



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORHANGAZİ VE GEMLİK FAYLARININ KİNEMATİĞİ VE
SİSMOTEKTONİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YALKAP BALLYYEV

Tez Danışmanı

PROF.DR. SÜHA ÖZDEN

ÇANAKKALE – 2023



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORHANGAZİ VE GEMLİK FAYLARININ KİNEMATİĞİ VE
SİSMOTEKTONİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YALKAP BALLYYEV

Tez Danışmanı
PROF.DR. SÜHA ÖZDEN

ÇANAKKALE – 2023



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Yalkap BALLYEV tarafından Prof. Dr. Süha ÖZDEN yönetiminde hazırlanan ve **28/08/2023** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Orhangazi ve Gemlik Faylarının Kinematiki ve Sismotektoniki**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Süha ÖZDEN

(Danışman)

Doç. Dr. Savaş TOPAL

Dr. Öğr. Üyesi Erdem GÜNDOĞDU

.....

.....

.....

Tez No :

Tez Savunma Tarihi : 28/08/2023

.....

Prof.Dr. Ahmet Evren ERGİNAL

Enstitü Müdürü

.././20..

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uyararak yazdığım bu tezde; tezde sunduğum veri, bilgi ve belgeleri akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bütün bilgileri, belgeleri, değerlendirmeleri ve sonuçları akademik etik ve ahlak ilkelerine uygun olarak düzenlediğimi, tezde kullanılan bütün eserlere kaynak gösterdiğimi, kullandığım verilerde hiçbir değişiklik yapmadığımı, tezde sunulan çalışmanın özgün olduğunu, aksi durumlarda aleyhime oluşabilecek tüm hak kayıplarını kabul ettiğimi beyan ve taahhüt ederim.

Yalkap Ballyyev

../../2023

TEŞEKKÜR

Bu tezin tamamlanmasında ve çalıőmam boyunca bana destek veren, rehberlik eden, yönlendiren danışmanım Prof.Dr. Sühü ÖZDEN'e, tez sürecimde bana katkılarda bulunan, fikirlerini paylaşan Doç.Dr. Alper DEMİRCİ'ye katkılarından dolayı Őükranlarımı sunarım. en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, üniversite hayatımın her aşamasında beni her zaman destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yalkap Ballyyev

anakkale, Ağustos 2023

ÖZET
GEMLİK VE ORHANGAZİ FAYLARI'NIN KİNEMATİĞİ VE
SİSMOTEKTONİĞİ

Yalkap Ballyyev

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Yeterlik Tezi

Danışman: Prof. Dr. Süha ÖZDEN

28/08/2023, 49

Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı segmentinin güney kolunda yer alan Gemlik ve Orhangazi ilçeleri ile yakın çevresi, hem günümüzde hem de tarihsel olarak deprem açısından aktif bölgeler olarak kabul edilir. Bu bölgelerin büyük bir kısmı, geçmişten günümüze kadar depremin olası riski altındadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu, Marmara Bölgesi genelinde Kuzey ve Güney kolları şeklinde ikiye ayrılır. Güney kol üzerinde Mekece, Orhangazi, Gürle, Sarıgazi, Umurbey, Gemlik, İznik ve Geyve fayları bulunur. Bu çalışmanın odak noktasını oluşturan Gemlik Fayı, D-B doğrultusunda uzanır ve 35 km uzunluğundadır. Orhangazi Fayı ise KB-GD doğrultusunda uzanır ve 40 km uzunluğundadır. Gemlik ve Orhangazi faylarının son tektonik davranışını anlamak amacıyla sahadan elde edilen fay düzlemi verileri üzerinde yapılan kinematik analiz sonuçlarına göre; Gemlik Fayı'nda sağ yönlü doğrultu atımlı faylamaların (transtansiyonel rejim) KB-GD doğrultusunda geliştiği ve sıkışma rejimi altında olduğu belirlenmiştir. Orhangazi Fayı ise KD-GB doğrultusunda genişleme tetkoniği denetiminde sağ yanal komponenti olan normal faylanma sergilemektedir. Ayrıca, Gemlik ve Orhangazi ilçeleri ile yakın çevresinde 1990-2023 yıllarında meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümlerinin sonucu da, bölgedeki temel olarak KB-GD uzanımlı sıkışma rejimi denetimli gelişmiş doğrultu atımlı faylanmalar ve bununla uyumlu olarak KD-GB doğrultulu yerel genişleme tektoniği olduğunu ve sıkışma rejiminin günümüzde de etkin olduğunun göstergesidir.

Anahtar Kelimeler: Kuzey Anadolu Fay Zonu, Kinematik, Sismotektonik, Gemlik Fayı, Orhangazi Fayı

ABSTRACT

KINEMATICS AND SEISMOTECTONICS OF GEMLIK AND ORHANGAZI FAULTS

Yalkap Ballyyev

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Geological Engineering

Advisor: Prof. Dr. Süha ÖZDEN

28/08/2023, 49

The regions encompassing Gemlik and Orhangazi districts and their surrounding areas, situated along the southern arm of the western section of the North Anatolian Fault Zone, have gained recognition as zones of seismic activity in both contemporary and historical epochs. These territories remain vulnerable to earthquakes, both presently and similarly to their historical vulnerability. In the Marmara Region, the North Anatolian Fault Zone is bifurcated into two principal strands, known as the North and South strands. Among the faults located on the southern strand of the North Anatolian Fault Zone are Mecece, Orhangazi, Gürle, Sarıgazi, Umurbey, Gemlik, İznik, and Geyve faults. This study delves into the Gemlik Fault, characterized by its E-W orientation and spanning a distance of 35 km, alongside the Orhangazi Fault, which trends NW-SE and extends for approximately 40 km. Through a meticulous examination of the fault planes and a subsequent kinematic analysis, this research aims to comprehend the recent tectonic behavior of the Gemlik and Orhangazi faults. The findings unveil that the Gemlik Fault has evolved within the NW-SE trending compressional regime, displaying traits of right-lateral strike-slip faulting (a transtensional regime). In contrast, the Orhangazi Fault reveals normal faulting features with a right-lateral component, indicating development within a NE-SW trending extensional regime. Moreover, scrutinizing the focal mechanism inversions of earthquakes spanning from 1990 to 2023 within the environs of Gemlik and Orhangazi provinces reveals the prevailing mechanism in the region. Primarily, it indicates NW-SE trending transtensional faulting within a NW-SE trending compressional regime. Furthermore, the local (intrinsic) NE-SW transtensional extensional regime compatible with this behavior is evidenced. These

collective insights signify the ongoing activity of the transtensional regime in the present era.

Keywords: North Anatolian Fault Zone, Kinematics, Seismotectonics, Gemlik Fault, Orhangazi Fault



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Çalışman Alanının Tanıtımı	2
1.2. Çalışma Alanının Jeolojisi	3
1.2.1. Mezozoyik İstifleri.....	4
1.2.2. Paleojen İstifleri	7
1.2.3. Neojen İstifleri.....	9
1.2.4. Kuvaterner İstifleri	9
1.3. Bölgenin Tektonik Özellikleri	9
1.3.1. Paleotektonik Evre	9
1.3.2. Neotektonik Evre	12
1.3.3. KAFZ'nun Marmara. Bölgesine Yayılımı	13
1.3.4. Gemlik Fayı	15
1.3.5. Orhangazi Fayı	17

İKİNCİ BÖLÜM	
KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	20

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	
ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM	

	22
3.1. Kinematik Analiz Çalışmaları	22
3.1.1. Fay Topluluklarının Kinematik Analiz Yöntemi	22

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	
ARAŞTIRMA BULGULARI	

4.1. Depremsellik	28
4.1.1. Tarihsel Dönem Depremleri.....	28
4.1.2. Aletsel Dönem Verileri.....	30
4.2. Fay Topluluklarının Kinematik Analiz Sonuçları	35
4.2.1. KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi etkisinde gelişen doğrultu atımlı faylanmalar	36
4.2.2. KD-GB doğrultulu lokal genişleme rejimi etkisinde gelişen normal faylanmalar	37
4.2.3. Orhangazi Fayı'nın Yapısal Özellikleri	38

