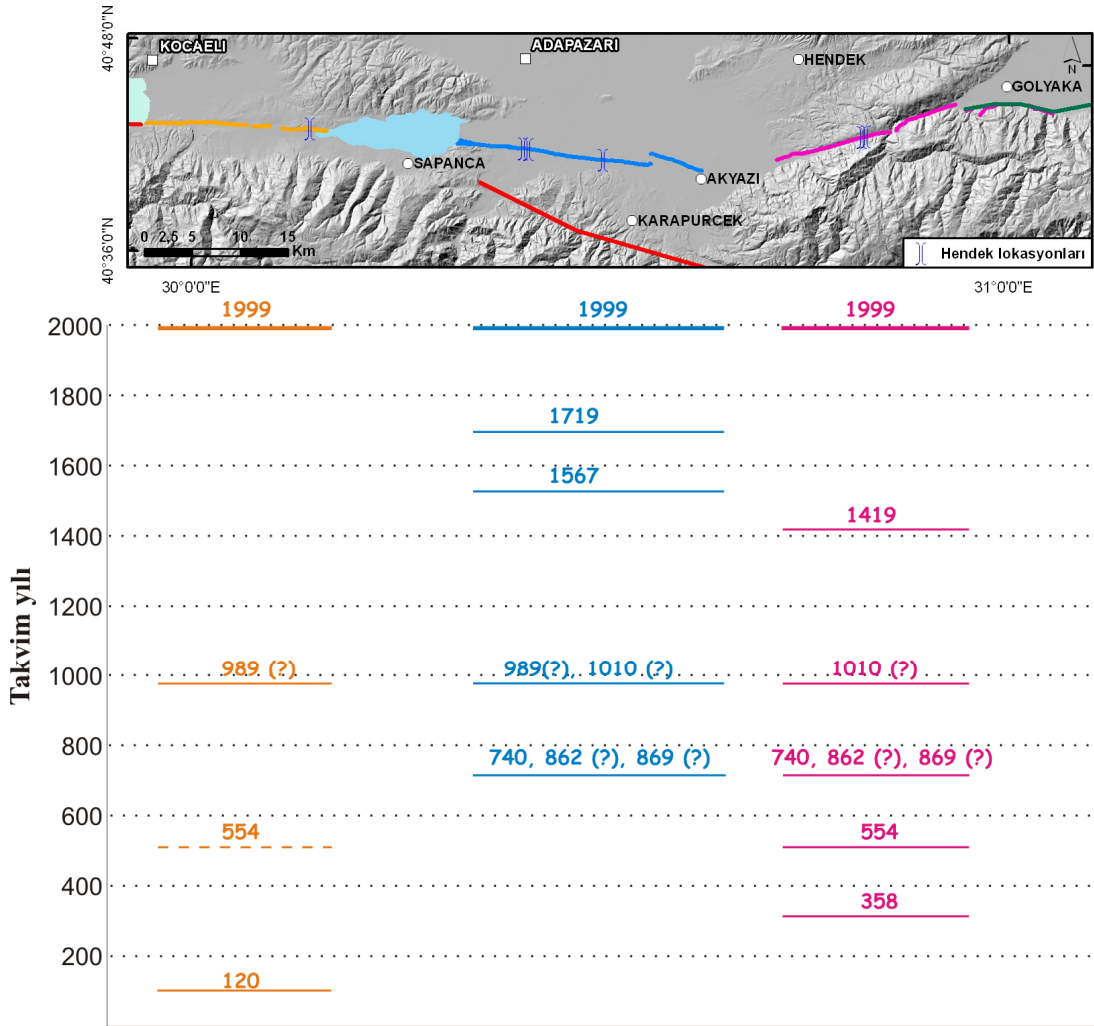
Bu tez çalışması kapsamında, İzmit-Sapanca gölü segmenti üzerinde bir, Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde üç, Karadere segmenti üzerinde ise iki lokasyonda olmak üzere toplam altı lokasyonda paleosismolojik araştırmalar yapılmıştır (Şekil 5.71).

Yapılan çalışmalar sonucunda İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde tespit edilen üç eski deprem M.S.120, 15 Ağustos 554 ve 26 Ekim 989 depremleri ile denestirilmiştir. Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde üç farklı lokasyonda yapılan çalışmalar sonucunda 26 Ekim 740 depremi, 11.yy başlarında meydana gelen bir deprem, 1 Ekim 1567 ve 25 Mayıs 1719 depremlerinin segment üzerinde faylanmaya neden olduğu öngörülmüştür. 11.yy başında meydana gelen deprem ve 1567 depremi arasındaki yaklaşık 500 yıllık süreçte bir deprem görülmemiş olması, özellikle Sakarya nehri doğu ve batısındaki çalışma lokasyonlarındaki erozyon nedeniyle stratigrafik kayıt eksikliğinden olabilir. Ancak, aynı segment üzerinde yer alan Ekinli lokasyonunda ilgili tarih aralıklarında izlenen stratigrafi düzenli ve kesiksizdir. Bu durumda iki farklı yorum yapılabilir. Birinci durum, ilgili tarih aralığında bu segment üzerinde yüzey kırığı oluşturabilecek büyüklükte bir deprem olmamasıdır. İkinci durum ise, yüzey kırığı geliştirebilecek bir deprem olmuştur fakat bu yüzey kırığı çalışma lokasyonuna uzak, farklı bir güzergah izlemiştir.

Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde KAF tarafından ötelenmiş jeomorfik bir yapının ötelenme miktarı hassas bir şekilde ölçülebilmüş ve yapı OSL yaşlandırma yöntemi

ile yine hassas bir şekilde tarihlendirilebilmiştir. Ölçülen ötelenme değeri ve yaş tayini sonucuna göre son 1000 yılda KAF'ın bu kesimdeki kayma hızı $22,2 \pm 3$ mm/yıl olarak hesaplanmıştır (detay için bakınız: bölüm 5.2.1.3.).

Karadere segmenti üzerinde ise M.S. 4.yy. ve 15.yy arasında beş eski deprem tespit edilmiştir. Bu depremler, 22-28 Ağustos 358, 15 Ağustos 554, 26 Ekim 740 veya 28 Mayıs 862 veya 9 Ocak 869 depremlerinden biri, 11.yy. başında meydana gelen bir deprem ve 25 Mayıs 1419 depremi ile deneştirilmiştir. 740, 862 ve 869 depremlerinin etki alanları gözönünde bulundurulduğunda bu üç depremden 740 yılında meydana gelen deprem, diğerlerine göre daha yüksek olasılıkla segment üzerinde faylanma yaratabilecek bir depremdir.



Şekil 5.71 : Tez çalışması kapsamında doğu Marmara’da yapılan paleosimolojik hendek çalışmalarında belirlenen eski depremler.

Tarihsel dökümanların incelenmesi sonucunda, 1000 yılları civarında izlenen deprem kümelenmesinden 1010 yılının Ocak ve Mart aylarında gerçekleşen iki ayrı güçlü deprem, İstanbul doğusu ve/veya doğu Marmara’da faylanma yaratmaya uygun

depremlerdir. Hem Sapanca-Akyazı hem de Karadere segmenti üzerinde tespit edilen 11.yy başlarında meydana gelen deprem seviyesi 1010 yılında meydana gelen bu iki ayrı güçlü depremlerden biri ile denştirilmiştir.

Karadere segmenti üzerinde, günümüze kadar olan son beş yüzyıllık zaman içerisinde deprem tespit edilemeyişi bölgenin hendek çalışmaları açısından dezavantaj oluşturan morfolojik özelliklerinden dolayı olabileceği gibi, bu zaman aralığında segment üzerinde yüzey faylanması gelişmemiş olması da muhtemeldir.

5.5 Doğu Marmara'nın Paleosismolojisi

KAF'ın doğu Marmara bölgesinde yer alan segmentleri üzerinde yapılmış paleosismolojik çalışmalar ve bu tez kapsamında üretilmiş olan paleosismolojik sonuçlar birarada değerlendirilip, bölgenin sismik tarihçesine bir yaklaşım yapılmıştır (Çizelge 5.19, Şekil 5.71).

1999 İzmit depremi öncesinde Doğu Marmara'da paleosismolojik anlamdaki tek yayın 1967 Mudurnu depremi yüzey kırığı üzerinde Ikeda ve diğ. (1991) tarafından yapılmış olan çalışmadır. 1999 depremleri sonrasında bölgede ve KAF üzerinde, özellikle yurtdışında çalışan yerbilimciler tarafından paleosismoloji çalışmalarına ağırlık verilmiştir. Ikeda ve diğ. (1991) çalışmasına 8 farklı çalışma daha ilave olmuş ve Gölcük (İzmit)-İlgaz (Kastamonu) arasında, KAF üzerinde 9 farklı çalışmada paleosismolojik veri toplanmıştır. KAF'ın bu kesimini araştırmış olan 9 yayından 3'ü bu tez çalışmasının bir bölümünü de içinde kapsamış olan REL.I.E.F. projesi bünyesinde üretilmiştir. Bunlardan başka, bir kaç adet, bildiri özeti şeklinde yayınlanan çalışmalar da mevcuttur.

Ikeda ve diğ. (1991) 22 Temmuz 1967 depremi yüzey kırığının batı kesiminde yaptıkları hendek çalışmasında, yüzey faylanması yaratan bir önceki depremin 1480'den sonra ve 1650'nin yakın sonrasında meydana geldiğine dair bulgular elde etmiştir. Bu bulgulara dayanarak bu kesimdeki bir önceki depremin 17 Ağustos 1668 depremi olması gerektiği ileri sürülmüştür.

Sugai ve diğ. (2001) Düzce segmenti üzerinde yer dilimleyici (geoslice) ile yaptıkları çalışmada, bir önceki depremin 1650 yılından sonra meydana geldiğini, segment üzerinde deprem tekrarlanma aralığının 400 ila 500 yıl civarında olduğunu tespit

etmişlerdir. Yazarlar, her bir depremde meydana gelen düşey yer değiştirmenin 2,5-3 m. arasında olduğu kestirimini yapmışlardır.

Emre ve diğ. (2001 ve 2003b) Düzce segmenti üzerinde meydana gelen 1999 depreminden bir önceki depremin C14 tarihlendirmesi sonucunun 200-300 BP olduğunu, bu depremin 1719 ya da 1754 depremi olabileceğini, muhtemelen 1719 depremi olduğunu belirtmişlerdir Yazarlar, 1719 depreminin 1999 depremlerindeki tetikleme gibi davrandığı yorumunda bulunmuşlardır.

Klinger ve diğ. (2003) Karamürsel-Gölcük segmenti üzerinde yaptıkları hendek çalışması sonucunda 1509 ve 1719 depremlerinin bu kesimde yüzey faylanması meydana getirdiğini belirtmişlerdir.

Hitchcock ve diğ. (2003) Düzce fayı doğu kesimlerinde, Kaynaşlı batısında yaptıkları hendek çalışmaları sonucunda, 1999 depremi öncesinde de bu kesimde farklı depremlerle yüzey kırıkları oluştuğunu, bu depremlerin, lokasyon, büyüklük, yer değiştirme tipi ve miktarı bakımından 1999 depremiyle benzer özellikler sunduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar, segment üzerinde, son 2100 yılda 1999 depremi dahil 4, muhtemel 5 depremin gerçekleştiğini, bir önceki depremin 1999 depreminden yaklaşık 300 sene önce meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmada, sınırlı sayıda C14 yaşlandırmasıyla, segment üzerinde en az 300 en fazla 800 yıllık bir deprem tekrarlanma aralığı öngörülmüştür.

Ferry ve diğ. (2004) İzmit-Sapanca segmentinin orta kesimlerinde iki ayrı lokasyonda GPR ve hendek çalışmaları yapmışlardır. Çalışma sonucunda, iki farklı derinlikte, ötelenmiş gömülü kanal çifti tespit etmişlerdir. Genç olan kanalların bir önceki depremde 4,5-4,9 metre sağ-yanal ötelendiğini ve bu değer 1999 depremindeki ötelenme değeriyle benzer bir değer olduğunu; daha yaşlı olan kanal çiftinin ise 6.7-7.4 metre sağ yanallı ötelendiğini belirlemişlerdir. Bu çalışma sonucunda, 1591 yılından sonra 1999 depremi dahil üç yüzey faylanması ve 7.4 m toplam ötelenme miktarı hesaplanmıştır.

Kondo ve diğ. (2005) 1 Şubat 1944 depremi yüzey kırığı boyunca 5 farklı segment tanımlayıp, ötelenme dağılımını ortaya çıkarmaya yönelik ölçümler yapmışlardır. Ölçülen değerler doğrultusunda farklı segmentlerin farklı depremler tarafından kırılmış olabileceği ortaya konmuştur. Yazarlar, meydana gelen depremlerin

karakteristik olmadığını, fakat meydana gelen kaymanın karakteristik olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Pavlidis ve diğ. (2006) Karamürsel-Gölcük ve İzmit-Sapanca segmenti üzerinde yapmış olduğu hendek çalışmaları sonucunda 554, 989 ve 1509 depremlerinin bu segmentler üzerinde yüzey faylanması sebep olduğunu belirtmiştir.

Pucci ve diğ. (2008) Düzce fayı üzerinde ötelenmiş olan jeomorfik yapılardan OSL yaşlandırma tekniğini kullanarak, KAF'ın bölgedeki kayma hızının son 60.000 yılda 15.0 ± 3.2 mm/yıl olduğunu hesaplamıştır.

Palyvos ve diğ. (2007) 22 Temmuz 1967 depremi yüzey kırığının orta kesimlerinde yaptıkları hendek çalışmasında, 1668 depremi ve 1693 tarihinden sonra da en az bir eski depremin (muhtemel 2 eski deprem) segment üzerinde faylanma meydana getirdiğini belirtmiştir. Yazarlar, 1693 tarihinden sonra meydana gelen deprem(ler)in, bölgedeki tarihsel kayıtların eksikliği nedeniyle herhangi bir tarihsel deprem ile korelasyonunun yapılamadığını açıklamışlardır.

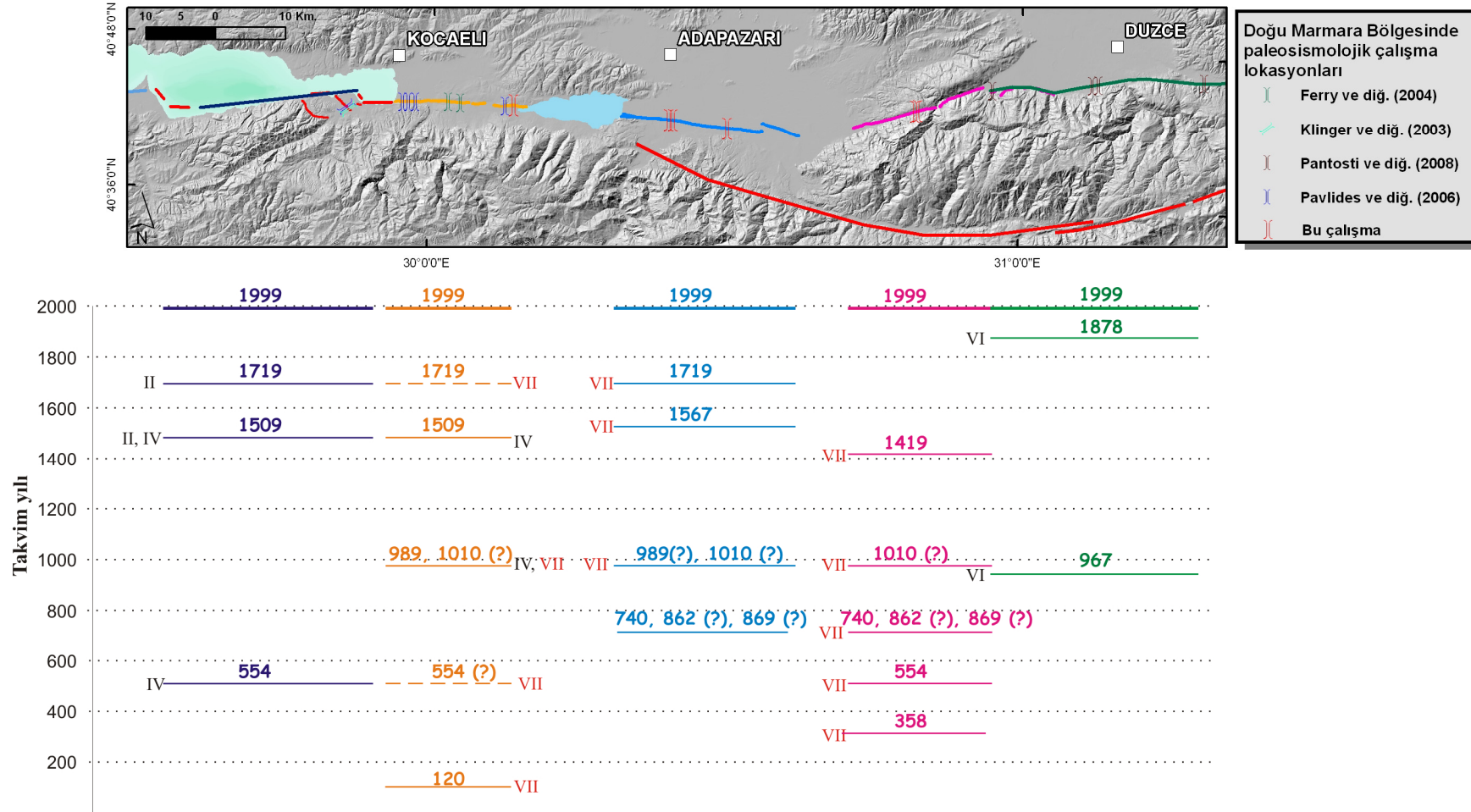
Pantosti ve diğ. (2008) Düzce fayı üzerinde deprem tekrarlanma aralığını belirleyebilmek için hendek çalışmaları yapmıştır. Çalışma sonucunda 1685–1900 (muhtemelen 19.yy sonları), 1495–1700 ve 685–1020 (muhtemelen 890–1020) tarih aralıklarında Düzce fayı üzerinde yüzey faylanması meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Yazarlar, bölgede yapılmış eski çalışmaları da değerlendirip, son 2000 yılda Düzce fayı üzerinde deprem tekrarlanma aralığını 320-390 yıl olarak hesaplamışlardır. 12 Kasım 1999 tarihinde bu fay üzerinde meydana gelen kayma değerlerinin (ortalama 2,7 m, maksimum 5 m) fayın davranışını temsil ettiği kabulü ile Düzce fayı üzerindeki kayma hızını 6,9-15,6 mm/yıl olarak hesaplamışlardır.

Bu çalışmada İzmit-Sapanca Gölü segmentinin 120, 554 ve 989 depremleri, Sapanca-Akyazı segmentinin 740, 1010, 1567, 1719 depremleri, Karadere segmentinin ise 358, 554, 740, 1010 ve 1419 depremleri ile kırıldığı tespit edilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçların, bölgede gerçekleştirilmiş diğer çalışmaların sonuçları ile birlikte değerlendirilmesiyle doğu Marmara bölgesinde son 2000 yılda meydana gelen depremlerin oluşturdukları yüzey kırıkları Şekil 5.72'de gösterilmiştir. Bu deprem serilerinden son 1000 yılda meydana gelenler yeterli veri ile sürekli olarak görülebilmektedir. Ancak M.S. ilk bin yıl için paleosismolojik veri eksikliği göze çarpmaktadır.

Çizelge 5.19 :Doğu Marmara bölgesinde Karamürsel-Düzce arasında KAF'ın kuzey kolu üzerinde yapılan paleosismolojik çalışmaların sonuçları. I. Ikeda ve diğ. (1991), II. Klinger ve diğ. (2003), III. Ferry ve diğ. (2004), IV. Pavlides ve diğ. (2006), V. Palyvos ve diğ. (2007), VI. Pantosti ve diğ. (2008), VII. Bu çalışma.