BEŞİNCİ BÖLÜM	
SONUÇ ve ÖNERİLER	

5.1. Sonuçlar	44
KAYNAKÇA	45
ÖZGEÇMİŞ	I

SİMGELER VE KISALTMALAR

KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
K	Kuzey
G	Güney
D	Doğu
B	Batı
D-B	Doğu-Batı
K-G	Kuzey-Güney
DAF	Doğu Anadolu Fayı
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
MTA	Maden Tetki Arama Müdürlüğü
KD-GB	Kuzeydoğu-Güneybatı
KB-GD	Kuzeybatı-Güneydoğu
GB	Güneybatı
KD	Kuzeydoğu
GD	Güneydoğu
KB	Kuzeybatı
GPS	Global Positioning System, Küresel Konumlandırma Sistemi
BKB	Batı-Kuzeybatı
DGD	Doğu-Güneydoğu
KKD	Kuzey-Kuzeydoğu
GGB	Güney-Güneybatı

TÜBİTAK Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

TÜBİTAK-MAM TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi

İTÜ İstanbul Teknik Üniversitesi

DSİ Devlet Su İşleri

MTA Maden Tetkik Arama Enstitüsü

USGS United States Geological Survey



TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Gemlik, İznik ve çevresini etkilemiş olan tarihsel depremler	29



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Çalışma alanının yer bulduru haritası	3
Şekil 2	Çalışma alanının jeolojik haritası	4
Şekil 3	Tez alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit	6
Şekil 4	Anadolu plakasının Paleotektonik evre üniteleri ve inceleme alanının konumu	10
Şekil 5	KB Anadolu bölgesinin tektonizma haritası	11
Şekil 6	Türkiye'nin aktif fay haritası	12
Şekil 7	Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Marmara bölgesinde yayılımı	14
Şekil 8	GPS ölçümleri sonucunda edinilen vektörel hızlar	15
Şekil 9	Gemlik Fayı'nın genel gidişi	16
Şekil 10	Çalışma alanının çizgiselliği ve rölyefi	17
Şekil 11	Orhangazi fayının uzanımının uzaktan görünümü	18
Şekil 12	Orhangazi fayı'nın oluşturduğu ve hava fotoğraflarından görülen morfolojik yüzeyler	18
Şekil 13	Orhangazi fayı boyunca yer yer görülen fayla ilişkili morfolojik yüzeyler	19
Şekil 14	Orhangazi fayı üzerinde yer alan Değirmen ve Tekeci derelerde görülen sağ yanal atımlar ve kesilmiş sırtların şematik gösterimi	19
Şekil 15	Fay topluluklarının kinematik analizi yöntemlerinde kullanılan kayma vektörleri ve oluşan açıların şematik gösterimi (σ_1 , σ_2 ve σ_3 sıkışma, ortaç ve genişleme gerilme doğrultuları)	27
Şekil 16	1990-2023 yılları arasında Gemlik ve çevresinde meydana gelmiş $M>3$ depremler	31
Şekil 17	1995 yılında yapılmış Marmara Bölgesi'ne ait fay düzlem çözümleri	32
Şekil 18	Orhangazi ve Gemlik Faylarının Türkiye Diri Fay haritasındaki görünümleri	32
Şekil 19 a-b	Orhangazi fayı üzerinde bir deprem episantrı ve odak çözümü	33
Şekil 20 a-b	Gemlik Fayı üzerinde bir deprem episantrı ve odak çözümü	34
Şekil 21	Çalışma sahası ve fay düzlem ölçümleri yapılan istasyonların lokasyon haritası	35
Şekil 22	KB-GD yönündeki sıkışma etkisi altında meydana gelmiş sağ yanal doğrultu atıma sahip fayların kinematik analiz sonuçları.	36

Şekil 23 a-b-c	KD-GB yönündeki genişleme etkisi altında meydana gelmiş sağ yanal doğrultu atıma sahip fayların kinematik analiz sonuçları.	37
Şekil 24	Üreğil-Keramet arasında yer alan ve İznik havzasının birimlerini kesen yerel fayların görünümü	38
Şekil 25	Üreğil-Keramet arasında yer alan ve İznik havzasının birimlerini kesen yerel fayların görünümü	39
Şekil 26	Keramet köyü batısında yaklaşık 2 m atım oluşturan fay görünümü	40
Şekil 27	Keramet köyü batısında yaklaşık 2 m atım oluşturan fay görünümü	41
Şekil 28	Keramet köyü batısında yaklaşık 2 m atım oluşturan fay görünümü	42
Şekil 29	Keramet köyü batısında yaklaşık 2 m atım oluşturan fay görünümü	43

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Türkiye neotektoniğinin en önemli ürünlerinden biri olarak bilinen Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) Türkiye ve yakın çevresinin en hareketli tektonik unsuru olduğu bilinmektedir. Karlıova'dan Yunanistan'a kadar devam eden büyük yapının toplam uzunluğu yaklaşık 1500 km'dir. Bu fay sisteminin başlangıç kısmı olarak bilinen Karlıova ilçesinden Bolu iline kadar uzanımı belirgin tek bir hat şeklindedir. Marmara Denizi yakınlarında ise üç ayrı kola ayrılmaktadır (Barka, 1992). Bunlardan kuzeyde kalan kol İzmit Körfezi boyunca devam ederek Marmara Denizi'nde çukurları oluşturarak Gaziköy-Saroz hattı boyunca ilerler ve Kuzey Ege'ye kadar uzanır. KAFZ Orta kolu adıyla tanımlanan kısım Geyve'den başlayarak sırasıyla Mekece, İznik gölü güneyinden ilerler, devamında Gemlik Körfezi'ne girerek Bandırma, Biga Yarımadası'ndan devam ederek Ege Denizine kadar uzanmaktadır. KAFZ'nun güney kolu ise Bursa-Manyas-Gönen hattı üzerinden Edremit Körfezi'ne kadar uzanmaktadır.

KAFZ hem günümüz (aletsel) hem de tarihsel dönemlerde depremler açısından aktif bölgeler olarak bilinmektedir. Bu alanların büyük kısmı, geçmişten günümüze kadar deprem riskini taşımaktadır.

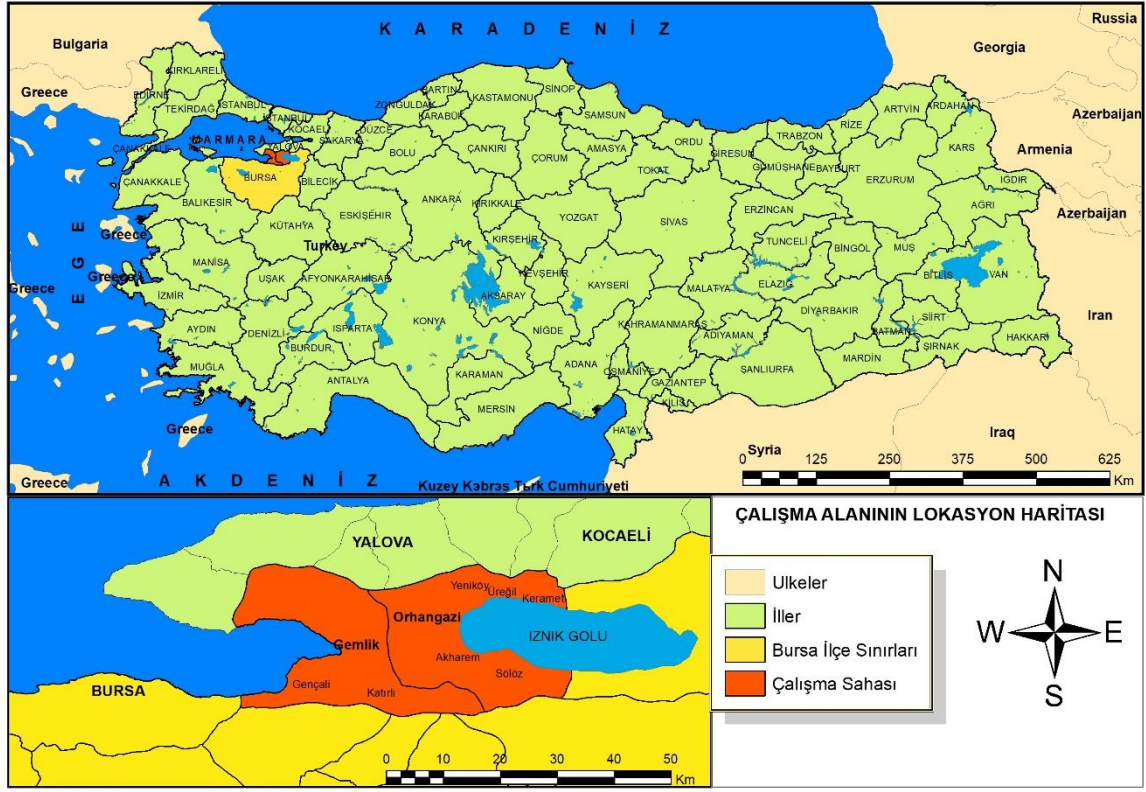
Gemlik ve Orhangazi Fayları'nın Kinematığı ve Sismotektoniği adlı bu tez çalışmasının amacı, bu fayların yapısal özelliklerini, davranış biçimlerini, sismik hareketliliğini ve bu hareketliliğin meydana getirdiği sonuçları araştırmaktır. Çalışmada Gemlik ve Orhangazi Fayları'nın kinematik evrim modelinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu çerçevede Gemlik ve Orhangazi Fayları ve yakınlarında yüzeylenmiş kayalar grupları incelenerek, tektonik özelliklerin belirlenmesi amacıyla yapısal özellikler araştırılmıştır. Gemlik ve Orhangazi Fayları'nın kinematik analizi yöntemleriyle reyonel stres durumunun saptanması, fayların sismik aktivitesi ve deprem oluşturma potansiyellerinin değerlendirme çalışmaları yapılmıştır.

1.1. Çalışma Alanının Tanıtımı

Gemlik ilçesi, Bursa şehir merkezinin kuzeyinde yer alan, Marmara Denizi'ne açılan Gemlik Körfezi'nin kıyısında bulunmaktadır. Koordinatları 40°13'K enlemi, 29°12'D boylamı. Toplam yüzölçümü 413 km² olan ilçenin çevresi Armutlu, Çınarcık, Orhangazi, Yenişehir, Kestel, Gürsu, Osmangazi ve Mudanya gibi ilçeleriyle çevrilidir.

Gemlik Körfezi'ni sınırlayan dağların eğimi, ilçenin arazisinin şekillenmesinde etkilidir. Bölgedeki bitki örtüsü, maki, ormanlık alanlar ve zeytinliklerden oluşur. Dağlar ile deniz kıyısı arasında yer alan ovalar, ilçenin karakteristik özelliklerindedir. Bunlar arasında Engürücük ve Gemlik ovaları en geniş olanlardır. İlçenin topraklarının yaklaşık %8'i tarıma uygun olmayabilirken, %43'ü zeytinliklerle kaplı, %44'ü tarlalar ve üst dağlık bölgeleri, %5'i de çayır ve meralardan oluşur. Bölgedeki zeytinlik alanlar oldukça yaygındır.

Bu tez çalışmasının yapıldığı alanın kuzeyinde Yeniköy, doğusunda Keramet köyü, batısında Gemlik Körfezi ve güneyinde Solöz bulunmaktadır. Söz konusu alanlar 1/25 000'lik topografik haritalarda Bursa H22-a1, H22-a2, H22-b1, G22-c3, G22-c4 paftalarını kendi içine almaktadır (Şekil 1). Bursa iline ait olan ve bu sınırlar içinde kalan çalışma sahasına ulaşım, Yalova-Bursa, Balıkesir-Bursa karayolları aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

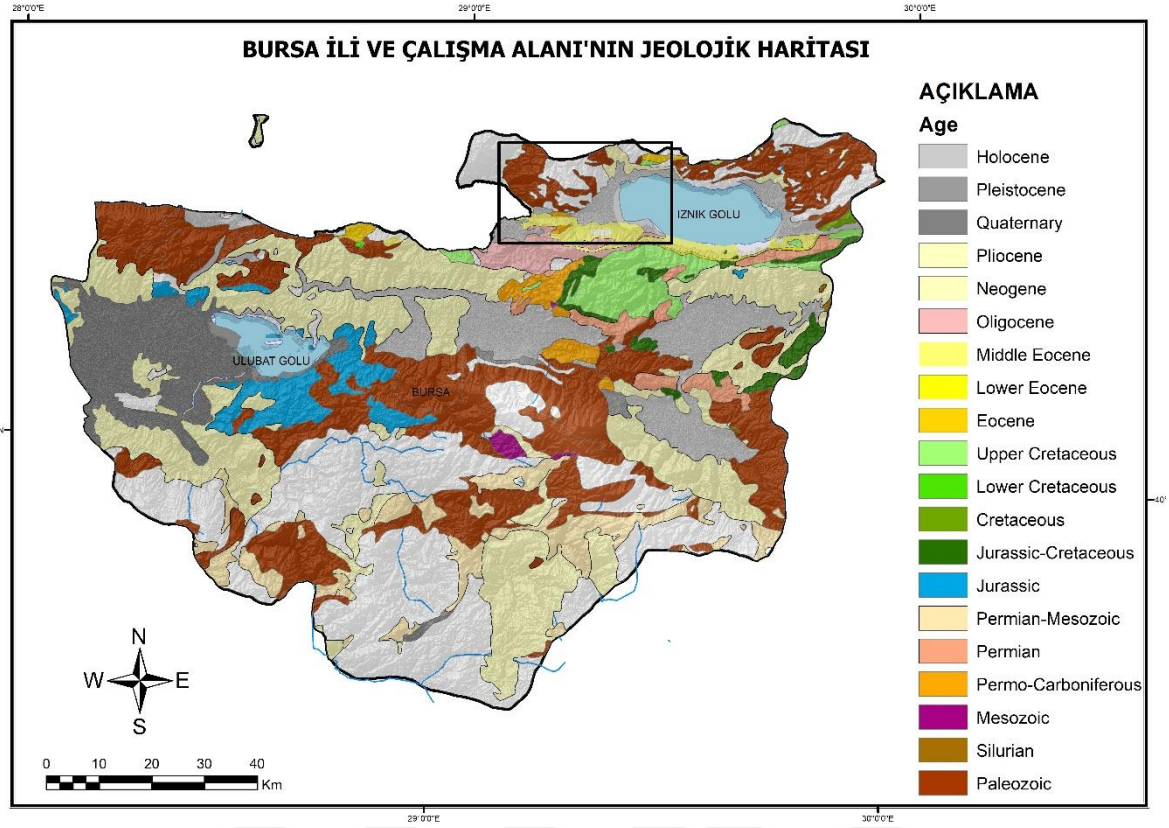


Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası.

1.2. Çalışma Alanının Jeolojisi

Tez alanı, Batı Pontid tektonik kompleks içinde yer alan ve "Sakarya zonu" olarak adlandırılan tektonik birim içerisinde bulunmaktadır (Yılmaz, 1981; Yılmaz vd., 1995) (Okay vd., 1990). Alanın stratigrafik olarak alttan üste doğru sıralanmasında, başlıca Sakarya kıtasal metamorfikleri, Eosen tortulları ve volkanikleri, Eosen-Oligosen tortulları, Neojen tortulları, alüvyonlar ve en son bataklık tortulları öne çıkmaktadır (Şekil 2).

Bu çalışmada, Gemlik ve çevresinin stratigrafisi hakkında bölgede daha önce yapılan araştırmaların verileri ile saha çalışmaları sonucu alınan veriler dikkate alınarak değerlendirilmiştir.