	Karamürsel-Gölcük segmenti	İzmit-Sapanca Gölü segmenti	Sapanca-Akyazı segmenti	Karadere segmenti	Mudurnu segmenti	Düzce segmenti
I					-1668 -1693-1967 arasında bir deprem	
II	-1509 -1719					
III		-1591'den sonra 1999 İzmit depremi dahil 3 deprem				
IV	-554 -989 -1509	-989 -1509				
V					-1668	
VI						-967 -1878
VII		-120 -554 (?) -1000 civarı	-740 862(?) 869(?) -1000 civarı -1567 -1719	-358 -554 -740 862(?) 869(?) -1000 civarı -1419		



Şekil 5.72 : Doğu Marmara bölgesinde Karamürsel-Düzce arasında KAF'ın kuzey kolu üzerinde yapılan paleosismolojik çalışmaların sonuçları: II. Klinger ve diğ. (2003), IV. Pavlıdes ve diğ. (2006), VI. Pantosti ve diğ. (2008), VII. Bu çalışma.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

6.1 Jeoloji Haritalaması ile Elde Edilen Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında araştırılan üç segmentten İzmit-Sapanca Gölü ve Sapanca-Akyazı segmentleri boyunca 1999 İzmit depremi yüzey kırığı çoğunlukla Kuvaterner çökelleri içerisinde gelişmiştir ve morfolojik olarak nispeten düzlük bir alanda ilerler. Doğuda yer alan Karadere segmenti ise Almacık blokunun kuzeybatı kenarını sınırlayacak şekilde Paleozoik'ten Kuvaterner'e kadar değişik yaştaki kaya gruplarını keserek ilerler. Segment boyunca Almacık blokunun kuzeybatı kenarı KAF tarafından sağ-yanal ötelenmiştir. Karadere segmenti boyunca yer alan jeolojik birimlerin dokanaklarında veya jeolojik yapılarda KAF'ın toplam hareketine bağlı ölçülebilir bir ötelenmenin varlığını araştırmak amacıyla segment boyunca temel jeoloji haritalaması yapılmıştır.

Doğu Marmara bölgesinde, KAF ana tektonik birliklerin sınırlarını belirler. Bu tektonik birlikler İstanbul-Zonguldak Zonu, Armutlu-Almacık Zonu ve Sakarya Kıtası'dır. Tez çalışmasında haritalanan birimler bu tektonik birliklerin ortak örtüsü olan Üst Kretase ve sonrası birimlerdir.

Yapılan haritalamaya göre bölgede metamorfik bir temel üzerinde uyumsuz olarak bulunan Üst Kretase-Paleosen dönemi transgresif çökelleri yer almaktadır. Bu çökeller, karbonat çimentolu konglomeratik kayalarla başlayan Erken-Orta Eosen dönemi fliş karakterindeki kumtaşı-marn ardalanması ile örtülür. Erken-Orta Eosen'den sonra bölgede başlayan volkanizmaya bağlı volkanik ve volkanosedimanter kayalar Eosen döneminin son ürünleridir. Tüm bu kayalar üzerinde Üst Miyosen döneminin karasal çökelleri aşısai bir uyumsuzlukla yer almaktadır. Konglomera, çakıltaşı, kumtaşı litolojilerinden oluşan Pleistosen çökelleri kendisinden daha yaşlı birimler üzerinde diskordan bulunur. Üst Pleistosen-Holosen dönemi ise alüvyon, alüvyal fan çökelleri ile temsil edilir. Haritalama çalışması sonucunda güvenilir ve ölçülebilir bir ötelenmiş jeolojik yapı veya dokanak belirlenememiştir. Ancak, jeolojik haritalama çalışması, aynı yaşlı birimlerin Karadere segmenti kuzey ve güneyinde farklı kotlarda yer aldığını göstermiştir.

Segmentin kuzey kesiminde Üst Kretase-Paleosen çökelleri geniş alanlar kaplar ve daha kuzeyde Erken-Orta Eosen çökelleriyle örtülürler. Segment boyunca, kuzeyde Üst Kretase-Paleosen çökelleri ve güneyde yer alan Erken-Orta Eosen çökelleri tektonik bir dokanak oluşturur. Kuzey kesimde Eosen birimlerinin daha yüksek kotlara yükselmiş olması, segment üzerinde meydana gelen sağ-yanal harekete önemli bir miktarda düşey hareketin de eşlik ettiğini, kuzeyde yer alan Karadere bloğunun yükseldiğini göstermektedir.

Segmentin batı kesimlerinde haritalanan Orta Pleistosen yaşlı Örencik formasyonu kendisinden daha yaşlı birimleri açısız uyumsuz olarak örtmektedir. Bu uyumsuzluk düzlemi Karadere segmentinin kuzey kesiminde daha yüksek kotlarda, güney kesiminde ise daha alçak kotlarda gözlenmiş ve bu durumun kuzey bloktaki yükselme ile meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Hem segment üzerindeki sağ-yanal hareket hem de uyumsuzluk düzleminin yataydan sapmış olması bu kesimde sağlıklı bir düşey yer değiştirmenin ölçülmesini sınırlar.

Akyazı-Gölyaka arasında gözlenen jeolojik birimler, Karadere segmenti boyunca meydana gelen sağ-yanal yer değiştirmeye düşey bir yer değiştirmenin de eşlik ettiğini ve kuzey bloğun yükseldiğini işaret eder.

6.2 Fay Morfolojisi Araştırmaları

İzmit-Gölyaka arasında 1999 İzmit depremi yüzey kırığı üzerinde uzun dönem faylanma ile gelişebilecek yapılar araştırılmıştır. Yüzey kırığı boyunca izlenen uzamış sırt, ötelenmiş dere ve tepeler, basınç sırtları, fay gölcükleri ve çöküntü alanları her bir segment için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Tanımlanan yapılara göre yüzey faylanmasının bir süredir bu güzergahı takip ettiği anlaşılmıştır. Belli kabuller dahilinde, bu yapıların KAF tarafından etkilenme sürelerinin en az değerleri hesaplanmıştır. Bu kabuller, güncel GPS çalışmalarında belirlenen kayma hızları, önceki çalışmalarda morfolojik yüzeylerden elde edilen kayma hızları ve bu çalışmada Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde elde edilen jeomorfik kayma hızı değeridir. Buna göre, KAF'ın İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde en az 20.000 yıldır, Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde en az yaklaşık 140.000 yıldır ve Karadere segmenti üzerinde ise en az 750.000 yıldır aynı güzergahı takip ettiği ortaya konmuştur.

Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde, Sakarya nehrine ait eski bir teras yükseliminin takip edilebilen en kuzey kesiminin KAF tarafından sınırlanması ve daha kuzeyde yüzeyde izlenememesi, yapının KAF tarafından ötelendiği ve kuzeydeki devamının gömülü bir şekilde devam edebileceği şüphesini doğurmuştur. Hem yüzey hem de yeraltı araştırmaları ile bu jeomorfik yapının 18.5 ± 0.5 m sağ yanal ötelendiği ölçülmüştür. Bölgedeki kayma hızının belirlenebilmesi amacıyla ötelenmiş teras yüzeyi OSL yaş tayini yöntemi ile tarihlendirilmiştir. Elde edilen ötelenme ve yaş değeri ile bu kesimde son 1000 yıl için 22.2 ± 3 mm/yıl kayma hızı hesaplanmıştır.

Karadere segmenti boyunca Almacık blokunun kuzeybatı kenarının sağ-yanal hareket ettiği sayısal yükseklik modellerinden açıkça görülmektedir. Meydana gelen toplam sağ-yanal hareketin temel jeoloji haritalaması ile araştırılması, bu kesimde sağ-yanal harekete eşlik eden ve kuzeyde yer alan Karadere bloğunun yükselmesine sebep olan, düşey bir hareketin de varlığını göstermiştir. Sayısal yükseklik modellerinden en az 9 km olarak ölçülen sağ-yanal ötelenme miktarı, en az değeri kadar geri çekilmiş ve bu durumda morfolojideki düşey farklılık topoğrafik profiller yardımıyla araştırılmıştır. Her iki bloğun kuzey yamaçlarından alınan topoğrafik kesitlerin birbirleriyle uyumlu eğimlere sahip olması, birbirinin orjinal devamı olma olasılığını arttırır. Bu topoğrafik kesitler Karadere bloğunun yaklaşık 950 m. yükseldiğini göstermektedir. Karadere segmenti doğusunda, Pucci ve diğ. (2008) tarafından Düzce fayı üzerinde belirlenen kayma hızı ile Karadere segmenti boyunca oluşan 9 km.lik sağ-yanal ötelenmenin en az 762.000 yılda meydana gelebileceği hesaplanmıştır. 762.000 yılda 950 m yükselmeyi sağlayacak yükselme hızı ise 1.24 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

6.3 Tarihsel deprem ve paleosismoloji araştırmaları

Doğu Marmara'da KAF'ın sismik tarihçesinin ve sismik davranışının belirlenmesi önemlidir. Genellikle son 250 yıllık tarihsel dökümanların değerlendirilmesiyle, bölgede KAF'ın karakteristik bir davranış sunduğu, benzer özellik ve büyüklükteki depremlerin aynı tekrarlanma periyodunda batıya doğru hareket ettiği kanısı yaygınlaşmıştır. Yeterli veriye dayalı olmayan bu görüşlerin kabul görmesi bölge sakinlerinin can güvenliği, ülke ekonomisinin korunması açısından tehlike oluşturur. Bir çok gelişmiş ülkede olduğu gibi, ülkemizde de eski depremlerin araştırılmasında paleosismolojik yöntemler kullanılmalıdır.

Doğu Marmara bölgesinde, Bolu'dan itibaren KAF'ın çatallanarak batıya doğru devam etmesi farklı segmentlerin oluşmasına yol açmıştır. KAF'ın bu kesimdeki sismik davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için bölgede her segmenti temsil edebilecek paleosismolojik araştırmaların yapılması faydalı olacaktır. 1999 depreminden önce doğu Marmara bölgesindeki tek paleosismolojik araştırma içeren yayın (Ikeda ve diğ., 1991) 1967 kırığı üzerindedir. Bundan başka, 1957 ve 1967 depremi yüzey kırıkları üzerinde yapılmış bir çalışmayı sunan bir bildiri (Demirtaş, 1996) sunulmuştur. 1999 İzmit ve Düzce depreminden sonra, özellikle bu depremin kıldığı segmentler üzerinde paleosismoloji çalışmalarının sayısı artmıştır. Aynı zamanda ülkemizde çeşitli faylar üzerinde de paleosismoloji çalışmaları yaygınlaşmaya başlamıştır. 1999 depremi yüzey kırığı üzerinde yapılan çalışmalara (Klinger ve diğ., 2003; Ferry ve diğ., 2004; Pavlides ve diğ., 2006; Pucci ve diğ., 2008; Pantosti ve diğ., 2008) ek olarak 1967 depremi yüzey kırığı üzerinde de paleosismolojik bir çalışma (Palyvos ve diğ., 2007) yayınlanmıştır. 1957 depremi yüzey kırığı üzerinde ise yayınlanmış bir paleosismolojik çalışma yoktur.

Bu tez çalışmasında, hem tarihsel dökümanlar hem de paleosismolojik hendek araştırmaları ile KAF'ın doğu Marmara'da, 1999 İzmit depremi ile kırılmış olan üç segmentinin sismik tarihçesi araştırılmıştır. Bu araştırmalar ile en fazla yaklaşık 1250 yıl geriye gidilebilmiştir. Bunun bir nedeni, 1999 İzmit depreminin yüzey kırığının çoğunlukla çok genç çökeller içerisinde takip edilmiş olması, bir diğer nedeni ise yeraltısuyu seviyesinin yüksekliği, tutturulmamış dağılgan çökellerin varlığı vb. ile hendek kazılarında 2.5 m'den daha fazla derinliğe inilememiş olmasıdır.

Aşağıda, doğu Marmara'da gerçekleştirilmiş diğer paleosismolojik çalışmaların sonuçları, tez çalışmasının sonuçları ile beraber değerlendirilip, KAF'ın bölgedeki sismik davranışına yaklaşımlar yapılmıştır.

6.3.1 Marmara bölgesinde KAF'ın kuzey kolu üzerinde sismik segmentasyon

Bu çalışmada paleosismolojik yöntemlerle belirlenen eski depremler, diğer çalışmalarla belirlenen eski depremler ile karşılaştırılıp sonuçlar birleştirilmiş ve her bir depreme ait belirlenen yüzey kırığı uzunluğu kullanılarak büyüklüklerine bir yaklaşımda bulunulmuştur. Bu yaklaşımlar, Wells ve Coppersmith (1994) tarafından istatistiksel çalışmalarla oluşturulan yüzey kırığı uzunluğu (km)-deprem moment büyüklüğü (M_w) ilişki diyagramı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlişki diyagramı ile

öngörülen deprem büyüklüklerine göre, yine Wells ve Coppersmith (1994) tarafından oluşturulan deprem moment büyüklüğü (M_w)-maksimum yer değiştirme (m), deprem moment büyüklüğü (M_w)-ortalama yer değiştirme (m) ilişki diyagramları kullanılarak, belirlenen eski depremlere ait maksimum yer değiştirme ve ortalama yer değiştirme değerleri de deprem hakkında bir bilgi olarak sunulmuştur. Aşağıda bahisleri geçen tarihsel depremlerin her biri için, hangi segmentler üzerinde yüzey faylanması geliştirmiş olabileceği, buna göre depremin olası büyüklüğü, ortalama ve maksimum atım değerleri Çizelge 6.1’de sunulmuştur.

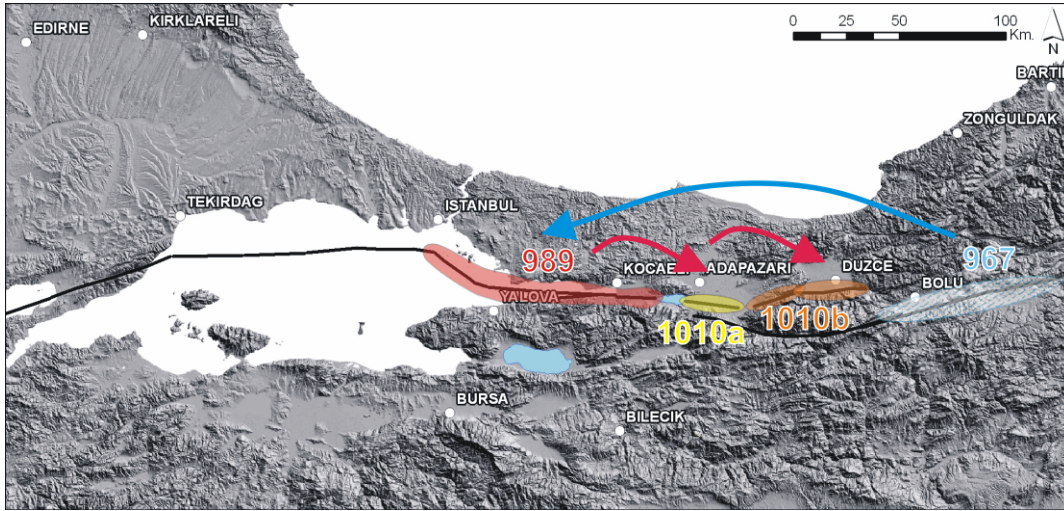
11.yy’da meydana gelen depremler:

1000 yılı civarında tarihsel deprem kayıtlarında bir kümelenme söz konusudur (Bakınız: Bölüm 2.4 ve Şekil 2.54). Bu depremlerin etkilerinin hemen hemen hepsi İstanbul’da kaydedilmiştir ve diğer komşu bölgeler için yeterli bilgi tarihsel kayıtlarda mevcut değildir (Bakınız: Bölüm 2.1). Tarihsel kayıtlarda, 989 ve 1090 yılları arasında, Marmara bölgesinde artçı sarsıntıları ile birlikte hissedilen ve/veya hasar yapan toplam 11 adet deprem yer almaktadır. Daha doğuda, özellikle Bolu’da ağır hasara sebep olan 967 yılında meydana gelen bir deprem olmuştur. Kondo ve diğ. (2005) 1944 yüzey kırığı üzerinde yaptığı çalışmada 967 depremi ile Bolu ve Yeniçağa segmentlerinde meydana gelen bir kırılma önermiştir.

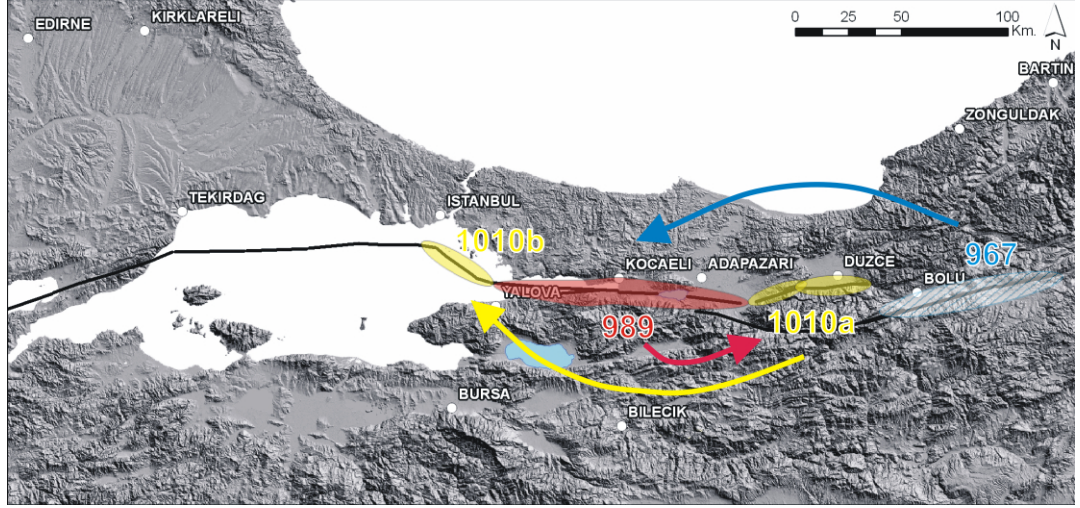
989 depremi, etkileri hakkında İstanbul dışından bilgi alınabilen bir depremdir ve İzmit ilinde ağır hasar verdiği bilinmektedir. 1034-35 depreminin Gerede doğusunda meydana geldiği birçok araştırmacı tarafından kabul görmektedir. 1063 depremi ise Marmara bölgesi batısında etkili olan bir depremdir. Bu üç depremden geride kalan 7 depremin İstanbul şehrindeki etkileri haricinde, bölgedeki diğer illerdeki etkisi bilinmemektedir. Dolayısıyla, bu depremlerin lokasyonu, büyüklüğü, hangi segment ya da segmentleri kırıdığı, yüzey kırığı uzunluğu ve yeri, yüzey kırığı oluşturup oluşturmadıkları gibi bilgilerin tahmini güçtür.