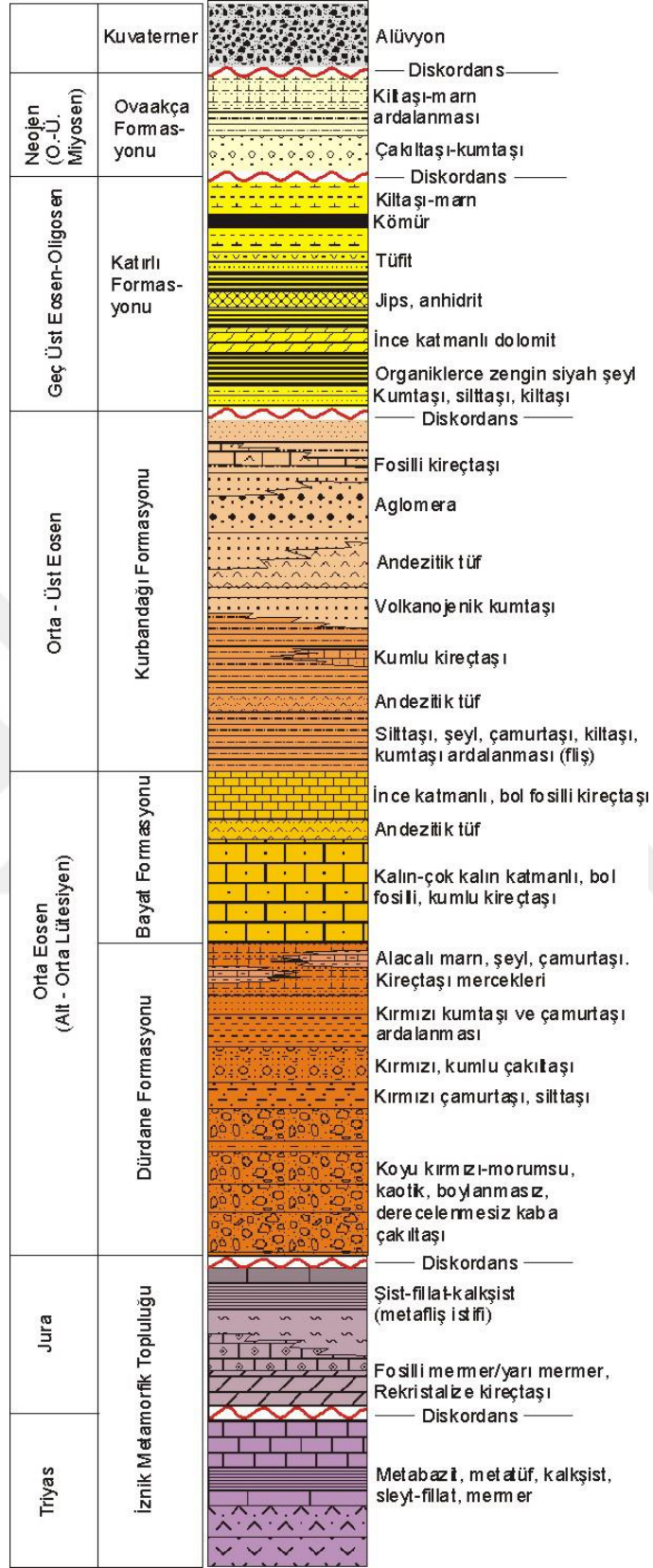
Şekil 2. Çalışma alanının jeolojik haritası.

1.2.1. Mezozoyik İstifleri

Gemlik bölgesi, Batı Pontid tektonik birliği içinde yer alan ve farklı araştırmacılar tarafından çeşitli isimlerle adlandırılan metamorfik kayaları içeren bir alandır. Bu kayalar "Kristalen şistler" (Akartuna, 1968), "Dereköy metamorfikleri" (Bargu, 1982), "Dereyörük grubu" (Genç vd., 1986), "İznik metamorfikleri" (Göncüoğlu vd., 1986), "Fındıklı Formasyonu ve Orhangazi Mermeri" (Kaya vd., 1986, 1989; Kaya ve Kozur, 1987), "İznik metamorfik topluluğu" (Yılmaz vd., 1990), "Armutlu metamorfikleri" (Yılmaz, 1990), "Nilüfer birimi" (Okay vd., 1990) ve "Yenişehir grubu" (Genç, 1993, 1995) olarak bilinmektedir. Güncel çalışmalar, bu metamorfiklerin oldukça fazla gerinim ve metamorfizma yaşadığını göstermektedir. Birimdeki alt seviyeler Alt-Üst Triyas yaşlıdır ve Triyas - Kretase dönemlerinde başkalaşıma (metamorfizma) maruz kalmıştır (Göncüoğlu vd., 1986; Yılmaz, 1990; Yılmaz vd., 1990). Triyas sonlarına doğru Karakaya havzasının kapanması bölgede metamorfizma ve deformasyon olaylarına neden olmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981). Bu vakanın sonrasında Kretase sonundaki metamorfizma olayına İntrapontid okyanusunu kapanması, İstanbul ve Sakarya zonlarının çarpışması neden olmuştur (Yılmaz,

1990). Genellikle Jura ve Alt Kretase dönemine ait kayaların oluşturduğu metamorfiklerin üst kısmı Geç Kretase döneminde metamorfizma geçirmiştir.

Çalışma alanı ve çevresinin temeli, orta basınçlı yeşilşist fasiyesi içinde metamorfizmaya maruz kalmış Triyas yaşlı metapelitler, metabazitler, metatüfler, kalkışitler, kalsitler, sleytler/ fillatlar ve mermerlerden oluşmaktadır (Yılmaz vd., 1990; Genç, 1993; Genç ve Yılmaz, 1995). Gemlik'in kuzeyinde bulunan Triyas yaşlı tanımlanan metamorfikler, Jura yaşlı rekristalize kireçtaşları tarafından uyumsuz şekilde üzerlenmektedir. Karbonat tabakaları Kaya ve Kozur (1987) çalışmalarında elde edilen fosil örneklerine dayanarak Erken-Orta Jura olarak tanımlanmış ve "Kayala Kireçtaşı" ve "Cihatlı Kireçtaşı" şeklinde isimlendirmişlerdir. Yılmaz vd. (1990) ise "Kayala Mermeri" olarak adlandırmıştır. Bu karbonatların alta gelen katmanları açık - kapalı gri, üste doğru gelen katmanları ise kırmızımsıdır. Metamorfizma sırasında, bu fosil karbonatların orta-ince tabakalı, mikritik dokuları fosil içeren mermerlere/yarı mermerlere ve rekristalize kireçtaşlarına dönüşmüştür. Ayrıca, üst kısımda, bu birim kademeli olarak flişik dizilimini anımsatan yoğun ve tekdüze fillat, kalkerik şist, şist kompleksine dönüşmektedir. Bu katmanlar Yılmaz vd. (1990) tarafınca "Gemlik metaflışı" şeklinde tanımlanmıştır.



Şekil 3. Tez alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit (ölçeksizdir) (Barka vd., 2001).

1.2.2. Paleojen İstifler

Çalışma alanındaki Paleojen çökelleri, Eosen'e ait tortul ve volkanik kayalarla temsil edilmektedir. Söz konusu dönemlere ait alt bölümler sırasıyla Durdane Formasyonu, Bayat Formasyonu, Kurbandağı Formasyonu ve Katırlı Formasyonu olarak adlandırılmaktadır.

Kurtul ve Durdane köylerinin yakın civarında çalışma alanının da en güney kesiminde, Durdane Formasyonu yer almaktadır. Bu formasyon daha önce araştırmacılar tarafından çalışılmış ve farklı şekillerde adlandırılmıştır: "Muratoba Kaba Rusubat Serisi" (Erk, 1942), "Durandane Formasyonu" (Genç vd., 1986), "Muratoba Formasyonu" (Ece, 1990). Durdane Formasyonu kalın tabakalı çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşlarından oluşur ve kırmızı, mor, kahverengi ve yer yer gri-yeşil renklerle temsil edilmektedir. İstif deltaik ve sığ denizel alanlarda çökelmiş tortulları yansıtmaktadır (Erk, 1942; Genç vd., 1986; Ece, 1990). Durdane Formasyonu'nun yaşına ilişkin tek paleontolojik bilgi Genç ve diğerleri (1986) tarafından sağlanmıştır. Çalışmacılar elde edilen fosil örneklerinden yola çıkarak bu birimin yaşını Orta Eosen (Alt-Orta Lütetiyen) şeklinde belirlemişlerdir. Bundan daha sonraki çalışmaları yürüten Ece (1990), Erk (1942) ve Genç vd. (1990) tarafından sunulan bilgi ve görüşleri özetlemiş ve alt bölümdeki sedimantasyon sürecinin Orta Eosen'de başladığını ve Oligosen'in başlarına kadar devam ettiğini değerlendirmiştir.

Gençalı köyünün güneyindeki yaylalarda yüzeye çıkan Bayat Formasyonu, sıradağların doğrultusuna uyumlu olmakla birlikte D-B doğrultusunda uzanmaktadır. Daha önce yapılmış çalışmalarda bu birim "Bayat serisi" (Erk, 1942), "Derbent Formasyonu" (Bargu, 1982, Bargu ve Sakınç, 1989), "Kayacıkçayır Formasyonu" (Genç vd., 1986) ve "Bayat Formasyonu" (Ece, 1990) şeklinde farklı isimlerle adlandırılmıştır. Bayat Formasyonu çok derin olmayan denizel kireçtaşları, şeyl bantları ve yer yer tüflerden oluşan fosilce zengin bej-sarı bir tabaka olarak tanımlanmaktadır. Palaeontoloji bulguları formasyonu Orta Eosen'e (Orta Üst Lütetiyen) dayandırmaktadır (Erk, 1942 ve Genç vd., 1986). Doğal koşulların yorumlanması, Bayat Formasyonu'nun sığ deniz ortamında birikmiş karbonatca zengin dizi olduğunu ve çökeliminin andezit volkanizmasının eşliğinde gerçekleştiğini göstermektedir.

Kurbandağ Formasyonu, Gemlik'in güneyindeki Tuzla Burnu'ndan çalışma alanındaki İznik Gölü'ne kadar oldukça kapsamlı bir alanı içine alır ve düşük oranda ara

katmanlı piroklastik kayaçlar içeren karakteristik bir filişten oluşan volkanojenik-sedimanter sekanstan oluşur, ve tortul kayaçlardan oluşan volkanojenik-sedimanter bir dizi - kumtaşları, marnlar, siltaşları ve az miktarda kumlu kireçtaşları, üst kısımlarda baskın olan andezitik lavlar, tüfler ve diğer piroklastik kayaçları barındırmaktadır. Etche (1990) tarafından bu birim alt tabakalarda farklı formasyon şeklinde (Umurbey), üst tabakalarda ise "Kurbandağ Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. Fakat Genç vd. (1986) bu seviyeleri genelleştirmiş ve tek bir "Kurbandağı Formasyonu" adı altında tanımlamıştır.

Volkanikler açısından daha az katkılı olan filiş tabakalarını temsil eden Kurbandağ Formasyonu'nun alt tabakaları genellikle Tuzla Burnu'nun güney ve güneydoğusunda dağılım gösterirken, volkanik kayaçların geniş bir dağılım gösterdiği Volkanojenik-Sedimanter Formasyon'un üst tabakaları İznik Gölü'nün güneybatısında yer almaktadır. Kurbandağ Formasyonu'nun aşağı kısımları, derin deniz ortamındaki yüksek sıcaklıklı andezitik volkanizmanın çeşitli ürünlerinin ayrışması sonucu oluşmuştur. Üst kısımlar büyük miktarlarda fosil (nummulitler, pelecypodlar) içerir ve sığ deniz ortamının temsilcisi olarak kabul edilir (Ece, 1990). Erk (1942) ve Genç vd. (1986) paleontoloji verilerinden yola çıkarak Kurbandağı Formasyonu'nun orta-üst Eosen yaşında olduğunu savunmaktadır.

Güneyde Engürücük çevresinde ve Gençali ile Kurşunlu bölgesinde dağılım sergileyen Katırlı Formasyonu, içerdiği kalın jips yataklarıyla önemli bir özelliğe sahiptir. Bu formasyon genellikle evaporitik kayaçlar, bitümlü şeyl, çamurtaşları bir de kömür damarları barındırmaktadır. Altta, organik madde bakımından zengin, laminasyon gösteren siyah şeyller ve jips, kil-kum serisinin üzerine gelir. Üste doğru sırasıyla dolomitik kireçtaşı-jips serisi, masif jips, yeşilimsi tuf, şeyl-siltaşı ardalanması ve açık renkli volkanojenik tüfler ile devam eder (Ece, 1990). Katırlı Formasyonu'nun organik malzeme açısından doygun kesimlerde, bazıları 70 cm kalınlığa kadar ulaşan kömür damarları bulunmaktadır (Genç vd., 1986). Bu formasyonun denizin sığ ortamıyla ilişkili lagüenal ortamda oluştuğu ve kömürlerin de aynı sisteme bağlı deltaik-bataklık ortamında oluştuğu ileri sürülmektedir (Erk, 1942; Genç vd., 1986; Ece, 1990). Katırlı Formasyonu için kesin yaş verileri olmamasına rağmen, bağlantılar ve analogiler bu istifin Üst Eosen ya da Oligosen yaşında olabileceğini düşündürmektedir (Genç vd., 1986).

1.2.3. Neojen İstifleri

Çalışma alanında Neojeni karakterize eden tek istif Ovaakça Formasyonu'dur. Söz konusu birim çalışma alanında geniş yayımlı olmamakla birlikte Umurbey'in güneyinde ve Kocadere'nin çevresinde gözlenebilmektedir. Ovaakça Formasyonu çakıltaşı, kumtaşı, kilitaşı ve marn gibi tortul kayalardan oluşan karasal bir ortamı karakterize etmektedir. Neojen'den önce formasyonların üzerine uyumsuz biçimde çökelmiştir. Ovaakça Formasyonu için kesin yaş verileri bulunmamakla birlikte, yayılım gösterdiği diğer alanlardan edinilen veriler ışığında orta-üst Miyosen yaşında olduğu düşünülmektedir (Altınlı, 1973; Genç vd., 1986).

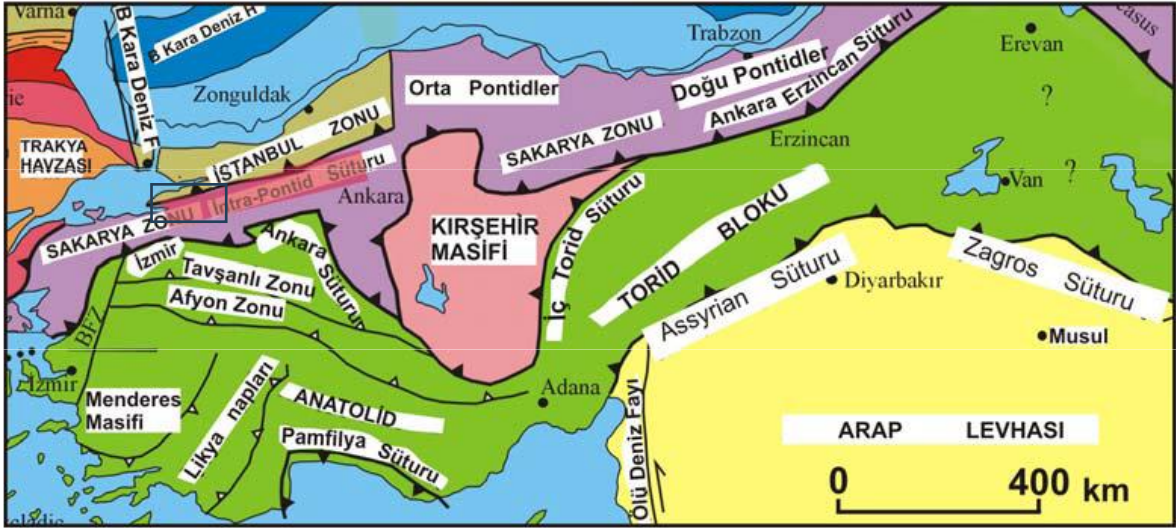
1.2.4. Kuvaterner İstifleri

Araştırma sahasında gözlenen Kuvaterner çökelleri alüvyonlar, alüvyon yelpazeleri, bataklıklar, göl taraçaları ve plaj tortullarından oluşmaktadır. Bölgenin en büyük iki ovası olan Gençali'nin kuzeyindeki Büyükdere Ovası ve İznik Gölü'nün batısındaki Orhangazi Ovası geniş alüvyon örtüsü ile örtülüdür. Alüvyon, bölgede bulunan tüm birimlerin kumlu, killi, siltli ve çakıllı malzemelerinden oluşur, ancak toprak örtüsünden dolayı çok net olarak görülemezler. Bölgedeki alüvyal alanlar çoğunlukla zeytinliklerle kaplıdır.