Paleosismoloji araştırmaları sonucunda Klinger ve diğ. (2003) Karamürsel-Gölcük segmentinde, Pavlides ve diğ. (2006) İzmit-Sapanca Gölü segmentinde tarihlendirdikleri eski yüzey kırığının 989 depremi olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada Sapanca-Akyazı segmentinde yapılan 2 farklı hendek lokasyonunda da 1000 yılları civarında meydana gelmiş bir deprem tarihlendirilmiştir. Bu segmentin doğusunda Karadere segmenti üzerinde de yine 1000 yıllarında meydana gelen bir

deprem tespit edilmiştir. 989 depreminin yüzey kırığının Sapanca Gölü doğusunda, Sapanca-Akyazı ve Karadere segmentleri üzerinde, 1999 İzmit depreminde olduğu gibi yüzey kırığı geliştirmiş olması mümkündür. Arazi çalışmalarında izleri tespit edilen bu deprem seviyesinin yaş tayini sonuçları 1000-1100 yılları arasında yoğunlaşmaktadır. 989 depreminden başka 1010 yılının Ocak ve Mart aylarında meydana gelen depremler de bu kesimde yüzey kırığı oluşturmaya aday depremlerdir. Bu depremler, İstanbul'da 3 ay aralıklı iki ayrı güçlü sarsıntı halinde hissedilmiş ve İstanbul'dan hissedilebilen artçı sarsıntıları devam etmiştir. Tez çalışmasında elde edilen tarihlendirme sonuçlarına göre, bir diğer olasılık 989 depremi yerine 1010 depremlerinin Sapanca Gölü'nün doğusunda yüzey kırığı geliştirmiş olmasıdır Sapanca-Akyazı ve Karadere segmentlerinde izleri görülen bu deprem 989 depremi ya da 1010 depremlerinden birini temsil edebilir. 989 depremini temsil etmesi durumunda 1999 İzmit depremiyle benzer büyüklükte meydana gelen ve benzer uzunlukta yüzey kırığı geliştiren bir depremden bahsedilebilir. 1010 depremlerini temsil etmesi durumunda ise meydana gelen bir depremin Sapanca-Akyazı ve/veya Karadere segmentini kırdığı, ikinci depremin ise Düzce ve/veya Karadere segmentini kırmış olma olasılığı vardır. Bu durumda meydana gelen iki ayrı depremden birincisinin $6.8 > M_w > 7.0$ ya da $7.0 > M_w > 7.1$ büyüklüğünde, ikincisinin ise $M_w \geq 7.2$ olması beklenir (Şekil 6.1 ve 6.2, Çizelge 6.1).



Şekil 6.1 : Doğu Marmara bölgesinde 11.yy'da meydana gelen depremler ve oluşturdukları yüzey kırıklarına ait birinci senaryo.



Şekil 6.2 : Doğu Marmara bölgesinde 11.yy'da meydana gelen depremler ve oluşturdukları yüzey kırıklarına ait ikinci senaryo.

15. ve 16.yy'da meydana gelen depremler:

Gerek tarihsel kayıtlar gerekse bu çalışmada ve önceki çalışmalarda elde edilen paleosismolojik hendek verileri 11.yy-15.yy arasında, Karadere segmenti ve doğusu dışında, Marmara bölgesini etkileyen önemli bir deprem olmadığını göstermektedir.

Yapılan hendek çalışmaları sonucunda, 11. yy sonrasında belirlenen ilk deprem, 1419 yılında Karadere segmentini kıran bir deprem olarak belirlenmiştir. Tarihsel deprem kayıtlarına bakıldığında 1419 yılında meydana gelen, özellikle İzmit ve doğusunda etkili olan, Kastamonu, Amasya, Tokat'ta da hissedilen ve Bursa'da hasar yapan bir deprem yer almaktadır. Depremin etki alanları gözönünde bulundurulduğunda sadece Karadere segmenti üzerinde değil daha doğusundaki segment(ler)de de yüzey kırığı yaratan bir depremden şüphe edilmiştir. Fakat eldeki veriler doğrultusunda depremin Karadere segmentini kırmış olduğu varsayılmıştır.

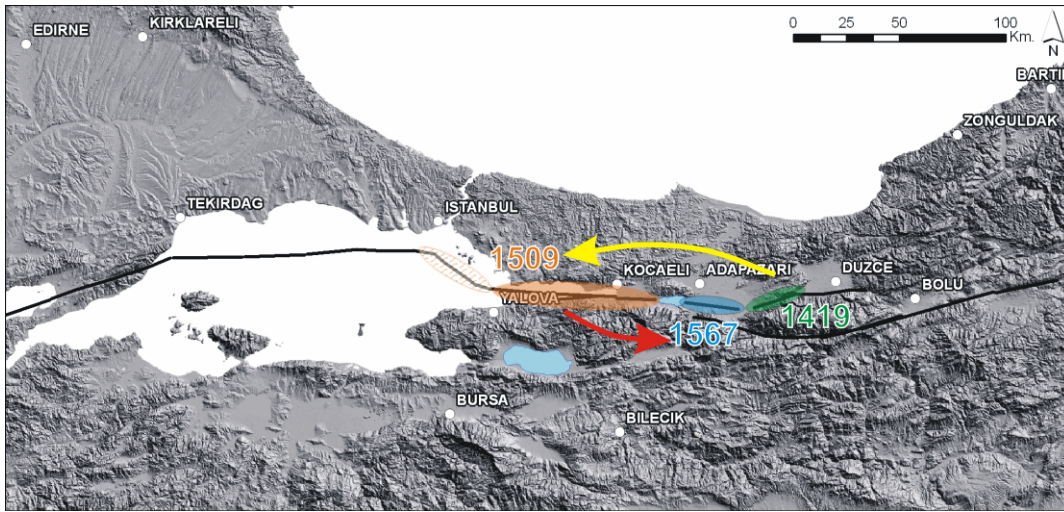
Ambraseys ve Finkel (1991) tarihsel dökümanlarda yer alan bilgilere dayanarak, bu depremi Mudurnu segmenti üzerinde konumlandırmışlar; Ambraseys ve Jackson (1998) aynı segment üzerinde konumlandıkları depremin büyüklüğünü Prague formülü ile $M_s > 7.0$ olarak hesaplamıştır.

1419 depreminden bir sonraki deprem, 1500'lü yılların ikinci yarısında Sapanca-Akyazı segmentinde yüzey kırığı geliştirmiştir. Tarihsel kayıtlarda bu zaman dilimi içerisinde bahsedilen iki deprem vardır. Bunlardan 1556 depreminin KAF'ın güney kolu üzerinde meydana gelmiş olması yüksek ihtimaldir. Diğer deprem ise 1567 yılında İstanbul'da da hissedilen, Sapanca'da hasar ve heyelana sebep olan bir

depremdir. Paleosismoloji sonuçlarına göre Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde tespit edilen eski deprem 1567 depremi olmalıdır ve sadece bu segmenti kırmıştır. Segmentin 30 veya 35 km boyunca kırıldığı varsayıldığında deprem büyüklüğünün $6.8 \geq M_w \geq 7.0$ olacağı öngörülebilir (Çizelge 6.1).

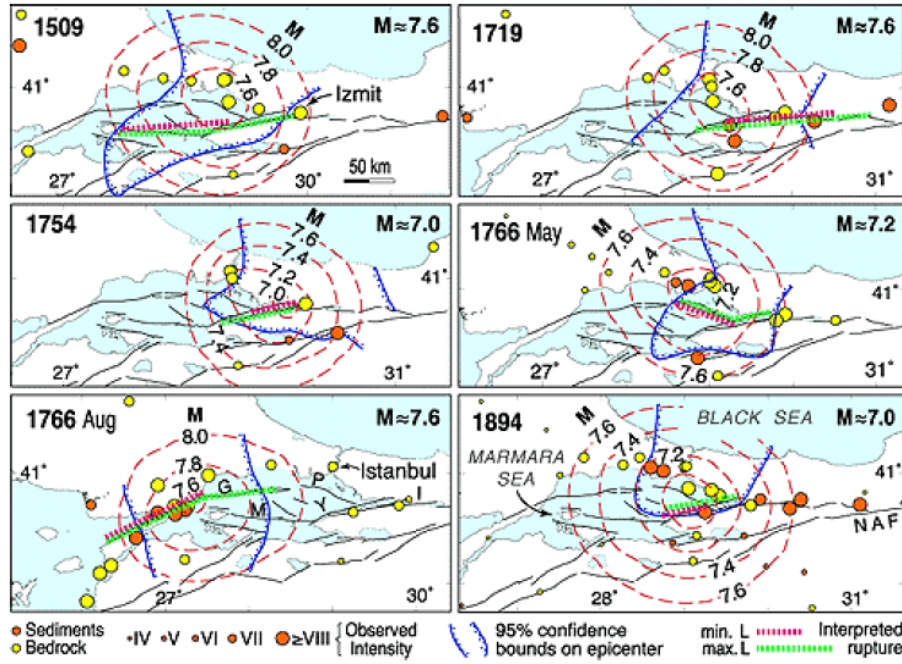
1509 depremi Klinger ve diğ. (2003), Pavlides ve diğ. (2006) ve bu tez çalışmasının sonuçlarına göre Karamürsel-Gölcük ve İzmit-Sapanca Gölü segmentlerini kırmıştır. Depremi etki alanları gözönünde bulundurulduğunda Yalova-Hersek segmentinin de bu depremle kırılmış olması beklenir. Yalova açıklarından Sapanca Gölü'ne kadar yaklaşık 80 km kırılması durumunda $7.2 \geq M_w \geq 7.3$ büyüklüğünde bir deprem öngörülebilir (Şekil 6.3, Çizelge 6.1).

Bu depremde yukarıda bahsedilen segmentler ile birlikte Adalar fayının da kırıldığı varsayılarak ikinci bir senaryo üretilmiştir. Bu senaryoda, 100 km'lik bir yüzey kırığına sebep olmasıyla depremin, büyüklüğü $7.3 \geq M_w \geq 7.5$ olan bir deprem olduğu öngörülmüştür (Çizelge 6.1).



Şekil 6.3 : Doğu Marmara bölgesinde 15. ve 16.yy'da meydana gelen depremler ve oluşturdukları yüzey kırıkları.

Ambraseys ve Jackson (2000) 1509 depreminin için Silivri açıklarından Adalar'a kadar uzanan 74 km uzunluğunda bir yüzey kırığı önermiş ve depremin büyüklüğünü $M_s=7,2$ olarak hesaplamıştır. Parsons ve diğ. (2000) ise depremin tarihsel dökümanlarda bahsedilen etkilerine göre en az Marmara Adası ile Yalova açıklarına kadar bir yüzey kırığı oluşturduğu yorumunda bulunmuş, bu yüzey kırığı uzunluğuna göre depremin büyüklüğünün $M=7.6$ olabileceğini belirtmiştir (Şekil 6.4).

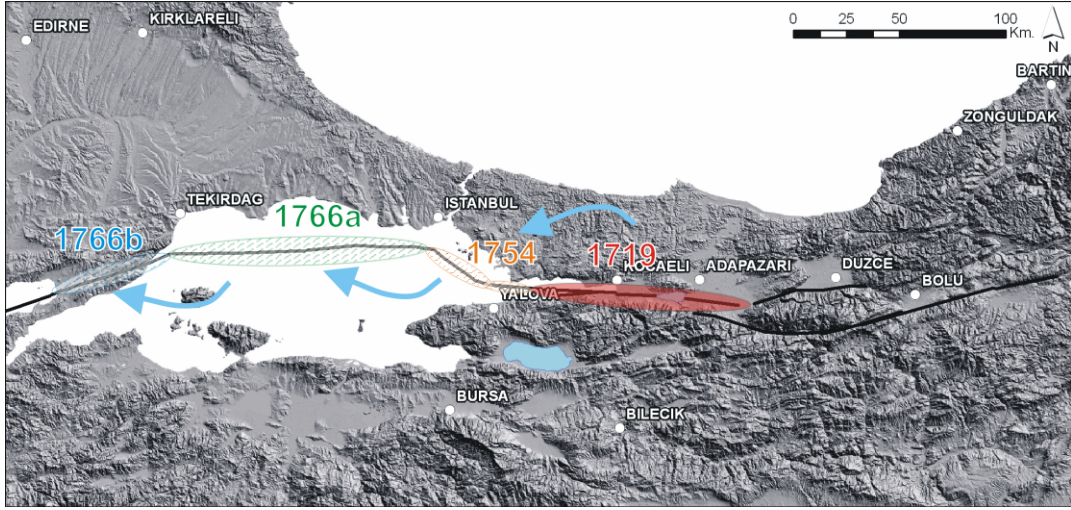


Şekil 6.4 : Parsons ve diğ. (2000) tarafından, 1500 yılından itibaren Marmara bölgesinde meydana gelen büyük tarihsel depremlerin oluşturmuş olabilecekleri yüzey kırıkları ve buna bağlı büyüklükleri (Parsons ve diğ., 2000'den alınmıştır).

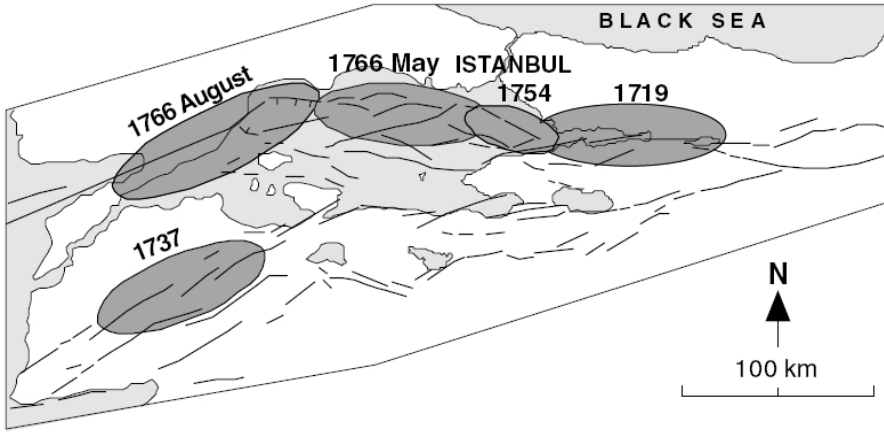
18.yy'da meydana gelen depremler:

Tarihsel deprem kataloglarında, 18.yy'da Marmara'nın doğusunu etkileyen 1719 ve 1754 yıllarında iki ayrı deprem yer almaktadır. Mayıs 1766 ve Ağustos 1766 depremleri Marmara'nın batısında daha ağır hasara sebep olmuştur. 1754 ve Mayıs 1766 depremlerinin Marmara denizi içinde olduğu birçok araştırmacı (Barka ve diğ., 2002; Hubert-Ferrari ve diğ., 2000; Ambraseys ve Jackson, 2000) tarafından kabul görmektedir (Şekil 6.4, 6.6 ve 6.7). Ağustos 1766 depremi ise Ganos fayı üzerinde faylanma meydana getirmiş bir depremdir. Ambraseys ve Jackson (2000) depremin büyüklüğünü $6.8 \leq M_s \leq 7.2$ arası hesaplamış ve merkez üssünü Adalar'ın 15 km güneydoğusu olarak önermiştir.

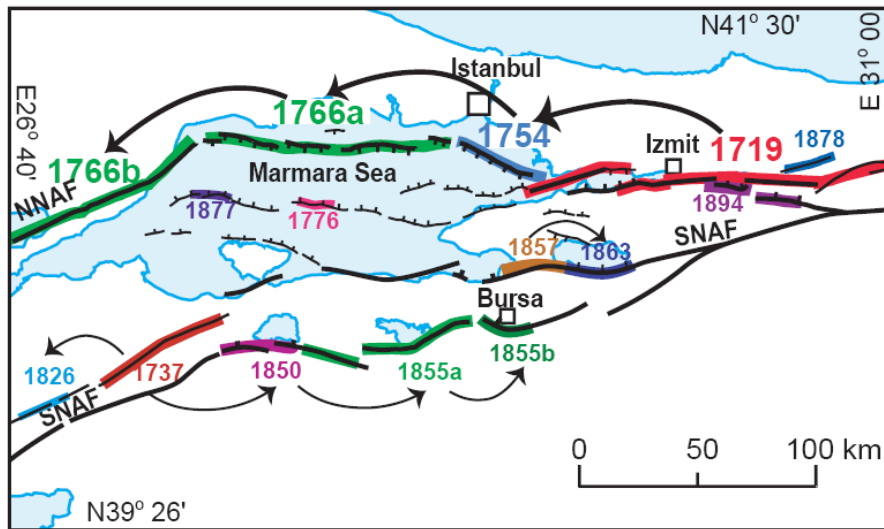
Klinger ve diğ., (2003) ve bu tez çalışmasının paleosismolojik sonuçlarının birarada değerlendirilmesiyle, 1719 depremi için öngörülen yüzey kırığı Hersek-Akyazı arasında yaklaşık 90 km'dir. Bu uzunluktaki yüzey kırığı için hesaplanan deprem büyüklüğü ise $7.3 \leq M_w \leq 7.5$ arasındadır (Şekil 6.5, Çizelge 6.1).



Şekil 6.5 : Marmara bölgesinde 18.yy'da meydana gelen depremler ve oluşturdıkları yüzey kırıkları.



Şekil 6.6 : Marmara bölgesinde 18.yy depremlerinin kırış olabilecekleri segmentler (Barka ve diğ., 2002'den alınmıştır).



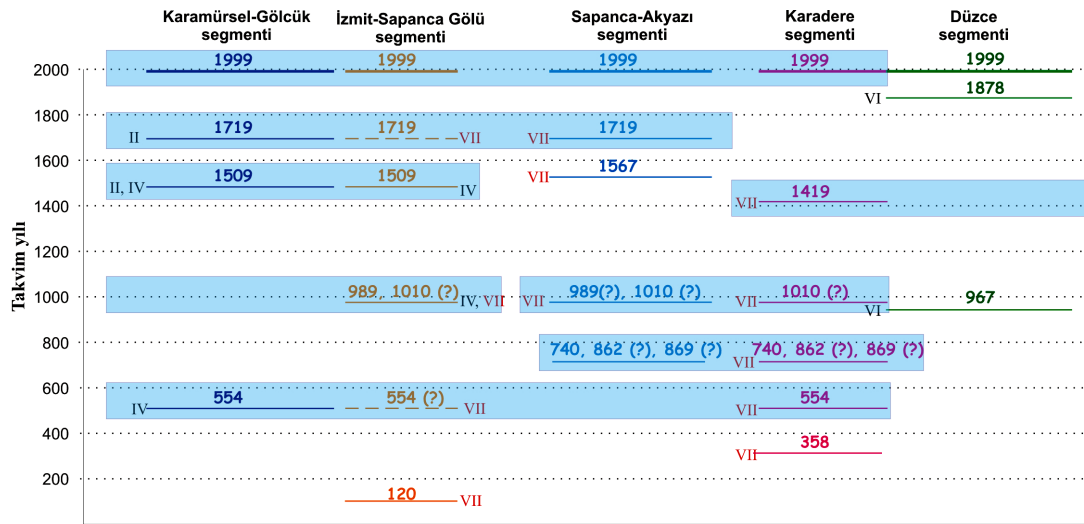
Şekil 6.7 : Marmara bölgesinde 18. ve 19.yy depremlerinin kırış olabilecekleri segmentler (Hubert-Ferrari ve diğ., 2000'den alınmıştır).

Çizelge 6.1 : Doğu Marmara bölgesinde tez çalışması kapsamında belirlenen depremler için öngörülen yüzey kırığı, büyüklük, ortalama ve maksimum atım bilgileri.

Deprem tarihi	Segment	Yüzey kırığı (km)	Büyüklük (M_w)	Ortalama atım (m)	Maksimum atım (m)
989	Adalar Yalova-Hersek Karamürsel-Gölcük İzmit-Sapanca Gölü	100	7.3-7.5	~4	~8
	Yalova-Hersek Karamürsel-Gölcük İzmit-Sapanca Gölü Sapanca-Akyazı	115	≥ 7.4	$\geq \sim 4$	$\geq \sim 8$
1010a	Sapanca-Akyazı	30	6.8-6.9	0.4-0.5	~1.5
		35	6.9-7.0	~1	~2
	Karadere Düzce	~55	7.0-7.1	~1	~2
1010b	Karadere Düzce	~55	7.0-7.1	~1	~2
	Adalar	~30			
1419	Karadere ve doğusu	>40	>7.0	>2	>2
1509	Yalova-Hersek Karamürsel-Gölcük İzmit-Sapanca Gölü	80	7.2-7.3	2-2.5	4-5
	Adalar Yalova-Hersek Karamürsel-Gölcük İzmit-Sapanca Gölü	100	7.3-7.5	~4	~8
1567	Sapanca-Akyazı	30	6.8-6.9	0.4-0.5	~1.5
	Sapanca-Akyazı	35	6.9-7.0		~2
1719	Karamürsel-Gölcük İzmit-Sapanca Gölü Sapanca-Akyazı	~90	7.3-7.5	~4	~8

20.yy'da 1939 yılında Erzincan'dan kırılmaya başlayıp, batıya doğru birbirini tetikleyen depremler üreten KAF, 1999 yılında Bolu'dan Yalova batısına kadar kırılmıştır. KAF'ın 1939-1967 yılları arasında gösterdiği bu davranış, Stein ve diğ. (1997) tarafından *Coluomb Stress Failure* modeli ile açıklanmıştır. Paleosismolojik çalışmalar sonucunda, doğu Marmara'da son 1000 yıl içerisinde KAF'ın kuzey kolu üzerinde meydana gelen depremlerin her zaman bu şekilde kırılmalara yol açmadığı tespit edilmiştir. 11.yy ve 16.yy depremleri dağınık, birbirine komşu olmayan segmentlerin kırılmasıyla sonuçlanmıştır. 18.yy depremleri incelendiğinde ise, 20.yy depremlerine benzer, daha doğuda yer alan segmentlerin batıdakilerini tetiklemesi şeklinde bir davranış izlenmektedir (Şekil 6.5-6.7). Doğuda Karlıova'dan Bolu'ya kadar dar bir zonda ilerleyen KAF, Bolu'dan itibaren çatallanarak iki ana kola ayrılır. Marmara bölgesinde, Bolu-Erzincan arasına göre daha kompleks bir geometri sunan KAF'ın üzerinde meydana gelen depremlerin birbirleriyle olan etkileşimi bir sorundur. Bu sorunu çözmek için eklenecek olan paleosismolojik çalışmaların yanısıra deprem etkileşim modelleri de önemli yer tutmaktadır.

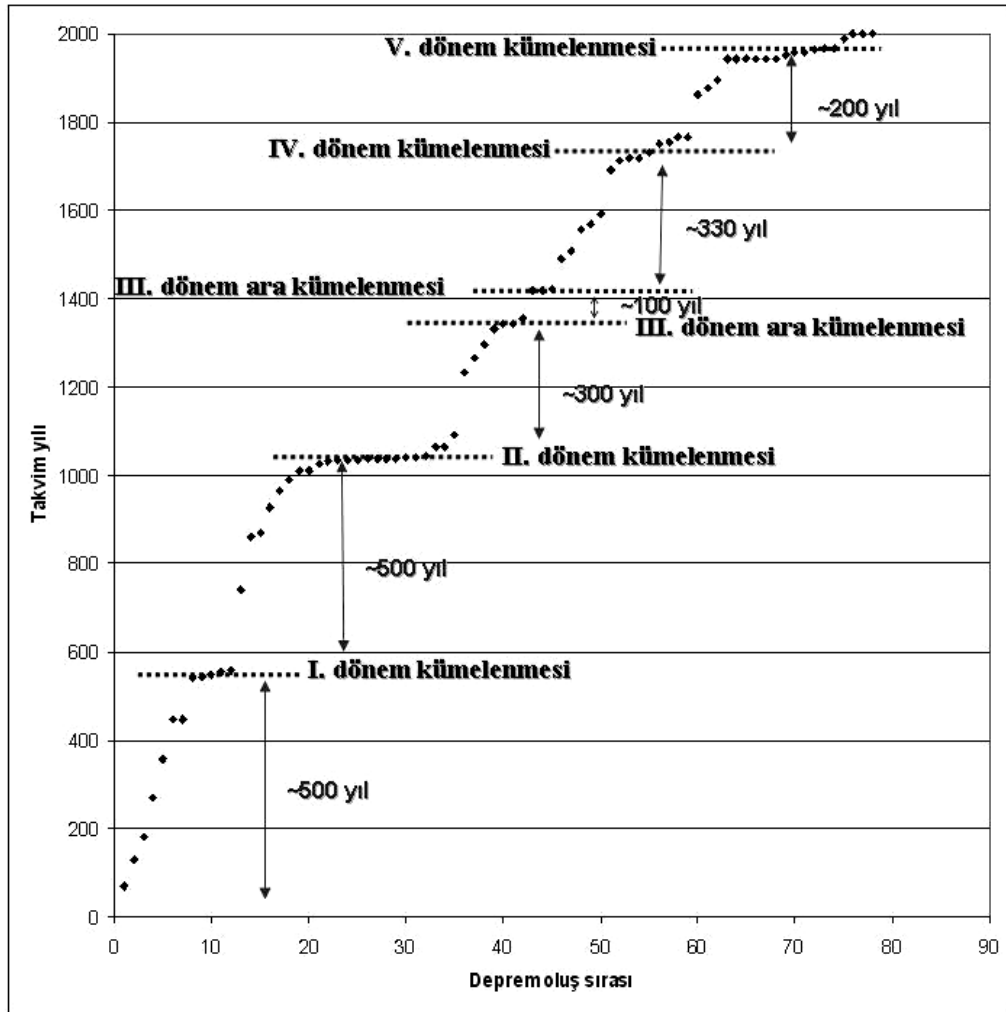
Elde edilen paleosismolojik sonuçlara göre, KAF'ın Doğu Marmara bölgesinde yer alan segmentleri her zaman benzer sismik segment davranışı göstermemiş, farklı zamanlarda farklı segmentler birarada ya da tek başlarına yüzey faylanması geliştirmişlerdir (Şekil 6.8).



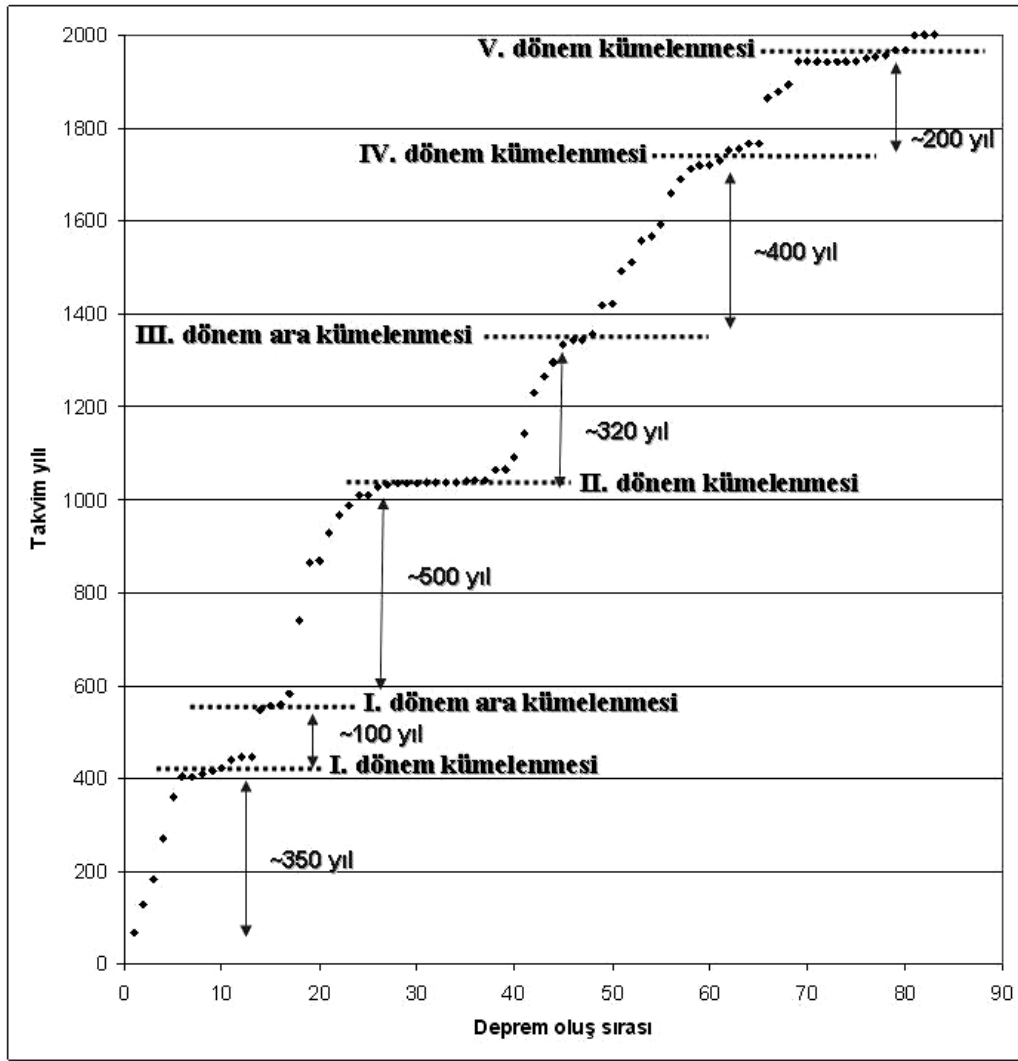
Şekil 6.8 : İzmit körfezi-Düzce arasında KAF'ın kuzey kolu üzerinde son 2000 senede meydana geldiği belirlenen depremlerin sismik segmentleri (II. Klinger ve diğ. (2003), IV. Pavlides ve diğ. (2006), VI. Pantosti ve diğ. (2008), VII. Bu tez çalışması).

6.3.2 Marmara ve Doğu Marmara bölgesinde KAF'ın kuzey kolunun sismik davranışı ve deprem tekrarlanma modelleri

Tez çalışması için derlenen son 2000 yıllık depremler incelendiğinde Marmara bölgesinde meydana gelen orta-büyük (muhtemelen $M \geq 5$) depremlerin beş farklı dönemde kümelendiği dikkati çekmektedir. Bölüm.2’de yer alan, KAF’ın kuzey kolu üzerinde gerçekleşmiş olması yüksek ihtimal olan 78 adet deprem ile “zaman (takvim yılı)/deprem oluş sırası” değerleri ile hazırlanan bir grafik oluşturulmuştur. Bahsedilen bu deprem kümelenmeleri, grafikte basamaklar halinde izlenebilmektedir. 11.yy ilk yarısında ve 20.yy ikinci yarısında meydana gelen kümelenme (Şekil 6.9’da II. ve V. Dönem) en çok deprem sayısına sahip olan kümelenmedir. Bu beş dönemde meydana gelen deprem kümelenmelerinin arasında daha az sayı ile kümelenme gösteren depremler “ara kümelenme” olarak grafiğe eklenmiştir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 : Marmara bölgesinde, KAF'ın kuzey kolu üzerinde son 2000 yılda meydana gelen ve/veya gelmiş olabilecek depremler (78 adet deprem).



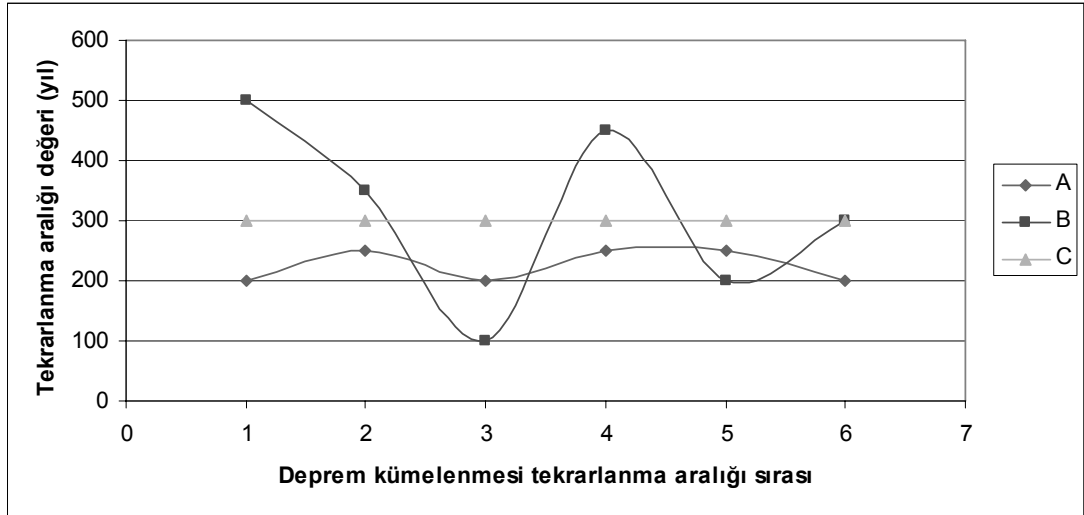
Şekil 6.10 : Marmara bölgesinde, KAF'ın kuzey kolu üzerinde son 2000 yılda meydana gelen ve/veya gelmiş olabilecek depremler (83 adet deprem).

Buna göre bu kümelenmeler arasında 100 yıl ile 500 yıl arasında değişen tekrarlanma aralıkları elde edilmiştir. Seçilen depremlere; KAF'ın kuzey kolu üzerinde gerçekleşmiş olması şüpheli, fakat yine de gerçekleşme ihtimali bulunan 5 deprem daha eklenerek grafik tekrar çizdirilmiştir (Şekil 6.10). Toplam 83 deprem ile oluşturulan yeni grafikte elde edilen kümelenme tekrarlanma aralıkları için 100 yıl ile 500 yıl arasında değişen değerler elde edilmiştir. Bu kümelelerin incelenmesi ve aralarında geçen zaman zarfının farklılığı KAF'ın bölgedeki sismik davranışının belirlenmesine katkıda bulunacak bir bilgidir.

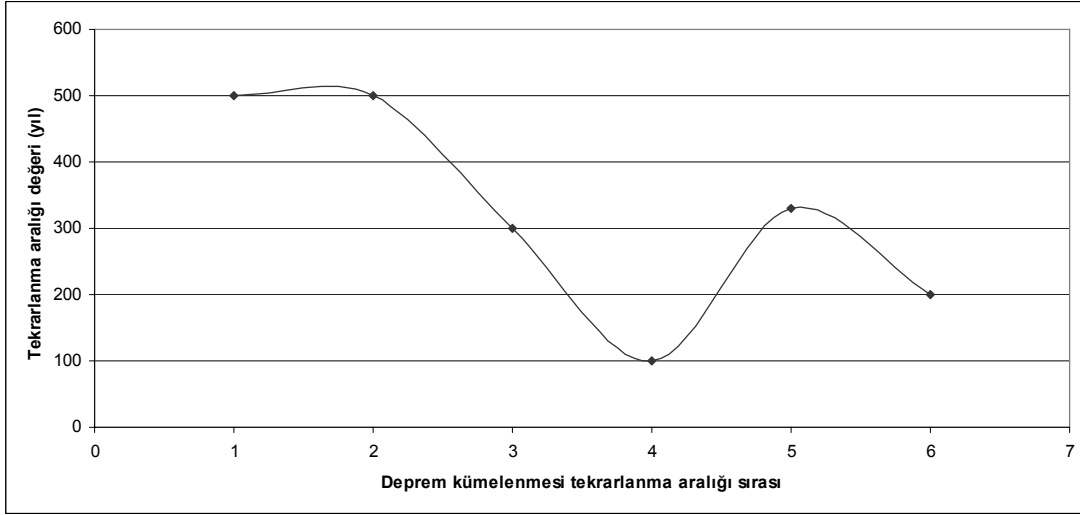
Deprem kümelenmesi tekrarlanma aralıklarının birarada gösterimi için “tekrarlanma aralığı değeri (yıl)/deprem kümelenmesi tekrarlanma aralığı sırası (1. aralık, 2. aralık, 3. aralık n. aralık)” diyagramı oluşturursak, bu diyagramda elde edilen çizginin eğriliğinin artması ve eğrilerin genliklerinin farklılaşması deprem tekrarlanma

aralıkları değerlerinin değişkenliğinin arttığını gösterir (Şekil 6.11'deki B eğrisi). Birbirine yakın değerlerde deprem tekrarlanma aralıkları olması eğriliği daha az bir çizgi sunacaktır (Şekil 6.11'deki A eğrisi). Deprem tekrarlanma aralığının sabit olması ise düz bir çizgi oluşturacaktır (Şekil 6.11'deki C çizgisi). Deprem kümelenmeleri için önerilen bu grafik tek bir segment üzerinde meydana gelen depremlerin tekrarlanma aralıklarının analizinde de kullanılabilir.

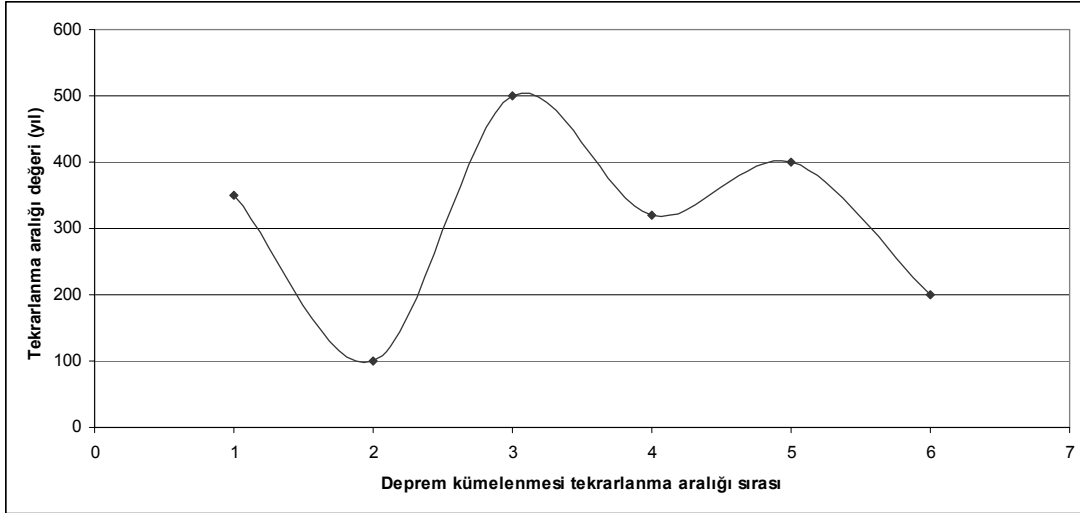
Tez çalışmasında derlenen tarihsel deprem kümelenmeleri arasında geçen zaman oluşturulan bu diyagram yardımıyla değerlendirilmiştir. Belirlenen deprem kümelenmeleri arasında geçen 100 ila 500 yıl arasında değişen süreler diyagramda çizdirildiğinde farklı genlikte ve eğriliği yüksek grafikler elde edilmiştir. Bu da, kuzey kol üzerindeki deprem kümelenmesi tekrarlanma aralığının değişken olduğunu göstermektedir (Şekil 6.12 ve 6.13).



Şekil 6.11 : Deprem tekrarlanma aralıklarının analizi için önerilen, tekrarlanma aralığı değeri ve zamana bağlı deprem sırasını gösteren grafik (A: deprem tekrarlanma aralıkları birbirine yakın değerlere sahip, B: deprem tekrarlanma aralıkları değişken değerlerde, C: deprem tekrarlanma aralıkları birbirine eşit).



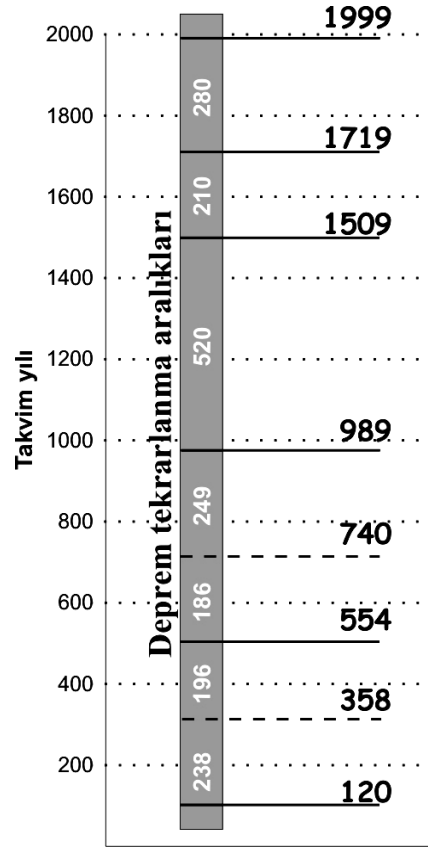
Şekil 6.12 : Şekil 6.9’da görülen deprem kümelenmeleri arasındaki zaman farklarının grafik gösterimi.