1.3. Bölgenin Tektonik Özellikleri

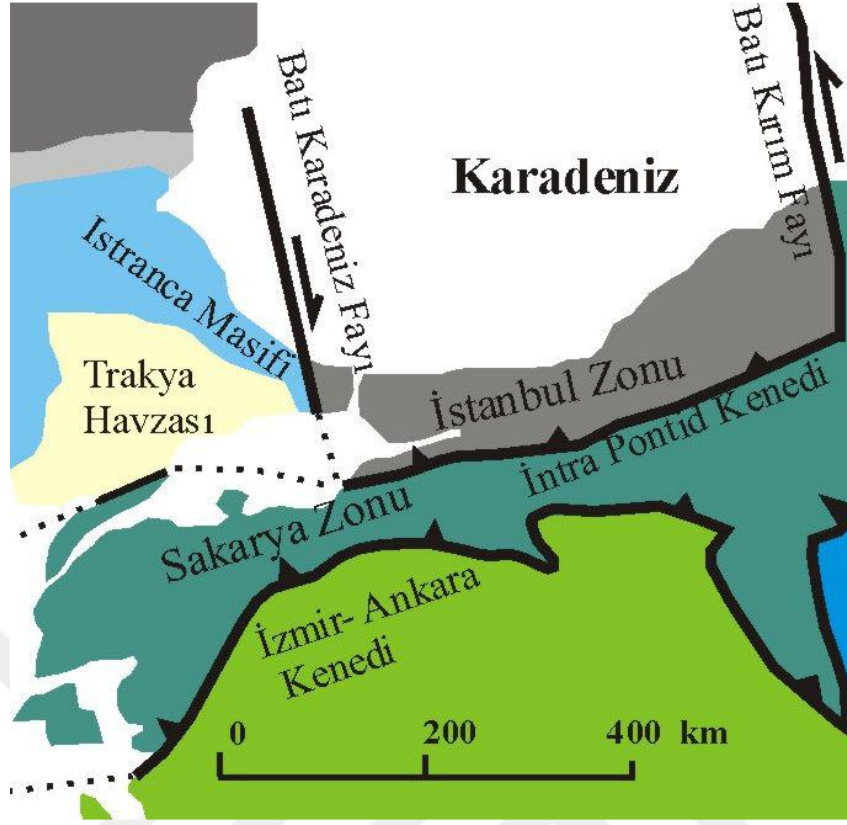
1.3.1. Paleotektonik Evre

Neotektonik dönem terimi, bölgedeki mevcut ve aktif tektonik dönemin başlangıcını temsil etmektedir. Bu dönemden önce meydana gelen tüm jeolojik olaylar paleotektonik dönem içinde yer aldığı varsayılmaktadır. Anadolu bölgesinde Paleotektonik dönem, Neotetis okyanus kollarının kapanmalarıyla bağlantılıdır. Paleotetis okyanusunun oluşumu, gelişimi ve kapanması Permian ve Liyas arasında devam etmiştir, daha sonra ise Neotetis Triyas'tan Eosen'e kadar varlığını korumuştur. Kuzey Anadolu bölgesinde, Geç Kretase döneminde Sakarya Zonu ve İstanbul Zonu, Intrapontid kenedi boyunca çarpışarak birbirlerini etkilemişlerdir. Ayrıca, Geç Paleosen döneminde Anatolid-Torid bloğu ile Sakarya Zonu, İzmir-Ankara Kenedi boyunca çarpışmıştır. Bu süreç, gerek Türkiye'nin gerekse Batı Anadolu bölgesinin paleotektonik evrimini belirlemiştir (Okay ve Tüysüz, 1999; Şengör ve Yılmaz, 1981) (Şekil 3).



Şekil 4. Anadolu plakasının Paleotektonik evre üniteleri, inceleme sahasının konumu (Okay ve Tüysüz, 1999).

Bölgenin Gemlik yöresi, Armutlu Yarımadası'nın güney kesiminde yer almakta ve "Sakarya kıtası" (Yılmaz, 1981; Yılmaz vd., 1995) ya da "Sakarya zonu" (Okay vd., 1990) adıyla önerilen Batı Pontid tektonik biriminde bulunmaktadır. Armutlu Bölgesi, İntrapontid okyanusunun kapanmasıyla oluşan Sütur Zonu içerisinde yer almaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Bu okyanusun açılması Erken Jura evresinde başlamış ve Maastrichtiyen'de tamamen kapanmıştır. Kapanma sürecinde Sakarya kıtası kuzey kenarında İstanbul Zonu ile çarpışmıştır (Şekil 4) (Yılmaz 1990, Okay vd., 1999).



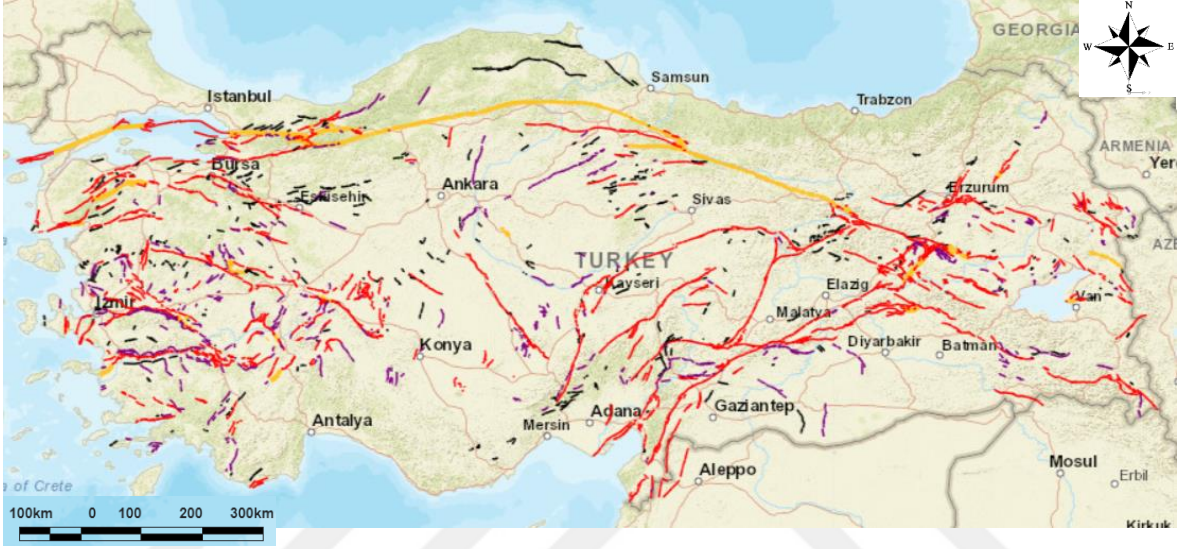
Şekil 5. KB Anadolu bölgesinin tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999).