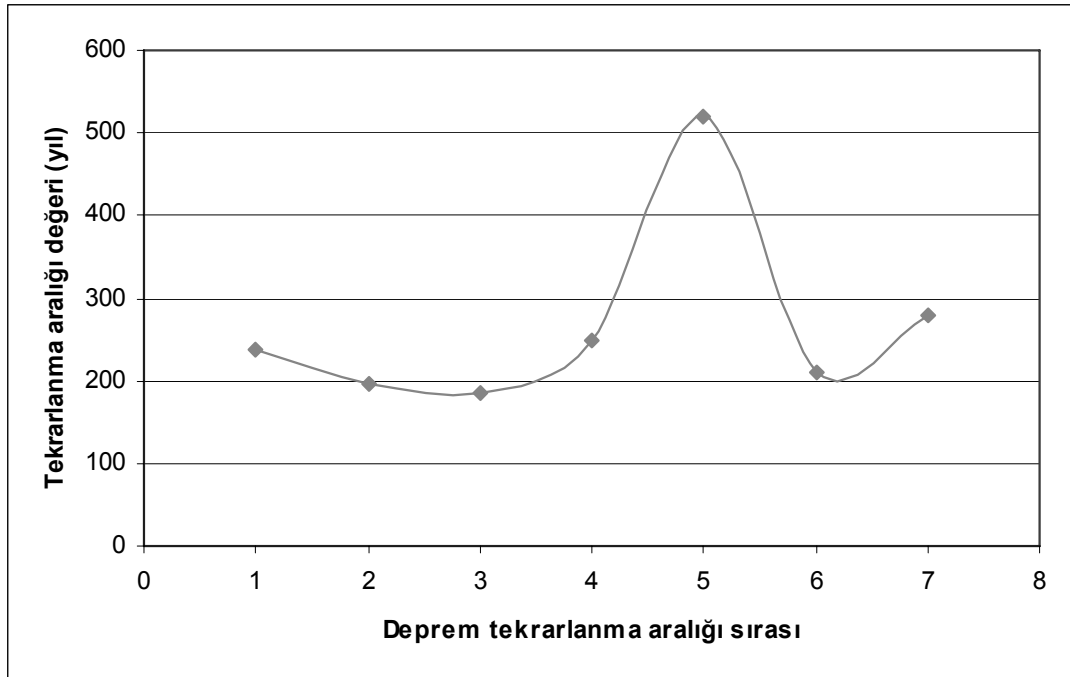
Şekil 6.13 : Şekil 6.10’da görülen deprem kümelenmeleri arasındaki zaman farklarının grafik gösterimi.

Çalışılan segmentler üzerinde deprem tekrarlanma aralıkları:

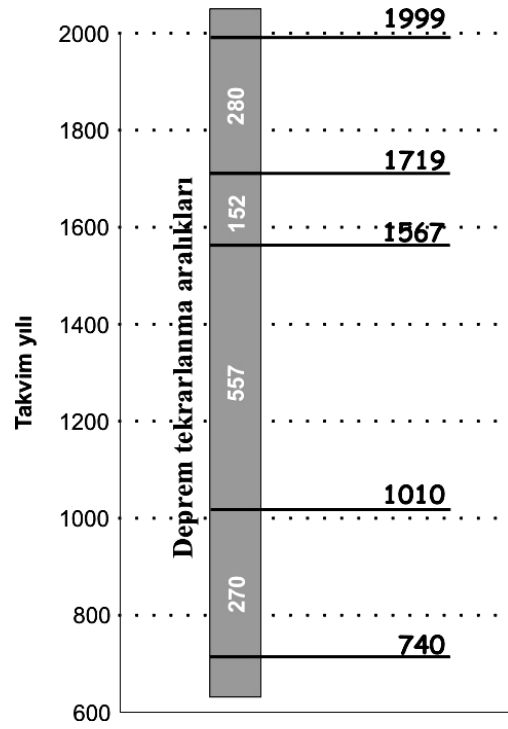
Hem paleosismolojik çalışmalardan hem de tarihsel dökümanlardan edinilen bilgilere göre İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde 186 yıl ile 520 yıl arasında, Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde 152 yıl ile 557 yıl arasında, Karadere segmentinde ise 186 yıl ile 580 yıl arasında değişen deprem tekrarlanma aralıkları belirlenmiştir (Şekil 6.14-6.19).



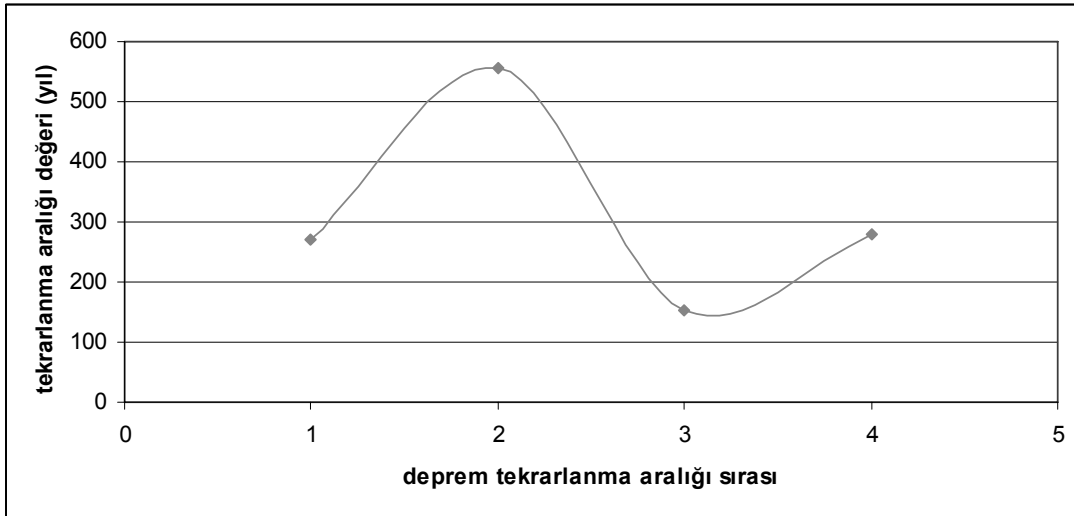
Şekil 6.14 : İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde son 2000 yılda meydana gelen depremler ve deprem tekrarlanma aralığı (Kesikli çizgiler tarihsel dökümanlardan; düz çizgiler ise 1999 İzmit depremi hariç olmak üzere paleosismoloji çalışmalarından elde edilmiştir).



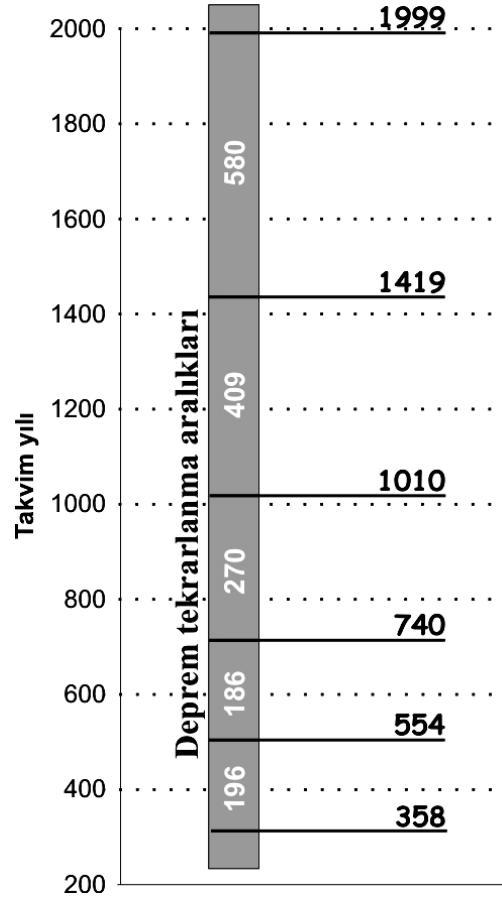
Şekil 6.15 : İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde son 2000 yıl için deprem tekrarlanma aralıklarının grafik gösterimi.



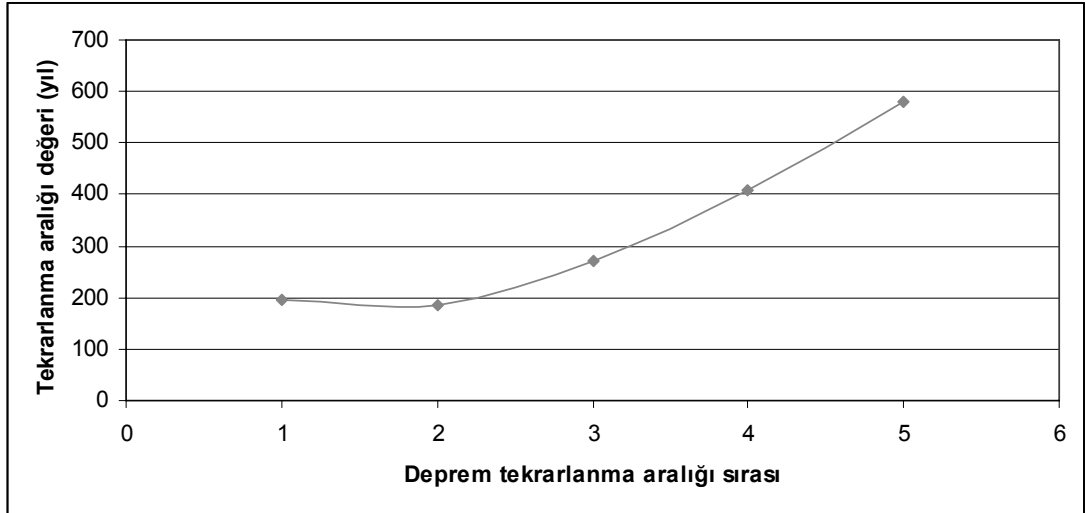
Şekil 6.16 : Sapanca-Akyazı segmenti üzerinde paleosismolojik çalışmalardan elde edilen depremler (1999 İzmit depremi hariç) ve tekrarlanma aralıkları.



Şekil 6.17 : İzmit-Sapanca Gölü segmenti üzerinde belirlenen son 1250 yılda meydana gelen depremlerin tekrarlanma aralıklarının grafik gösterimi.



Şekil 6.18 : Karadere segmenti üzerinde paleosismolojik çalışmalardan elde edilen depremler (1999 İzmit depremi hariç) ve tekrarlanma aralıkları.



Şekil 6.19 : Karadere segmenti üzerinde yaklaşık son 2000 yılda meydana gelen depremlerin tekrarlanma aralıklarının grafik gösterimi.

6.3.3 Fay davranış modelleri

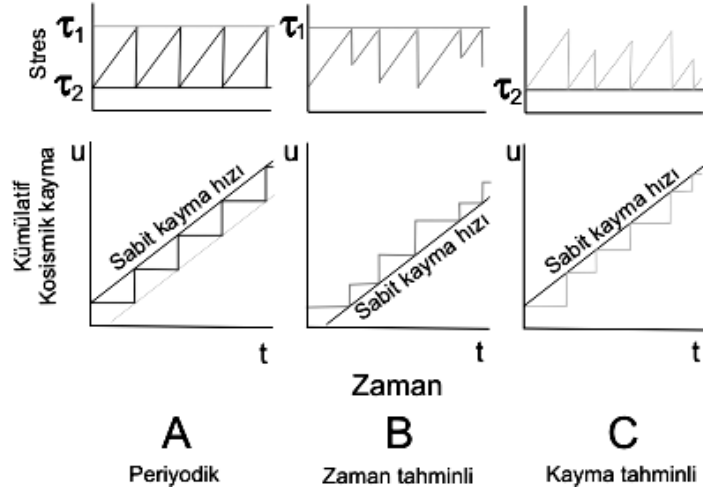
Fay davranış modelleri, fay üzerindeki bir noktada ya da tüm fay boyunca, kosismik yerdeğiştirmenin zaman içerisindeki değişimini araştırır ve paleosismolojik verilerin

değerlendirilmesinde kullanışlı bir kavramsal çatı oluşturur. Fay davranışı hem zamansal hem mekansal özellikler tarafından belirlenir. Mekansal varsayım, deprem anında yüzeyde meydana gelen deformasyon paterninin, ilgili fay düzlemi üzerindeki gerilim boşalma (strain release) paterni ile ilgili olduğudur. Yani fay segmentleri, asperitiler, bariyerler ve yerel gerilme birimleri varsa, oluşan yüzey deformasyonu bu etkileri yansıtmalıdır. Zamansal varsayım ise ana gerilim boşalma olayları (yani depremler) ile her olaydaki gerilim boşalma miktarı arasında bir ilişki olduğudur (McCalpin, 1996).

Yapılan ilk fay davranış modelleri, fay boyunca meydana gelen kayma değişimi ele alınmaksızın, sadece fay üzerinde tek bir noktadaki kaymanın zaman içerisindeki değişimine bağlı olarak açıklanmaya çalışmıştır. Reid (1910) 1906 San Francisco depremindeki gözlemlere dayanarak “mükemmel periyodik model”i tasarlamıştır. Bu modelde, belirli bir stres birikimi oluştuğunda deprem meydana gelir, stres boşalımı ve oluşan deprem büyüklüğü her zaman aynıdır (Şekil 6.20).

Shimazaki ve Nakata (1980) ise Japonya’da dalma-batma zonunda meydana gelen depremlerde yaptıkları gözlemlere dayanarak zaman tahminli ve kayma tahminli iki ayrı model oluşturmuşlardır. Zaman tahminli modelde, deprem oluşabilmesi için aynı miktarda stres birikimi (kritik stres seviyesi) gereklidir ama stres boşalımı ve depremin büyüklüğü değişiklik gösterebilir. Bir sonraki depremin meydana geleceği zaman, kayma miktarının zaman içerisinde sabit olduğu kabulü ile, bir önceki depremde meydana gelen kayma miktarı ile tahmin edilir. Kayma tahminli modelde, meydana gelen depremler büyüklükleri ne olursa olsun, boşalttıkları stres birikiminden sonra aynı stress seviyesine geri düşerler. Bir sonraki depremde meydana gelecek olan kayma miktarı, bir önceki depremden sonra geçecek süre ile tahmin edilir (Şekil 6.20).

Depremlerde meydana gelen kaymanın fay boyunca farklılık gösterdiği anlaşıncaya bu tek boyutlu modellere, fay boyunca oluşan değişimlerin de, yani bir ikinci boyutun da eklenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. İki boyutlu fay davranış modelleri (Schwartz ve Coppersmith, 1984), doğrultu atımlı faylar boyunca gözlenen jeomorfik atımların incelenmesi, yani daha önce meydana gelen depremlerin etkilerinin de hesap edilmesiyle oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modeller iki ayrı ana grup altında toplanmıştır: Değişken kayma modelleri ve düzenli kayma modelleri (Şekil 6.21).



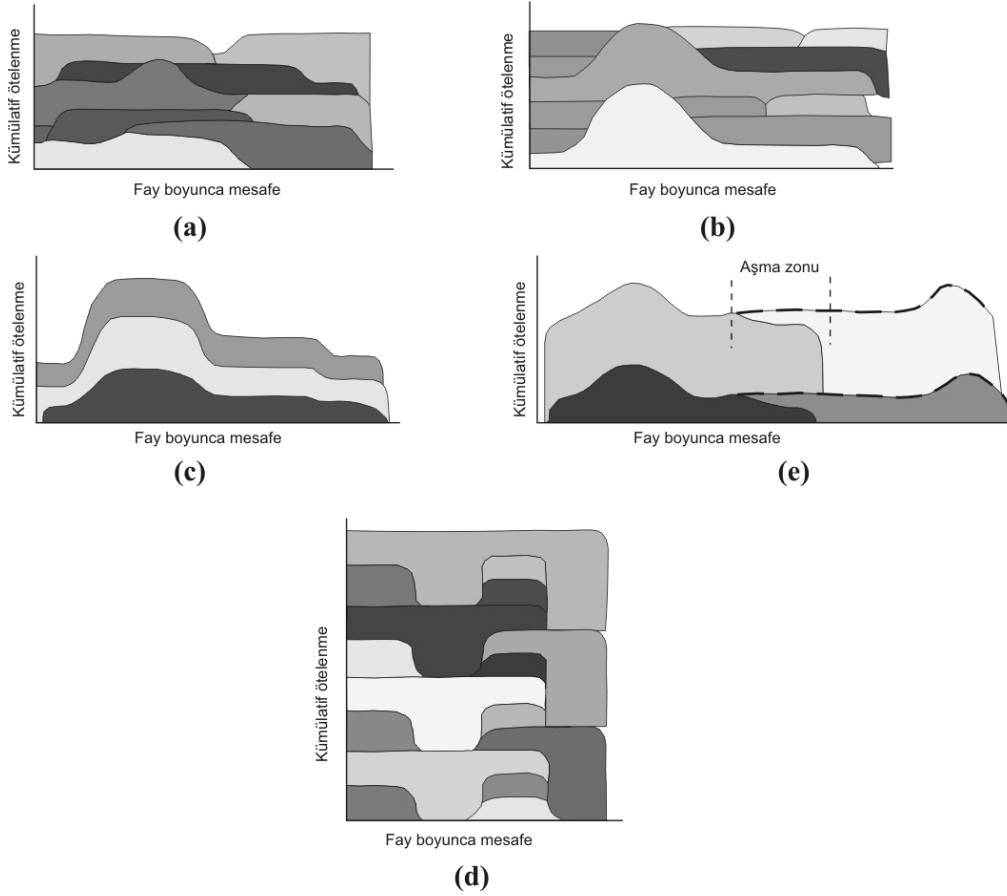
Şekil 6.20 : Reid (1910) tarafından önerilen mükemmel periyodik model (A), Shimazaki ve Nakata (1980) tarafından önerilen zaman tahminli (B) ve kayma tahminli (C) modellerin karşılaştırılması. Üstteki diyagramlar zaman içerisinde stress boşalım paternini, alttaki diagramlar zaman içerisinde fay üzerinde meydana gelen kayma miktarı paternini göstermektedir (Scholz, 1990).

Değişken kayma modelinde, doğrultu boyunca kayma hızı sabittir fakat bir nokta üzerinde farklı depremlerde farklı kaymalar meydana gelebilir ve depremlerin büyüklükleri de farklı olabilir (Şekil 6.21a). Düzenli kayma modelinde dört alt model tanımlanmıştır. Bunlar tekdüze, karakteristik, aşmalı ve çiftli (*coupled*) modellerdir.

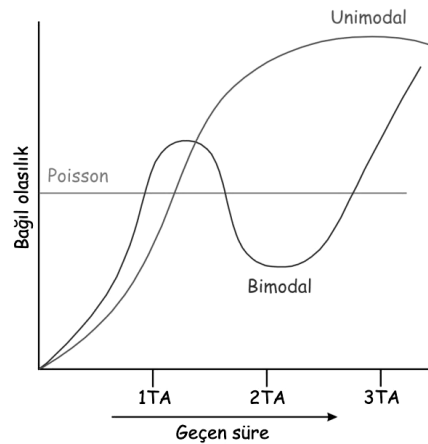
Tekdüze kayma modelinde, sabit büyüklükte depremler ile sabit ötelenme miktarları, ve sabit bir kayma hızı önerilir (Şekil 6.21b). Karakteristik kayma modelinde, sabit büyüklükteki depremler ile sabit ötelenme miktarları meydana gelir, kayma hızı değişkendir ve aralıklı olarak orta büyüklükte depremler beklenir (Şekil 6.21c). Aşmalı kayma modelinde, sabit büyüklükte depremler, sabit ötelenme miktarları ve değişken kayma hızı önerilmiştir (Şekil 6.21d). Çiftli (*coupled*) kayma modelinde ise değişken büyüklükte depremler ile sabit ötelenme miktarları ve sabit kayma hızı meydana gelir (Şekil 6.21e).

Yüksek büyüklükte depremlerin (morfojenik) zaman içerisinde tekrarlanma aralığı frekans dağılımına göre üç farklı model oluşturulmuştur (Şekil 6.22). Poisson modeli, düzensiz (random) deprem tekrarlanma aralıklarının, oluşacak bir sonraki depremin olma zamanının tahminine herhangi bir etkisinin olmadığını gösterir. Unimodal tekrarlanma dağılımı geçen süre ile beraber bir sonraki depremin olma olasılığı artar, birinci tekrarlanma aralığı değerine ulaşıldığında bu olasılık maksimumdur. Bimodal tekrarlanma dağılımında, birinci tekrarlanma aralığı için

gereken süre dolmuş ve hala bir deprem olmamışsa, deprem olma olasılığı düşer ve bir deprem kümelenmesinden ziyade sismik bir boşluk başlamıştır. Üç tekrarlanma aralığı kadar süre geçtiğinde olasılık çok yüksek değerlere tırmanır.



Şekil 6.21 : Doğrultu atımlı faylar üzerinde fay davranış modelleri (Schwartz ve Coppersmith, 1984'den değiştirilerek). **a)** değişken kayma modeli, **b)** tekdüze kayma modeli, **c)** karakteristik deprem modeli, **d)** Aşmalı model, **e)** çiftli (coupled) model.



Şekil 6.22 : Deprem tekrarlanma aralıklarının geçen süre zarfında deprem meydana gelme olasılığına etkisi (TA: tekrarlanma aralığı) (McCalpin, 1996'dan değiştirilerek).

Tarihsel ve aletsel depremlerin oluş zamanları KAF'ın doğu Marmara bölgesinde bazen birbirini takip eden depremlerle kırıldığını, ancak zaman zaman da birbirinden bağımsız zamanlarda, arada bir zaman boşluğu bırakarak kırıldığını göstermektedir. Doğu Marmara bölgesinde son 1000 yılda deprem tekrarlanma aralığının farklı periyotlarda olduğu görülür. Bu özellik, hem tekil segmentler için, hem de tüm kuzey kol üzerinde yer alan segmentler için aynıdır. Son 2000 yılda kuzey kol üzerinde meydana gelen depremlerin oluşturduğu kümelenmeler arasında 100 yıl ile 500 yıl arasında değişen farklı tekrarlanma aralıkları izlenmektedir.

Hem tarihsel dökümanlardan hem de paleosismolojiden elde edilen bilgiler birarada değerlendirdiğinde KAF'ın Doğu Marmara bölgesinde, farklı tekrarlanma aralığında deprem kümelenmelerine ve herhangi iki kümelenme arasında tekil büyük depremlere sebep olduğu, yani sismik davranışının bimodal olduğu belirlenmiştir.

KAF'ın Doğu Marmara bölgesinde yer alan segmentleri her zaman sismik segment davranışı göstermemiş, farklı zamanlarda farklı segmentler birarada ya da tek başlarına yüzey faylanması geliştirmişlerdir.

Doğu Marmara bölgesinde KAF, Bolu-Erzincan arasına göre daha kompleks bir geometri sunar ve bu kesimde meydana gelen depremlerin birbirleriyle olan etkileşimi çözülmemiş bir sorundur. Bu sorunu çözmek için, bölgede yer alan segmentler üzerinde yeni paleosismolojik verilerin elde edilmesinin yanı sıra; kayma hızı, stres yönleri, stres birikimi, bölgenin sismik özellikleri (sismik dalga hızları, deprem odak merkezleri) gibi diğer parametreleri de içerisinde bulunduran deprem etkileşim modellerinin oluşturulması önemlidir.

KAYNAKLAR

- Abdüsselamoğlu, M. Ş.**, 1959. Almacıkdağı ile Mudurnu ve Göynük civarının jeolojisi. *İstanbul Üniv. Fen Fak. Monografileri*, **14**, 94 s.
- Akartuna, M.**, 1968. Armutlu Yarımadasının Jeolojisi. *İstanbul Üniv. Fen Fak. Monografileri*, **20**, 105 s.
- Akyüz, H. S., Hartleb, R., Barka, A., Altunel, E., Sunal, G., Meyer, B., Armijo, R.**, 2002. Surface rupture and slip distribution of the November 12, 1999 Düzce earthquake (M=7.1), North Anatolian Fault, Bolu – Turkey. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **92**, 1, 61-66.
- Alpar, B., Yaltırak, C.**, 2002. Characteristic features of the North Anatolian Fault in the eastern Marmara region and its tectonic evolution, *Marine Geology*, **190**, 1-2, 329-350.
- Altınlı, İ. E.**, 1968, İzmit-Hereke-Kurucadağ alanının jeoloji incelemesi. *MTA Dergisi*, **71**, 1-28.
- Altınok, Y., Tinti, S., Alpar, B., Yalçiner, A. C., Ersoy, Ş., Bortolucci, E., Armigliato, A.**, 2001. The tsunami of August 17, 1999 in Izmit Bay, Turkey. *Nat. Hazards*, **24**, 2, 133-146.
- Ambraseys, N. N. ve Finkel, C.**, 1995. *The Seismicity of Turkey and adjacent areas. A Historical Review, 1500-1800*. Eren, Istanbul, 240 pp.
- Ambraseys, N. N. ve Finkel, C.F.**, 1991. Long-term seismicity of Istanbul and the Marmara Sea region. *Terra Nova*, **3**, 527-539.
- Ambraseys, N. N. ve Jackson, J. A.**, 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, **133**, 390-406.
- Ambraseys, N. N. ve Jackson, J. A.**, 2000. Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500. *Geophysical Journal International*, **141**, 3, F1-F6.
- Ambraseys, N. N.**, 1970. Some characteristic features of the North Anatolian Fault Zone. *Tectonophysics*, **9**, 143–65.
- Ambraseys, N. N.**, 2001. The earthquake of 1509 in the Sea of Marmara, Turkey, revisited. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **91**, p. 1397–416.
- Ambraseys, N.**, 2005. *Revision of the long-term seismicity of the Greater Marmara Sea Region*. AB projesi (EVG1-CT-2002-00069) gelişme raporu. Kasım 2005, 16s.
- Ambraseys, N.N.**, 1988. Engineering Seismology, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, **17**, 1-105.
- Ambraseys, N.N.**, 2002a. The seismic activity of the Marmara sea region over the last 2000 years. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **92**, p.1-18.

- Ambraseys, N.N., ve Zatopek, A.,** 1969. The Mudurnu valley, west Anatolia, Turkey, earthquake of 22 July 1967. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **59**, 521-589.
- Antonopoulos, J.,** 1980. Data from investigation on seismic sea waves events in the Eastern Mediterranean from 1000 to 1500 A.D. Part 3, *Annali di Geofisica*, **33**, 179-198.
- Armijo, R., Meyer, B., Barka, A., Bernard De Chabali r, J. B., Hubert-Ferrari A.,  akır, Z.,** 2000. The fault breaks of the 1999 earthquakes in Turkey and the tectonic evolution of the Sea of Marmara: a summary. In: *The 1999  zmit and D zce Earthquakes: Preliminary results* (Eds: A. Barka,  . Kozacı, S. Aky z, E. Altunel), ITU Publication, p. 55-62.
- Arpat, E. ve  aro lu, F.,** 1972. Do u Anadolu Fayı ile ilgili bazı g zlem ve d   nceler. *MTA Dergisi*, **78**, 44-50.
- Aydın, M., Serdar, H. S.,  ahint rk,  ., Yazman, M.,  oku ra , R., Demir, O. ve   zelik, Y.,** 1987.  amda  (Sakarya)-S nniceda  (Bolu) y resinin jeolojisi. *TJK B lteni*, **30**, 1-14.
- Barka A.,** 1992. The North Anatolian Fault zone. *Ann. Tecton.*, **6**, 164-95.
- Barka A.,** 1996. Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **86**, 1238-54.
- Barka, A. A., Kozacı,  ., Aky z, H. S., ve Altunel, E.,** ed., 2000. *The 1999  zmit and D zce Earthquakes: Preliminary Results*.  stanbul Teknik  niversitesi, p. 349, ISBN: 975-5611-82-7.
- Barka, A. ve Er, A.,** 2002. *Depremi Bekleyen  ehir  stanbul*. Om Yayınevi,  stanbul, 250 s., ISBN: 975-6530-08-1.
- Barka, A., Aky z, H. S., Sunal, G.,  akır, Z., Dikba , A., Yerli, B., Altunel, E., Armijo, R., Meyer, B., Chabali r, J. B., Rockwell, T., Dolan, J. R., Hartleb, R., Dawson, T., Christofferson, S., Tucker, A., Fumal, T., Langridge, R., Stenner, H., Lettis, W., Bachhuber, J., Page, W.,** 2002. The surface rupture and slip distribution of the August 17, 1999 Izmit earthquake, M=7.4, North Anatolian Fault. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **92**, 1, 43-60.
- Baydur, N.,** 1999. * mparator Iulianus*. Arkeoloji ve Sanat Yayınları,  stanbul, 200 s., ISBN: 975-6899-46-8.
- Bayes, TR,** 1763. An essay towards solving a problem in the doctrine of chances. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, **53**, 370-418
- Bilgin, T.,** 1967. Samanlı Da ları. * st.  niv. Co r. Enst. Yay.*, **50**, 196 s.
- Bilgin, T.,** 1984. Adapazarı Ovası ve Sapanca Olu unun Al vyal Morfolojisi ve Kuaternerdeki Jeomorfolojik Tekam l . * st.  niv. Edeb. Fak. Yay.*, **2572**, 199 s.
- Bohnhoff, M., Grosser, H., Dresen, G.,** 2006. Strain partitioning and stress rotation at the North Anatolian fault zone from aftershock focal mechanisms of

- the 1999 Izmit Mw = 7.4 Earthquake. *Geophy. Journ. Inter.*, **166**, p. 373–385.
- Bonito, M., 1691.** *Terra tremanie, o vero continuatione de'terremoti dalla Creatione del Mondo sino al tempo presente*. Napoli. (anastatic reprint, Sala Bolognese 1980).
- Bosch, C., 1937.** İzmit Şehrinin Muhtasar Tarihi. (çev: Osman Nuri Arıdağ). Devlet Basımevi, İstanbul, 45 s.
- Bozkurt, E., 2001.** Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta*, **14**, p.3- 30.
- Bronk Ramsey, C., 2001.** Development of the radiocarbon calibration program OxCal. *Radiocarbon*, **43**, 2A, 355-363.
- Bronk Ramsey, C., 2007.** Deposition Models for Chronological Records, *Quaternary Science Reviews*, **27**, 1-2, p.42-60.
- Bullen, K. E. ve Bolt, B. A. 1987.** An Introduction to the Theory of Seismology. Cambridge Univ. Press., 499 s.
- Bulut, F., Bohnhoff, M., Aktar, M., Dresen, G., 2007.** Characterization of aftershock-fault plane orientations of the 1999 Izmit (Turkey) earthquake using high-resolution aftershock locations. *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L20306, p.1-4.
- Capelle, W., 1924.** Erdbebenforschung. In: *Paulys Real-Encyclopädie der Classischen Altertumswissenschaft*, Suppl. IV, Stuttgart 1924.
- Clarke, P. J., Davies, R. R., England, P. C., Parsons, B., Billiris, H., Paradissis, D., Veis, G., Cross, P. A., Denys, P. H., Ashkenazi, V., Bingley, R., Kahle, H. G., Muller, M. V., Briole, P., 1998.** Crustal strain in central Greece from repeated GPS measurements in the interval 1989–1997. *Geophysical Journal International*, **135**, 195–214.
- Crampin, S., Evans, R., Üçer, S. B., 1985.** Analysis of local earthquakes: the Turkish Dilatancy Project (TDP1 and TDP2). *Geophys. J.R. Astron. Soc.*, **83**, p.1-16.
- Çakır, Z., Barka, A. A. and Evren, E., 2003b.** Coulomb Stress interactions and the 1999 Marmara Earthquakes. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **12**, 1, p.91-104.
- Çakır, Z., de Chabalier, J. B., Armijo, R., Meyer, B., Barka, A., Peltzer, G., 2003a.** Coseismic and early post-seismic slip associated with the 1999 Izmit earthquake (Turkey), from SAR interferometry and tectonic field observations. *Geophysical Journal International*, **155**, 1, p.93-110.
- Çalık Ross, A., 2007.** *Antik İzmit Nikomedia*. İstanbul Delta yayınları, 144 s, ISBN: 978-9944-362-90-0.
- Çetin, O., Çetin, T. ve Ukav, I., 1995.** İzmit Körfezi (Hersek Burnu - Kaba Burun) Kuvaterner istifinde gözlenen mollusk kavkılarının Elektron Spin Rezonans (ESR) yöntemi ile tarihlendirilmesi. *İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi* (Ed: E. Meriç), 269-276.

- Delouis, B., Giardini, C., Lundgren, P., Salichon, J.,** 2002. Joint inversion of InSAR, GPS, Teleseismic, and Strong-Motion Data for the Spatial and Temporal Distribution of Earthquake slip: Application to the 1999 İzmit Mainshock. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **92**, 1, p. 278–299.
- Delouis, B., Lundgren, P., Salichon, J., Giardini, C.,** 2000. Rupture processes of the Mw = 7.4 İzmit, Turkey Earthquake by Joint Inversion of inSAR and Teleseismic data. In: *The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: Preliminary results* (Eds: A. Barka, Ö. Kozacı, S. Akyüz, E. Altunel), ITU Publication, p. 99-103.
- Demirtaş, R.,** 1996. Paleoseismology of the North Anatolian fault: a case study of the Mudurnu Valley segment, Turkey. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, **33**, 5, 195A–195A(1).
- Dewey, M.,** 1976. Seismicity of Northern Anatolia. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **66**, p.843-868.
- Downey, G.,** 1955. Earthquakes at Constantinople and Vicinity, A.D. 342-1454. *Speculum*, **30**, p.596-600.
- Dück, J.,** 1903-1904. Die Erdbeben von Konstantinopel. *Die Erdbebenwarte*, **4**, 121-39, p.177-96.
- Dybowski, X.,** 1894. Tremlement de terre de Turquie observé a Adapazarı. *La Nature*, **22**, p.289-291.
- Egeran, N. ve Lahn, E.,** 1944. Note sur la carte sismique de la Turquie au 1:2.400.000. *Maden Tetk. Arama Enst. Mecmuası*, **9**, 2/32, p.279–89.
- Elmas, A. ve Yiğitbaş, E.,** 2001. Ophiolite emplacement by strike-slip tectonics between the Pontide Zone and the Sakarya Zone in northwestern Anatolia. *Turkey Int. J. Earth Sci.*, **90**, 257–269.
- Emre, Ö., Awata, Y., Duman, T.Y.,** ed., 2003a. *17 Ağustos 1999 İzmit depremi yüzey kırığı*. MTA Özel Yayın Serisi-1, 280 s.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Toda, S., Okuno, M., Dogan, A., Özalp, S., Tsutsumi, H., Tokay, F., Haraguchi, T., Kondo, H., Sugito, N., Nakamura, T.,** 2001. Paleoseismologic findings on the Düzce Fault: North Anatolian Fault Zone, NW Turkey. *Eos Trans. AGU*, **82**, 47, Fall Meet. Suppl., Abstract S52C-0651.
- Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Keçer, M., Ünay, E.,** 1998. Doğu Marmara bölgesinin Neojen-Kuaternerdeki evrimi. *MTA Dergisi*, **120**, 289–314.
- Emre, Ö., Toda, S., Duman, T. Y., Sugai, T., Dogan, A., Awata, Y., Okuno, M., Tsutsumi, H., Özalp, S., Tokay, F.,** 2003b. Recurrence of the large earthquakes on the 1999 İzmit and Düzce surface ruptures, North Anatolian Fault, Turkey. *Geophys. Res. Abstr.*, **5**, 04635.
- Enginitis, D.,** 1894. Le tremblement de terre de Constantinople du 10 juillet 1894, Géographie Général. *Annales de Géographie*, **4**, p.151-166.

- Erel., T.L., Zabcı, C., Akyüz, H.S., 2007. Nikomedia (İzmit) antik kentinin tarihsel depremleri. *ATAG-11 Çalıştayı, Bildiri Özleri*, s.54, Kasım 2005, TÜBİTAK-MAM, Gebze.
- Erendil, M., Göncüoğlu, M. C., Tekeli, O., Aksay, A., Kuşçu, İ., Ürgün, B. M., Tunay, G., ve Temren, A., 1991. Armutlu yarımadasının jeolojisi: Ankara. *MTA Gen. Müd.*, Rapor no: 9165 (yayımlanmamış).
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z., 1967. Türkiye ve civarının deprem kataloğu (Milattan Sonra 11 yılından 1964 sonuna kadar). *İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fak., Yer Fiziği Ens.*, Teknik Rapor No: 24.
- Ergin, K., Güçlü, U., ve Aksoy, G., 1971. Türkiye ve Dolaylarının Deprem Kataloğu (1965-1970). İTÜ Maden Fakültesi Ofset Matbaası, İstanbul, 91 s.
- Ergin, M., Özalaybey, S., Aktar, M. T., Tapırdamaz, C., Yörük, A. and Biçmen, F., 2000. Aftershock Analysis of the August 17, 1999 İzmit, Turkey Earthquake. In: *The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: Preliminary results* (Eds: A. Barka, Ö. Kozacı, S. Akyüz, E. Altunel), ITU Publication, p. 171-178.
- Erinç, S., 1949. Sapanca Gölünün Derinlik Haritası ve Morfometrisi. *Türk Coğr. Derg.*, **11-12**, 139-140 s.
- Evangelatou-Notara, F., 1993. Earthquakes in Byzantium from the 13th to the 15th century; historical examination. *Parousia*, **24**, p. 179., Athens (yunanca)
- Evans, R., Asudeh, I., Crampin, S., Üçer, S. B., 1985. Tectonics of the Marmara sea region of Turkey: new evidence from micro-earthquake fault plane solution. *Geophys. J.R. Astron. Soc.*, **83**, p. 47-60.
- Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z., Değirmenci, E., 1991. Türkiye büyük depremleri makrosismik rehberi (1900-1988). İTÜ Maden Fak. Jeofizik Mühendisliği Bölümü Yayını, İstanbul, 198 s.
- Eyidoğan, H., Hassler, H., Polat, O., Cisternas, A., Gürbüz, C. Frogneux, M., Aktar, M., Üçer, B., Bouchon, M., Comte, D., Philip, H., Kaypak, B., Ergin, M., Karabulut, H., Akıncı, A., Kuleli, S., Yörük, A., 2000. August 17, 1999, Kocaeli (İzmit) Earthquake: before, during and after. In: *The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: Preliminary results* (Eds: A. Barka, Ö. Kozacı, S. Akyüz, E. Altunel), ITU Publication, p. 161-169.
- Ferry, M., Meghraoui, M., Girard, J. F., Rockwell, T. K., Kozacı, O., Akyüz, S., Barka, A., 2004. Ground-penetrating radar investigations along the North Anatolian fault near İzmit, Turkey: Constraints on the right-lateral movement and slip history. *Geology*, **32**, 1, 85-88.
- Figliuolo, B., 2002. Il fenomeno sismico nel bacino del Mediterraneo in eta rinascimentale. *Studi Storici*, **43**, 4, 881-919.
- Galanopoulos, A. G., 1955. Seismic Geography of Greece. *Annales Geologiques des Pays Helleniques*, **6**, 83-121. (yunanca)

- Greber, E.**, 1996. Stratigraphic evolution and tectonics in an area of high seismicity: Akyazı/Adapazarı (Pontides, Northwestern Turkey). *Turk. Jour. Earth Sci.*, **5**, 63–79.
- Greber, E.**, 1997. Stratigraphic evolution and tectonics in an area of high seismicity: Akyazı/Adapazarı (Pontides, Northwestern Turkey). *Schindler & Pfister*, p. 141–60.
- Grumel, V.**, 1958. *Traité d'études byzantines 1. La chronologie*, Paris.
- Guidoboni, E. ve Comastri, A.**, 2005. *Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 1037 p., ISBN:88-85213-10-3.
- Guidoboni, E., Comastri, A., Fanelli, G., Bianchi, M., Tarabusi, G.**, 2004. *Collection, analyses and elaborations of historical records about earthquake effects in the North-Anatolian Fault between the Gulf of Saros and Bolu from the 5th century B.C. to the 15th century A.D.* AB projesi (EVG1-CT-2002-00069) raporu, 136 s.
- Guidoboni, E., Comastri, A., Triana, G.**, 1994. *Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 504 s., ISBN:88-85213-06-5.
- Hartleb, R. D., Dolan, J. F., Akyüz, H. S., Dawson, T. E., Tucker, A. Z., Yerli, B., Rockwell, T. K., Toraman, E., Cakir, Z., Dikbas, A., Altunel, E.**, 2002. Surface rupture and slip distribution along the Karadere segment of the 17 August 1999 İzmit and the western section of the 12 November 1999 Düzce, Turkey, earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **92**, 1, 67-78.
- Herece, A., ve Akay, E.**, 2003. *Kuzey Anadolu Fay (KAF) Atlası/Atlas of North Anatolian Fault (NAF)*. MTA Özel Yayın Serisi-1, 61 s.
- Hitchcock, C., Altunel, E., Barka, A., Bachhuber, J., Lettis, W., Kozacı, Ö., Helms, J. and Lindvall, S.**, 2003. Timing of Late Holocene earthquakes on the eastern Düzce fault and implications for slip transfer between the southern and northern strands of the North Anatolian Fault system, Bolu, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **12**, 119-136.
- Horasan, G., Pınar, A., Kalafat, D., Özel, N., Işıkara, A. M., Gülen, L.**, 2000. Modeling of August 17, 1999 İzmit Earthquake (Turkey). In: *The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: Preliminary results* (Eds: A. Barka, Ö. Kozacı, S. Akyüz, E. Altunel), ITU Publication, p. 131-136.
- Hubert-Ferrari, A., Armijo, R., King, G., Meyer, B., ve Barka, A.A.**, 2002. Morphology, displacement, and slip rates along the North Anatolian Fault, Turkey. *Journal of Geophysical Research*, **107**, B10, 2235, doi:10.1029/2001JB000393.
- Iio, Y., Gürbüz, C., Nishigami, K., Pınar, A., Aybey, N., Üçer, S. B., Honkura, Y., ve Işıkara, A. M.**, 1991. Microseismic activity around the western extension of the 1967 Mudurnu Earthquake Fault. *Tectonophysics*, **193**, 327-334.