Çarpışmanın sonucunda, İntrapontid okyanusunun ofiyolitik kayaları güney yönünde Sakarya kıtasının kuzey kenarı üzerine iterilmiş ve burada yerleşmiştir. Bu yoğun basınç altında, Sakarya kıtasının kuzey kenarındaki kaya birimleri yeşilist fasiyesinde yoğun bir metamorfizma sürecine tabi tutulmuş, böylece İznik metamorfik topluluğu olarak adlandırılan yeni bir birim oluşturmuştur (Yılmaz vd., 1990, 1995). Daha sonraki süreçte, muhtemelen Üst Mاستrichtiyen dönemde, ofiyolitik kayalar ve metamorfikler güncel denizel birimlerle üzerlenmiştir. Gemlik bölgesinde ise Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzeyinde yüzeye çıkan bazı kaya birimleri Triyas ve Jura dönemlerine tarihlenen metamorfik kayalardan oluşur ve bu birimler, İznik metamorfik topluluğunun bazı üniteleriyle benzerlik gösterir. Bu metamorfik birimlerin üstü ise, Eosen dönemindeki volkanik aktivite sonucu oluşan fliş ve volkanik birimlerle kaplanmıştır.

İstanbul ve Sakarya zonları, Intra-Pontid okyanusunun kapanmasından sonra birleşerek yükselmiş ve bölgede karasal bir aşınım alanı oluşmuştur (Okay ve diğ., 1995). Alt-Orta Miyosen döneminde, bu karasal alandaki yüksek sıcaklıklı ve yüksek nem oranına sahip iklim koşullar yassılaşıma (peneplenleşme) meydana getirmiştir. (Emre ve diğ., 1997).

1.3.2. Neotektonik Evre

Anadolu'daki en önemli neotektonik evre, Orta Miyosen sonları ile Üst Miyosen arasında Arap ve Afrika levhasının Anadolu levhasıyla çarpışmasından sonra başlar. Çarpışmanın bir sonucu olarak, Doğu Anadolu bölgesi yükselmiş ve Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) olmak üzere iki transform fay tarafından kuzey ve doğudan sınırlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 6. Türkiye'nin aktif fay haritası (MTA).

Türkiye'nin temel neotektonik çatısı, Anadolu levhasının batıya doğru kaymaya başlamasıyla oluşur. Bu süreç, Kuzey Anadolu (KAF) ve Doğu Anadolu (DAF) fayları olacak şekilde iki büyük transform sistemi arasındaki bölgede meydana gelmektedir (Şengör, 1980; Şengör vd., 1985; Şaroğlu, 1985). KAF, sağ yanal doğrultu-atımlı faydır ve oluşum yaşı hakkında farklı görüşler bulunsa da, genel kabul gören düşünce, Geç Miyosen ile Erken Pliyosen arasında meydana geldiğidir.

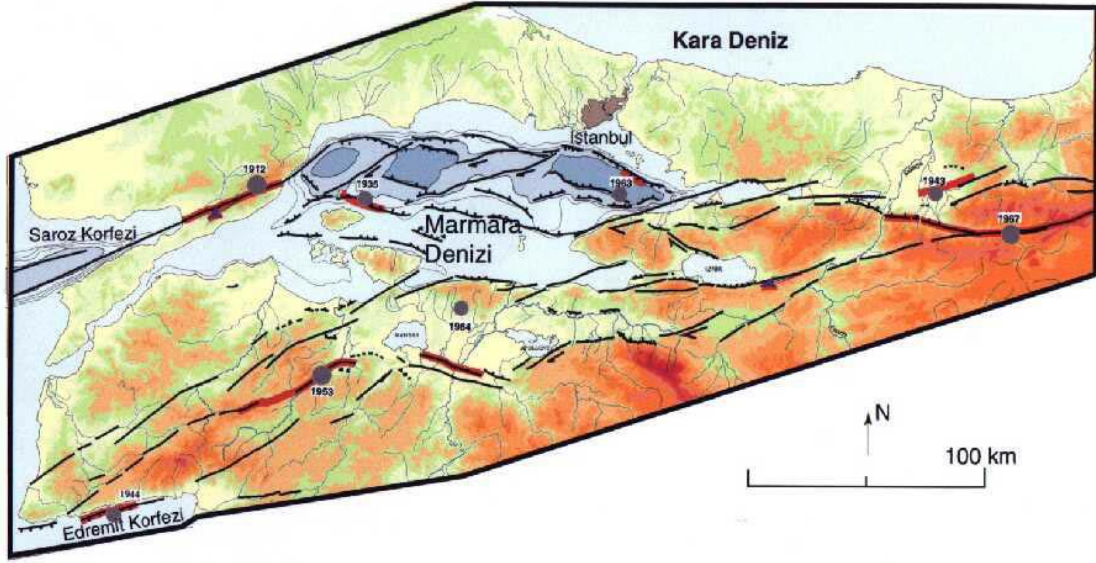
Bu çalışmanın yapıldığı alan, Kuzey Anadolu fayının doğrultu atım rejimi ve Ege bölgesinin gerilme tektoniği arasında bir geçiş zonunu temsil etmektedir (Gürbüz vd., 2000).

Emre (1998)'e göre, Marmara bölgesindeki neotektonik süreç iki farklı evreden oluşmaktadır: Geç Miyosen-Pliyosen ve Geç Pliyosen-Günümüz. İlk safha olarak tanımlanan Geç Miyosen-Pliyosen, kuzey-güney (K-G) sıkışma rejimi ile karakterize edilir. Bu safhada, şu anda aktif olmayan doğrultu atımlı faylarla birlikte KD-GB, KB-GD uzanıma sahip doğrultu atımlı faylar ve D-B yönlü uzanıma sahip kıvrımları gelişmiştir. Bölge, bu

sıkışma rejimi esnasında geç Miyosen'den erken Pliyosen'e kadar yükselim ve deformasyona uğramıştır. Pliyosen döneminin sonunda, deniz alanları parçalanmış ve kapanmış ve bölgenin tamamı karasal proseslerin etkisi altında kalmıştır. Deniz havzalarının kapanmasına yol açan morfolojik değişiklikler büyük ölçüde KD-GB ve KB-GD doğrultulu faylar tarafından gerçekleştirilmiştir. Deformasyonun bu aşaması, Marmara Denizi'nin doğu kısmının morfolojik olarak maksimum yükselme dönemini temsil etmektedir. Geç Pliyosen'in sonunda, Kuzey Anadolu fayı'nın (KAF) ortaya çıkmasıyla, bu alanda etkinliğini devam ettiren kuzey-güney yönlü sıkışma tektoniği, yanal faylanmalarla karakterize edilen bir transform tektoniğine dönüşmüştür.

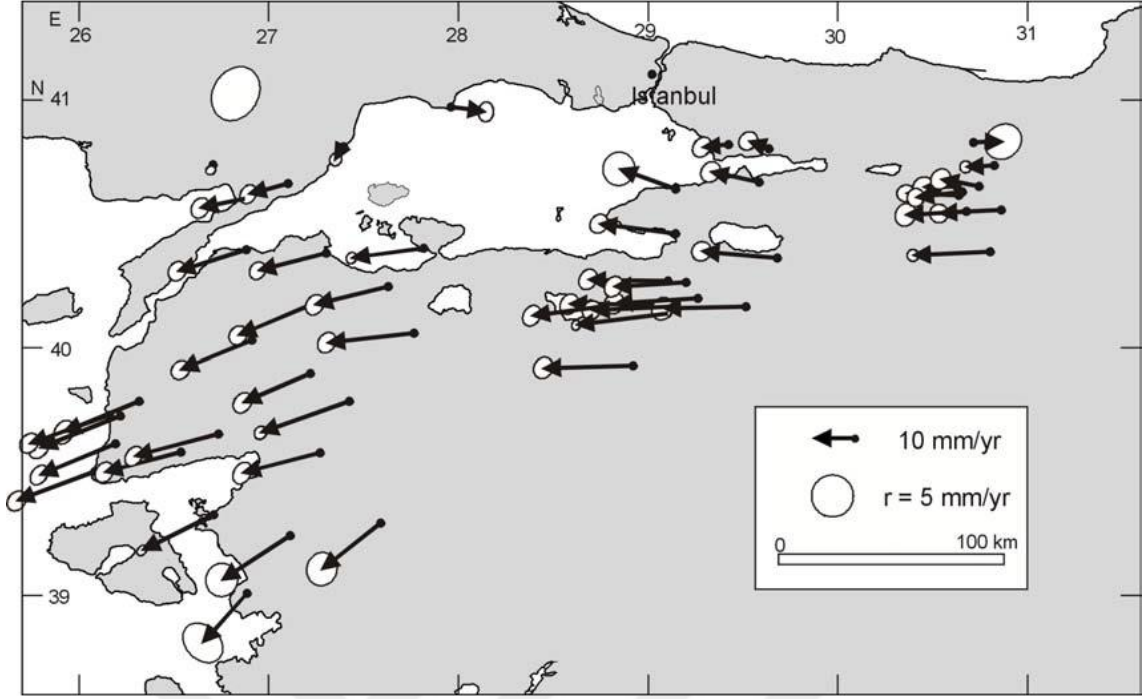
1.3.3. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Marmara Bölgesine Yayılımı