- Iio, Y., Horiuchi, S., Barış, Ş., Çelik, C., Kyomen, J., Üçer, B., Honkura, Y., Işıkara A. M.,** 2002. Aftershock distribution in the eastern part of the aftershock region of the 1999 İzmit, Turkey, Earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **92**, 1, p. 411–417.
- Ikeda, Y., Suzuki, Y., Herece, E., Saroglu, F., Isikara, A. M., ve Honkura, Y.,** 1991. Geological evidence for the last two faulting events on the North Anatolian fault zone in the Mudurnu Valley, western Turkey. *Tectonophysics*, **193**, 335-345.
- ISC,** 2001. International Seismological Centre. On-line Bulletin, <http://www.isc.ac.uk/Bull>, International Seismological Centre, Thatcham, United Kingdom.
- İnandık, H.,** 1952-1953. Adapazarı Ovası ve Çevresinin Jeomorfolojik Etüdü. *İst. Üniv. Coğr. Ens. Derg.*, **2**, 3/4, 107-138.
- İstanbul İl Yıllığı,** 1967. Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 628 s.
- Jackson, J. ve McKenzie, D. P.,** 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, **77**, 185-264.
- Janin, R.,** 1969. *La geographie ecclésiastique de Empire Byzantine-I. Le siege de Constantinople et le Patriareat Oecumenique, III.* Les eglises et les monasteres, Paris.
- Kalafatçioğlu, A.,** 1967. 22 Temmuz Sakarya Depremine Ait Rapor. MTA yayını, Ankara, 9 s.
- Karabulut, H., Bouin, M. P., Bouchon, M., Dietrich, M., Cornou, C., Aktar, M.** 2002. The Seismicity of Eastern Marmara Sea after the 17 August 1999 İzmit Earthquake. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **92**, 1, 387-393.
- Karagöz, Ş.,** 2005. *Eskiçağ'da Depremler.* Türk Eskiçağ Bilimleri Yayınları, 84 s., ISBN: 975-807-117-3.
- Ketin, İ. ve Rösli, F.,** 1953. Makroseismische Untersuchungen über das nordwest-anatolische Beben vom 18 März 1953. *Eclogae Geol. Helv.*, **46**, 187–208.
- Ketin, İ.,** 1948. Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anatolischen Erdbeben des letzten Dezenniums. *Geol. Rund.*, **36**, 77–83.
- Ketin, İ.,** 1969. Kuzey Anadolu Fayı Hakkında. *MTA Dergisi*, **72**, 1-27.
- King, G. C. P., Hubert-Ferrari, A., Nalbant, S. S., Meyer, B., Armijo, R., Bowman, D.,** 2001. Coulomb interactions and the 17 August 1999 İzmit, Turkey earthquake. *Comp. Ren. Acad. Sci, II A*, **333**, 9, 557-569.
- Klinger, Y., Sieh, K., Altunel, E., Akoglu, A., Barka, A., Dawson, T., Gonzalez, T., Meltzner, A., Rockwell, T.,** 2003. Paleoseismic evidence of characteristic slip on the western segment of the North Anatolian fault, Turkey. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **93**, 6, 2317-2332.
- Koçyiğit, A.,** 1988. Tectonic setting of the Geyve Basin: Age and total displacement of the Geyve Fault Zone. *METU Journ. Pure Appl. Sci.*, **21**, 81–104.

- Kondo, H., Awata, Y., Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F., Yıldırım, C., Yoshioka, T., Okumura, K., 2005. Slip Distribution, Fault Geometry, and Fault Segmentation of the 1944 Bolu-Gerede Earthquake Rupture, North Anatolian Fault, Turkey. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **95**, 4, 1234–1249.
- Kondorskaya, N. V. ve Ulomov, V. I., 1999. Special catalogue of earthquakes of the Northern Eurasia (SECNE). URL: <http://socrates.wdcb.ru/scetac/>; <http://www.seismo.ethz.ch/gshap/neurasia/nordasiacat.txt>
- Kuşçu, İ., Okamura, M., Matsuoka, H., Awata, Y., 2002. Active faults in the Gulf of Izmit on the North Anatolian Fault, NW Turkey: a high-resolution shallow seismic study. *Mar. Geol.*, **190**, 1-2, 421-443.
- Lahn, E., 1948. Türkiye Gölleri Jeolojisi ve Jeomorfolojisi Hakkında bir Etüt. *M.T.A. Yay.*, **12**, B., 56-62.
- Langridge, R. M., Stenner, H. D., Fumal, T. E., Christofferson, S. A., Rockwell, T. K., Hartleb, R. D., Bachhuber, J., Barka, A. A., 2002. Geometry, slip distribution and kinematics of the surface rupture on the Sakarya fault segment during the 17 August 1999 İzmit, Turkey, Earthquake. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **92**, 1, 107-125.
- Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Rangin, C., Şengör, A. M. C., 2003. The North Anatolian fault in the Sea of Marmara. *Journ. Geophys. Res-Sol Earth*, **108**, B4, 2179.
- Le Pichon, X., Şengör, A. M. C., Demirbağ, E., Rangin, C., İmren, C., Armijo, R., Görür, N., Çağatay, N., de Lepinay, B. M., Meyer, B., Saatçılar, R., Tok, B., 2001. The active Main Marmara Fault. *Earth Planet Sc. Lett.*, **192**, 4, 595-616.
- Lettis, W., Bachhuber, J., Barka, A., Witter, R., Brankman, C., 2000. Surface fault rupture and segmentation during the Kocaeli earthquake. In: *The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: Preliminary results* (Eds: A. Barka, Ö. Kozacı, S. Akyüz, E. Altunel), ITU Publication, p. 31-54.
- Lettis, W., Bachhuber, J., Witter, R., Brankman, C., Randolph, C.E., Barka, A., Page, W.D., Kaya, A., 2002. Influence of releasing step-overs on surface fault rupture and fault segmentation: examples from the 17 August 1999 İzmit earthquake on the North Anatolian Fault, Turkey. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **92**, 1, 19-42.
- Mallet, R., 1853. Third report on the facts of earthquake phaenomena. British Association for the Advancement of Science, London, p.1-176.
- Mango, C., 1962. Materials for the Study of the Mosaics of St.Sophia at Istanbul. *Dumbarton Oaks Studies*, **8**, Washington.
- Mc Calpin, J.P., ed., 1996. *Paleoseismology*. Academic Press, London, 583 p.
- McCail, R. C., 1967. The earthquake of A.D. 551 and the birth-date of Agathias. *Greek, Roman and Byzantines Studies*, **8**, 241-50.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Kurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y.,

- Prilepin, M., Reilinger, R., Sanlı, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M. N. ve Veis, G., 2000.** Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, **105**, B3, 5695-5719.
- McKenzie, D. P., 1972.** Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **30**, 109-185.
- Meade, B. J., Hager, B. H., McClusky, S. C., Reilinger, R. E., Ergintav, S., Lenk, O., Barka, A., Özener, H., 2002.** Estimates of seismic potential in the Marmara Sea region from block models of secular deformation constrained by Global Positioning System measurements. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **92**, 208-15.
- Muller-Wiener, W., 1977.** *Bildlexikon zur Topographie Istanbul: Byzantion, Konstantinupolis-Istanbul bis zum Beginn des 17. Jahrhunderts*. Tübingen, 534s, ISBN: 3803010225.
- Okay, A. I., 2008.** Geology of Turkey: A synopsis. *Anschnitt*, **21**, 19-42.
- Okay, A. I., Kaşlılar, A., İmren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbağ, E., Kuşçu, İ., 2000.** Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study. *Tectonophysics*, **321**, 189-218.
- Okay, A. ve Tüysüz, O., 1999.** Tethyan sutures of northern Turkey. In: *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*, Geol. Soc. London, Spec. Publ. (ed. B Durand, L Jolivet, F Horv'ath, M S'erranne), **156**, 475-515
- Öcal, N., 1959.** 26 Mayıs 1957 Abant Zelzelesi. *İstanbul Kandilli Rasathanesi Sismoloji Yayınları*, **4**, 69.
- Özalaybey, S., Ergin, M., Aktar, M., Tapırdamaz, C., Biçmen, F., A. Yörük, 2002.** The 1999 İzmit Earthquake Sequence in Turkey: Seismological and Tectonic Aspects. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **92**, 1, 376-386.
- Özçiçek, B., 1964.** 18 Eylül 1963 Doğu Marmara zelzelesinin etüdü. YBYK UYGAR Merkezi Sismoloji ve Sismotektonik Alt Birimi Arşivi (yayınlanmamış rapor).
- Özel, N., Kalafat, D., Pınar, A., Horasan, G., Yilmazer, M., Işıkkara, A. M., Cranswick, E., Gülen, L., 2000.** Aftershock distribution of the August 17, 1999 İzmit (Kocaeli) Earthquake (Mw = 7.4) determined by MARNET in Marmara region, Turkey. In: *The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: Preliminary results* (Eds: A. Barka, Ö. Kozacı, S. Akyüz, E. Altunel), ITU Publication, p. 201-207.
- Özmen, B., 2000.** 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle). Türkiye Deprem Vakfı, 132s, İstanbul.
- Öztin, F., 1994.** 10 Temmuz 1894 İstanbul Depremi Raporu. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, 292 s.
- Öztüre, A., 1969.** *Nicomedia İzmit Tarihi*. İstanbul, 226s.

- Palyvos, N., Pantosti, D., Zabcı, C., Addezio, G.,** 2007. Late Holocene earthquakes at the Mudurnu valley, 1967 earthquake segment of the North Anatolian Fault Zone, recorded in river channel deposits. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **97**, 1646-1661.
- Pamir, H., Baykal, F., Ketin. İ.,** 1943. *Adapazarı-Hendek Depremi (20.06.1943) hakkında jeolojik rapor*. Deprem Araştırma Enstitüsü, Ankara. (Yayımlanmamış rapor)
- Pamukciyan, K.,** 2002. *İstanbul Yazıları: Ermeni Kaynaklarından Tarihe Katkılar I*. Aras yayıncılık, İstanbul, 249 s., ISBN: 975-7265-50-0.
- Pantosti, D., Pucci, S., Palyvos, N., De Martini, P. M., D'Addezio, G., Collins, P. E. F. ve Zabcı, C.,** 2008. Paleoearthquakes of the Düzce fault (North Anatolian Fault Zone): Insights for large surface faulting earthquake recurrence, *J. Geophys. Res.*, **113**, B01309.
- Papazachos, B., Papaioannou, C., Papazachos, C., Savvaidis, A.,** 1997. *Atlas of isoseismal maps for strong shallow earthquakes in Greece and surrounding area (426 B.C.-1995)*. Technical Report, University of Thessaloniki, Geophysical Laboratory, Publication 4, Thessaloniki, 13 pp., 176 maps.
- Papazachos, B.C. ve Papazachou, C.B.,** 1997. *The Earthquakes of Greece*. Ziti Publications, Thessaloniki, Greece, 304 s.
- Parsons, T., Shinji, T., Stein, R. S., Barka, A., Dieterich, J. A.,** 2000. Heightened odds of large earthquakes near İstanbul: an interaction-based probability calculation. *Science*, **228**, p. 661-665.
- Pavlides, S. B., Chatzipetros, A., Tutkun, Z. S, Özaksoy, V., Doğan, B.,** 2006. Evidence for late Holocene activity along the seismogenic fault of the 1999 Izmit earthquake, NW Turkey. *Geological Society London, Special Publications*, **260**, 635-647.
- Penck, W.,** 1918. *Die tektonischen Grundzüge Westkleinasiens*. 120 p., Stuttgart.
- Perrey, A.,** 1850. Memoire sur les tremblements de terre ressentis dans la Peninsule Turco-Hellenique et en Syrie. *Memoire de l'Academie de Belgique*, **23**, 1-20.
- Pfannenstiel, M.,** 1944. Diluviale Geologie des Mittelmeergebietes: die diluvialen Entwicklungstadien und die Urgeschichte von Dardanellen, Marmara Meer und Bosphorus. *Geol. Rund.*, **34**, 342-334.
- Pınar, A., Kalafat, D., Horasan, G., Özel, N., Yilmazer, M., Işıkara, A. M.,** 2000. Rupture process of the August 17, 1999 İzmit (Kocaeli) Earthquake. In: *The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: Preliminary results* (Eds: A. Barka, Ö. Kozacı, S. Akyüz, E. Altunel), ITU Publication, p. 71-78.
- Pınar, N., ve Lahn, E.,** 1952. *Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu*. TC Bayındırlık Bakanlığı Yapı ve İmar İşleri Reisliği Yayınları, Ankara, 153 s.
- Poirier, J. P. ve Taher, M. A.,** 1980. Historical Seismicity in the Near and Middle East, North Africa, and Spain from arabic documents (VIIth-XVIIIth century). *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **70**, 2185-20L

- Pucci, S., De Martini, P. M., Pantosti, D.,** 2008. Preliminary slip rate estimates for the Düzce segment of the North Anatolian Fault Zone from offset geomorphic markers. *Geomorphology*, **97**, 538-554.
- Reid, H.F.,** 1910. The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906. *Report of the State Investigation Commission*, Vol.2, 192 p., Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S. V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G.,** 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia, Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journ. Geophys. Res.*, **111**, doi:10.1029/2005JB004051.
- Reilinger, R.E., Ergintav, S., Burgmann, R., McClusky, S., Lenk, O., Barka, A., Gurkan, O., Hearn, L., Feigl, K. L., Cakmak, R., Aktuğ, B., Ozener, H., Toksöz, M. N.,** 2000. Coseismic and postseismic fault slip for the 17 August 1999, M=7.5, Izmit, Turkey earthquake. *Science*, **289**, 5484, 1519-1524.
- Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Bertrand, C. J. H., Blackwell, P. G., Buck, C. E., Burr, G. S., Cutler, K. B., Damon, P. E., Edwards, R. L., Fairbanks, R. G., Friedrich, M., Ramsey, C. B., Reimer, R. W., Remmele, S., Southon, J. R., Stuvier, M., Talamo, S., Taylor, F. W., van der Plicht, J. ve Weyhenmeyer, C. E.,** 2004. IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, **46**, 3, 1029-1058.
- Reiter, L.,** 1995. Paleoseismology, A user perspective. In: Perspectives in paleoseismology (eds: L. Serva, D.B. Slemmons). *Assoc. Eng. Geol. Spec. Publ.*, **3**, 3-6.
- Risch, C,** 1909. Der Sabandjasoe und seine Umgebung. *Pettermanns Mitteilungen*, **55**, 10-17.
- Rockwell, T. K., Lindvall, S., Dawson, T., Langridge, R., Lettis, W. ve Klinger, Y.,** 2002. Lateral Offsets on Surveyed Cultural Features Resulting from the 1999 İzmit and Düzce Earthquakes, Turkey. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **92**, 1, 79-94.
- Sakin, O.,** 2002. *Tarihsel Kaynaklarıyla İstanbul Depremleri*. Kitabevi yayınları, 170 s., İstanbul, ISBN No: 975-7321-66-4.
- Sathas, K.N.,** 1867. *Medieval Seismologhion of Greece and mainly of Cephalonia and Leukeda*. Aeon, 213-248, (yunanca).
- Scholz, C. H.,** 1990. *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge University Press, New York.
- Schwartz, D. P. ve Coppersmith, K. J.,** 1984. Fault Behavior and Characteristic Earthquakes: Examples From the Wasatch and San Andreas Fault Zones. *Journ. Geophys. Res.*, **89**, B7, 5681-5698.

- Seeber, L., Armbruster, J. G., Özer, N., Aktar, M., Barış, Ş., Okaya, D., BenZion, Y., Field, N., 2000. The 1999 earthquake sequence along the North Anatolian transform at the juncture between the two main ruptures. In: *The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: Preliminary results* (Eds: A. Barka, Ö. Kozacı, S. Akyüz, E. Altunel), ITU Publication, p. 209-223.
- Seymen, İ. ve Aydın, A., 1972. Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkisi. *MTA Dergisi*, **79**, 1-8.
- Shebalin, N. V. ve Tatevossian, R. E., 1997. Catalogue of Large Historical Earthquakes of the Caucasus In: *Giardini D. and Balassian S. (eds), Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus, NATO ASI Series Partnership Sub-series 2, Environment*, Vol. 28. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 201-232.
- Shimazaki, K., ve Nakata T., 1980. Time-Predictable Recurrence Model for Large Earthquakes. *Geophys. Res. Lett.*, **7**, 4, 279-282.
- Sieberg, A., 1932. Erdbebengeographie, in Gutenberg's B. *Handbuch der Geophysik*, 804-809, Berlin.
- Solonenko, V. P., 1973. Paleoseismogeology. *Izv. AS USSR, Phys. Solid Earth*, **9**, 3-16 (in Russian) .
- Soloviev, S.L., Solovieva, O. N., Go, C., N., Kim, K.S., Shchetnikov N. A., 2000. *Tsunamis in the Mediterranean Sea 2000 B.C. - 2000 A.D.* (Advances in Natural and Technological Hazards Research, 13), Dordrecht-Boston-London.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y., 1981. *Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu*. TÜBİTAK Proje No: TBAG 341, İstanbul.
- Stein, R. S., Barka, A. A., Dieterich, J. H., 1997. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. *Geophys. Journ. Int.*, **128**, 594-604.
- Strabon, *Geographika, Antik Anadolu Coğrafyası (Kitap: XII-XIII-XIV)*. Arkeoloji ve Sanat Yayınları, 2005, İstanbul, 384 s, ISBN: 975-7538-20-5.
- Sugai, T., Awata, Y., Toda, S., Emre, Ö., Dogan, A., Özalp, S., Haraguchi, T., Kinoshita, H., Takada, K. ve Yamaguchi, M., 2001. *Paleoseismic investigation of the 1999 Düzce earthquake fault at Lake Efteni, North Anatolian fault system, Turkey*. Annu. Rep. Active Fault Paleoequake Res. 1, Active Fault Res. Cent., Tsukuba, Japan.
- Sylvester, A.G., 1988, Strike slip faults. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **100**, 1666-1703.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, **75**, 181-241.
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X. and Rangin, C., 2005. The North Anatolian Fault: A New Look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **33**, 37-112.
- Tan, O., Tapırdamaz, C., Yörük, A., 2008. The Earthquake Catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **17**, 405-418.

- Taymaz, T., Jackson, J., McKenzie, D. P.,** 1991. Active tectonics of the North and Central Aegean Sea. *Geophy. Journ. Inter.*, **106**, 433–490.
- Tibi, R., Bock, G., Xia, Y., Baumbach, M., Grosser, H., Milkereit, C., Karakisa, S., Zünbül, S., Kind, R., Zschau, J.,** 2001. Rupture processes of the 1999 August 17 Izmit and November 12 Düzce (Turkey) earthquakes, *Geophy. Journ. Inter.*, **144**, 2, F1-F7.
- Toinet, P.,**1982. *Les messagers boiteux*. Slatkine, Cenevre.
- Toker, V. ve Şengüler, L,** 1995. İzmit Körfezi (Hersek Burnu-Kaba Burun) Kuvaterner isfinin nannoplankton florası. *İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi* (Ed: E.Meriç), 173-178.
- Toksöz, M.N.,** ed., 2002. Dedicated issue: Izmit, Turkey, Earthquake of 17 August 1999. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **92**, 1.
- Tüysüz, O., Aksay, A., Yiğitbaş, E.,** 2004. *Batı Karadeniz bölgesi litostratigrafi birimleri*. Stratigrafi Komitesi, Litostratigrafi Birimleri Serisi-1, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 92 s.
- Umar, B.,** 2004, *Bithynia*. İstanbul, İnkılap Kitapevi, 301 s.
- Url-1** <<http://tr.wikipedia.org/wiki/GPR>>, alındığı tarih 14. 06. 2008.
- Url-2** <http://www.timeoutistanbul.com/s223/muzeler/yenikapinin_eski_yuzu>, alındığı tarih 12. 07. 2008.
- Uz, Z.,** 1969. Depremin Replikleri, 22 Temmuz 1967 Adapazarı-Mudurnusuyu Vadisi Depremi Üzerine İncelemeler. *İTÜ Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları*, **27**, 28-55.
- Ünay, E., Emre, Ö., Erkal, T., Keçer, M.,** 2001. The Rodent fauna from the Adapazarı pull-apart basin (NW Anatolia): its bearing on the age of the North Anatolian Fault. *Geodinamica Acta*, **14**, 169–75.
- Van den Yen, P.,** 1962-70. *La vie ancienne de S. Symeori Stylite le Jeune (521-592)*. 1. Introduction au texte grec. 11. Traduction et commentaire, Brussels.
- Von Hoff, K. E. A.,** 1840. Chronik der Erdbeben und Vulcanausbrüche, erster Theil vom Jahre 3460 vor, his 1759 unserer Zeitrechnung. *In Geschichte der durch Überlieferung nachgewiesenen natürlichen Veranderungen der Erdoberfläche*. Theil 4, Gotha.
- Wallace, R. E.,** 1986. *Active Tectonics*. National Academy Press, Washington.
- Wallace, R.E.,** 1981. Active faults, paleoseismology and earthquake hazards in the western United States. In: *Earthquake Prediction: An International Review* (ed: Simpson, D.W. and Richards, T.G.). *Maurice Ewing Ser.* 4, American Geophysical Union, Washington D.C., p. 209–216.
- Wells, D. L. ve Coppersmith, K. J.,** 1994, New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **84**, 974-1002.
- Wirth, P.,** 1966. Zur ‘byzantinischen’ Erdbebenliste. *Byzantinische Forschungen*, **1**, 393-399.
- Woith, H., Zschau, J., Yılmaz, R., Karakisa, S., Zünbül, S., Baumbach, M., Grosser, H., Milkereit, C., Lang, D. H., Rashke, M., Schwarz, J.,**

- Welle, W., Michel, G. W., Xia, J., Kauffman, H., Reigber, C., Ünlü, F., Pekdeğer, A., 2000. Multidisciplinary investigations of the German Task Force for Earthquakes related to the İzmit earthquake of August 17, 1999 and the Düzce earthquake of November 12, 1999. In: *The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: Preliminary results* (Eds: A. Barka, Ö. Kozacı, S. Akyüz, E. Altunel), ITU Publication, p. 233-245.
- Wright, T., Fielding, E. J., Parsons, B. E., England, P., Haynes, M., 2000. Source Parameters of the 17 August 1999 İzmit Earthquake From SAR Interferometry. In: *The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: Preliminary results* (Eds: A. Barka, Ö. Kozacı, S. Akyüz, E. Altunel), ITU Publication, p. 289-293.
- Wulzinger, K., 1932. Die Apostelkirche und die Mehmedije zu Konstantinopel. *Byzantion*, 7, 7-39.
- Yılmaz Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş. C., Şengör, A. M. C., 1997. Geology and tectonic evolution of the Pontides. In: *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region* (ed. AG Robinson), *Am. Assoc. Pet. Geol. Mem.*, 68, 183-266.
- Yılmaz, Y. ve Tüysüz, O., 1984. *Kastamonu-Boyabat-Vezirköprü-Tosya arasındaki bölgenin jeolojisi (İlgaz-Kargı masiflerinin etüdü)*. MTA Rap. No: 7838 (yayımlanmamış), Ankara.
- Yılmaz, Y., Gözübol, A. M., ve Tüysüz, O., 1982. Geology of an area in and around the Northern Anatolian transform fault zone between Bolu and Akyazı. In: *Multidisciplinary approach to earthquake prediction* (eds. Işıkara, A. M., and Vogel, A.), Wiesbaden, Federal Republic of Germany, F. Vieweg, p. 45-65.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Gözübol, A. M., ve Yiğitbaş, E., 1981. Abant (Bolu) - Dokurcun (Sakarya) arasında Kuzey Anadolu Fay Zonunun kuzey ve güneyinde kalan tektonik birliklerin jeolojik evrimi. *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, 2, 239-261.
- Yiğitbaş, E., Elmas, A. and Yılmaz, Y., 1999. Pre-Cenozoic tectono-stratigraphic components of the western Pontides and their geological evolution. *Geol. Journ.*, 34, 55-74.
- Yiğitbaş, E., Elmas, A., Sefunç, A., Özer, N., 2004. Major neotectonic features of the North Anatolian Fault Zone: The development of the Adapazarı – Karasu corridor and its significance. *Geological Journal*, 39, 179-198.
- Yiğitbaş, E., Yılmaz, Y., Şengör, A. M. C., 1995. Transcurrent plate boundary along the Rhodop-Pontide fragment: Northwestern Turkey. *TERRA Abstracts*, 7, 9-13 April 1995, EUG 8, Strasbourg, p.176.
- Yourcenar, M., 1992. *Hadrianus'un Anıları*. Adam yayınları, (Çev.: Nili Bilkur), İstanbul, 277 s., ISBN: 975-418-133-0.
- Zachariadou, E., (ed.), 2001. *Osmanlı İmparatorluğu'nda Doğal Afetler*. (Çev.: Gül Çağalı Güven), Tarih Vakfı Yurt Yayınları, İstanbul, 313 s., ISBN: 975-3331-50-9.

EKLER

EK A.1 : Tez çalışmasında kullanılan C14 örneklerinin laboratuvar ve kalibre edilmiş sonuçları.

EK B.1 : Karadere Segmenti Yakın Civarının Jeoloji Haritası.

EK A.1**Çizelge A.1 : Tez çalışmasında kullanılan C14 örneklerinin laboratuvar ve kalibre edilmiş sonuçları.**

Numune no	BP	68.2% olasılık (1 σ aralığı)	95.4% olasılık (2 σ aralığı)
ACSP B-2	668 $\pm$ 23	1284 M.S. (39.2%) 1301 M.S. 1368 M.S. (29.0%) 1382 M.S.	1277 M.S. (52.7%) 1315 M.S. 1355 M.S. (42.7%) 1389 M.S.
ACSP B-5	1874 $\pm$ 25	79 M.S. (53.8%) 140 M.S. 155 M.S. (6.8%) 169 M.S. 195 M.S. (7.6%) 209 M.S.	74 M.S. (95.4%) 219 M.S.
NK-1 D-2	177 $\pm$ 23	1668 M.S. (12.9%) 1682 M.S. 1736 M.S. (38.4%) 1782 M.S. 1798 M.S. (5.0%) 1804 M.S. 1936 M.S. (11.8%) 1950 M.S.	1662 M.S. (18.6%) 1692 M.S. 1728 M.S. (56.9%) 1811 M.S. 1922 M.S. (19.9%) 1954 M.S.
NK-3 B-15	1006 $\pm$ 34	988 M.S. (64.9%) 1040 M.S. 1110 M.S. (3.3%) 1116 M.S.	972 M.S. (72.1%) 1054 M.S. 1080 M.S. (23.3%) 1154 M.S.
NK-3 B-21	146 $\pm$ 24	1678 M.S. (10.7%) 1695 M.S. 1727 M.S. (24.9%) 1766 M.S. 1772 M.S. (2.3%) 1777 M.S. 1800 M.S. (8.6%) 1813 M.S. 1839 M.S. (1.4%) 1842 M.S. 1854 M.S. (5.6%) 1867 M.S. 1918 M.S. (14.7%) 1940 M.S.	1668 M.S. (16.1%) 1707 M.S. 1719 M.S. (31.5%) 1782 M.S. 1797 M.S. (11.7%) 1826 M.S. 1832 M.S. (19.2%) 1885 M.S. 1913 M.S. (16.9%) 1947 M.S.
NK-3 B-23	1011 $\pm$ 55	974 M.S. (48.2%) 1048 M.S. 1087 M.S. (15.2%) 1123 M.S. 1138 M.S. (4.8%) 1150 M.S.	895 M.S. (6.3%) 925 M.S. 937 M.S. (89.1%) 1160 M.S.
NK-4 G-21	689 $\pm$ 46	1271 M.S. (44.8%) 1307 M.S. 1363 M.S. (23.4%) 1386 M.S.	1252 M.S. (59.8%) 1330 M.S. 1339 M.S. (35.6%) 1397 M.S.

Çizelge A.1(devam): Tez çalışmasında kullanılan C14 örneklerinin laboratuvar ve kalibre edilmiş sonuçları.

SAK SE-4	1108±34	895 M.S. (28.0%) 926 M.S. 936 M.S. (40.2%) 980 M.S.	870 M.S. (95.4%) 1018 M.S.
SAK SW-9	14220±100	15285 M.Ö. (68.2%) 14787 M.Ö.	15526 M.Ö. (95.4%) 14558 M.Ö.
Ekin B-14a	249±24	1643 M.S. (56.5%) 1665 M.S. 1785 M.S. (11.7%) 1793 M.S.	1527 M.S. (5.4%) 1553 M.S. 1633 M.S. (65.7%) 1670 M.S. 1780 M.S. (21.3%) 1800 M.S. 1944 M.S. (2.9%) 1954 M.S.
Ekin B-21	999±20	998 M.S. (5.2%) 1004 M.S. 1013 M.S. (63.0%) 1036 M.S.	989 M.S. (85.3%) 1045 M.S. 1095 M.S. (8.3%) 1120 M.S. 1141 M.S. (1.8%) 1148 M.S.
Ekin B-6	966±29	1023 M.S. (26.7%) 1047 M.S. 1089 M.S. (31.8%) 1122 M.S. 1139 M.S. (9.7%) 1150 M.S.	1018 M.S. (95.4%) 1155 M.S.
Ekin D-11b	310±35	1520 M.S. (51.7%) 1593 M.S. 1619 M.S. (16.5%) 1643 M.S.	1480 M.S. (95.4%) 1651 M.S.
KDR B-3	585±33	1315 M.S. (48.6%) 1356 M.S. 1389 M.S. (19.6%) 1406 M.S.	1298 M.S. (65.6%) 1370 M.S. 1380 M.S. (29.8%) 1416 M.S.
KDR B-7	856±34	1155 M.S. (68.2%) 1225 M.S.	1048 M.S. (11.0%) 1087 M.S. 1122 M.S. (3.3%) 1139 M.S. 1150 M.S. (81.0%) 1261 M.S.
KDR B-10	1333±34	652 M.S. (57.7%) 691 M.S. 750 M.S. (10.5%) 763 M.S.	645 M.S. (76.4%) 724 M.S. 739 M.S. (19.0%) 771 M.S.
KZM D-2	1555±36	434 M.S. (42.8%) 494 M.S. 506 M.S. (25.4%) 548 M.S.	420 M.S. (95.4%) 584 M.S.
KZM D-5	1731±37	253 M.S. (64.5%) 347 M.S. 371 M.S. (3.7%) 377 M.S.	231 M.S. (95.4%) 407 M.S.

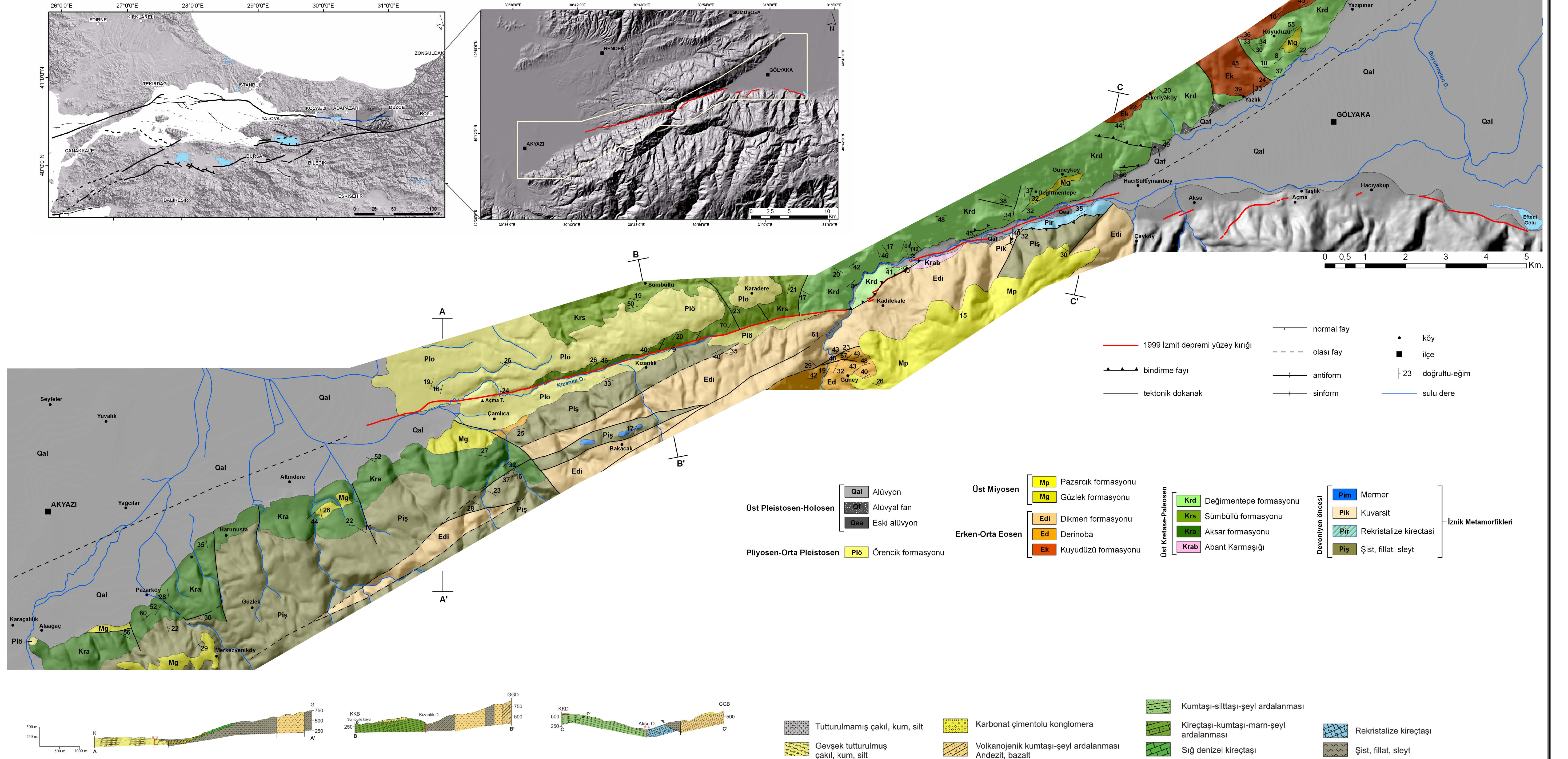
ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Aynur DIKBAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 27.11.1975
Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Müh. Bölümü
Y.Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü

Yayın Listesi:

- A.Barka, S. Akyüz, E. Altunel, G. Sunal, Z. Çakır, **A. Dikbaş**, B. Yerli, T. Rockwell, J. Dolan, R. Hartleb, T. Dawson, T. Fumal, R. Langridge, H. Stenner, S. Christofferson, A. Tucker, R. Armijo, B. Meyer, J. B. Chaballier, W. Lettis, W. Page, J. Bachhuber, 2000, The August 17,1999 İzmit earthquake, M=7.4, Eastern Marmara region, Turkey: study of surface rupture and slip distribution, In: *The 1999 İzmit and Düzce Earthquakes: preliminary results*. Eds. A. Barka, Ö. Kozacı, S. Akyüz and E. Altunel, p.15-30, İTÜ Publication, pp. 349. ISBN 975-561-182-7
- A.Barka, H.S. Akyüz, G. Sunal, Z. Çakır, **A. Dikbaş**, B. Yerli, E. Altunel, R. Armijo, B. Meyer, J.B. Chaballier, T. Rockwell, J. R., Dolan, R. Hartleb, T. Dawson, S. Christofferson, A. Tucker, T. Fumal, R. Langridge, H. Stenner, W. Lettis, J. Bachhuber, W. Page, 2002. The surface rupture and slip distribution of the August 17, 1999 İzmit earthquake, M=7.4, North Anatolian Fault. *Bull. Seismo. Soc. Amer.*, vol. 92, no. 1, p. 43-60; February 2002.
- R. D. Hartleb, J. F. Dolan, H. S. Akyüz, T. E. Dawson, A. Z. Tucker, B. Yerli, T. K. Rockwell, E. Toraman, Z. Çakır, **A. Dikbaş**, and E. Altunel, 2002. Surface rupture and slip distribution along the Karadere segment of the 17 August 1999 İzmit and the Western section of the 12 November 1999 Düzce, Turkey, Earthquakes. *Bull. Seismo. Soc. Amer.*, vol. 92, no. 1, p. 67-78; February 2002.
- Altunel, E., Meghraoui, M., Akyüz, H.S., **Dikbaş**, A. 2004. Characteristics of the 1912 co-seismic rupture along the North Anatolian Fault Zone (Turkey): implications for the expected Marmara earthquake. *Terra Nova*, 16, 198-204.
- Çağatay, M.N., Görür, N., Flecker, R., Sakıncı, M., Tünoğlu, C., Ellam, R., Krijgsman, W., Vincent, S. and **Dikbaş**, A., 2006. Paratethyan&Mediterranean Connectivity In The Sea Of Marmara Region (NW Turkey) During The Messinian. *Sedimentary Geology*, vol. 188-189, p. 171-187.
- Akyüz, H.S., Uçarkuş, G., Şatır, D., **Dikbaş**, A., Kozacı, Ö. 2006. 3 Şubat 2002 Çay depreminde meydana gelen yüzey kırığı üzerinde paleosismolojik araştırmalar. *Yerbilimleri*, 27/1, 41-52.

KARADERE (HENDEK-ADAPAZARI) SEGMENTİ YAKIN CİVARININ JEOLojİ HARİTASI VE ENİNE KESİTLERİ



EK-B

Hazırlayan: Aynur DİKBAS
2009