Kuzey Anadolu Fayı, uzunluğu yaklaşık 1500 km olan önemli bir tektonik fay hattıdır. Karlıova üçlü kavşağından başlayarak batıya doğru Kuzey Ege Denizi'ne doğru uzanmaktadır. Dar bir şerit halinde Bolu'ya doğru ilerleyen fay zonu vadinin batı kısmında üç farklı kolla temsil edilir (Barka ve Kandinsky-Kade, 1988). Kuzey kolu, Sapanca Gölü'ne ve İzmit Körfezi'ne doğru uzanarak Marmara Denizi'ne ulaşıp Kuzey Marmara havzalarını şekillendirir. Daha sonra Saroz Körfezi'ne doğru Gaziköy üzerinden devam ederek Ege Denizi'nin kuzeyine ulaşmaktadır. Orta kol, Mudurnu vadisinde GB istikametinde ana hattın ayrılarak Geyve-Pamukova havzasını oluşturur ve güneye doğru Mekece - İznik Gölü'nden Gemlik Körfezi'ne kadar uzanır. Gemlik Körfezi'nden itibaren deniz boyunca batıya doğru ilerleyen orta kol, karadan Bandırma sonrasında ise Biga yarımadası boyunca Ege Denizi'ne doğru ilerler. Güney kolu ise Yenişehir, Bursa, Manyas, Gönen, Pazarköy istikametindeki hattı takip ederek Edremit Körfezi'ne ulaşır (Şekil 6).



Şekil 7. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Marmara bölgesinde yayılımı (Barka ve Kandinsky-Cade, 1988).

Kuzey Anadolu Fayı'nın üç kolu, GPS hızlarına göre farklı hareket hızları sergilemektedir (Şekil 7). Marmara Bölgesi'nde yapılan dört adet GPS ölçüm çalışmalarının sonuçlarına göre, kuzey kol diğer iki kola göre daha fazla hareketlilik sergilemektedir. Orta ve Güney kol arasındaki aktivitede önemli bir değişim olmamasına rağmen, orta kol Güney koldan nispeten düşük aktivitededir. İstanbul referans noktası seçilerek yapılmış GPS okumalarında Anadolu levhasının batıya doğru hareketi 22 ± 3 mm/yıl olarak tespit edilmiştir (Straub vd., 1997). Yaltırak (2000) tarafından yapılan ötelenme hesaplamalarına göre, Kuzey Anadolu Fayı'nın Trakya-Eskişehir fayında Anadolu levhasının batı istikametli hareketinin kuzey kola düşen yüzdesi %77.7'si, orta koldaki yüzdelik payı %9'u ve güney koldaki oranı ise %13.3'ü güney kol şeklinde ifade edilmektedir. GPS verileri, Kuzey Anadolu Fayı kuzey zonunda sağ yönlü makaslama ve sıkışma, güney kesimde ise Gemlik kolunda stres ve az miktarda sağ yönlü makaslama olduğunu göstermektedir. Kuzey kol üzerinde en yüksek yamulma oranı görülmektedir. Orta kol ise en az yamulma görülen kol olarak bilinmektedir. Ayrıca normal yamulma hızlarına göre İzmit Körfezi kuvvetli sıkışma, Gemlik ve Bursa kolları ise gerilme durumundadır. Her üç kola ait GPS hız vektörlerine göre, kuzey koldaki yer değiştirme oranı yılda 16-17 mm, orta koldaki hareket yıllık olarak 1-2 mm ve güney koldaki yıllık hareket 3-4 mm'dir (Şekil 7).



Şekil 8. GPS ölçümleri sonucunda edinilen vektörel hızlar (Straub vd., 1997).

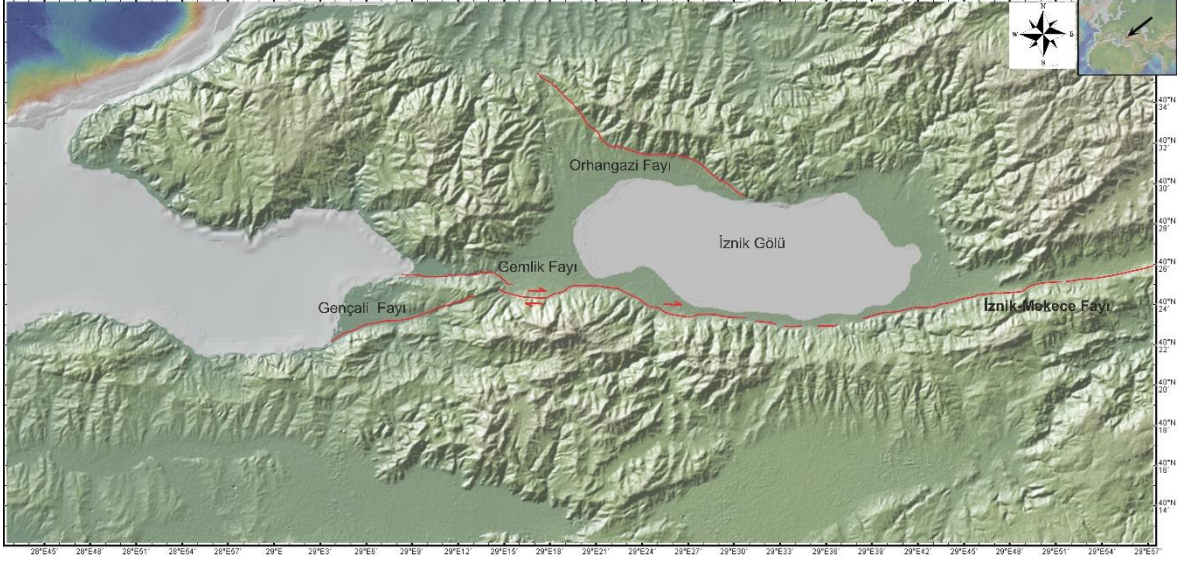
Çalışmanın yürütüldüğü Armutlu Yarımadası, kuzeyden Adapazarı Ovası - Sapanca Gölü - İzmit Körfezi serisi ve güneyden Pamuk Havzası - İznik Gölü - Gemlik Körfezi serisi olmak üzere faylar tarafından kontrol edilen iki doğrusal çek-ayır havzalarla çevrilidir (Yılmaz vd., 1995; Erendil vd., 1988). Böylelikle Armutlu Yarımadası, sahip olduğu tektonik konum nedeniyle Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) hareketlerinden doğrudan etkilenen bir bölgedir.

1.3.4 Gemlik Fayı

İznik Gölü bölgesi ile Gemlik Körfezi arasında kalan, Kuzey Anadolu fayının orta kolunun devamı Gemlik fayı olarak adlandırılmaktadır. Geyve'den doğuya doğru İznik Gölü'ne ve güneye doğru Sölöz Deltası'na doğru uzanan bu fay hattı (Şekil 8), açıkça sağ yanal atımlı bir karakter göstermektedir.



Şekil 9. Gemlik Fayı'nın genel gidişi (bakış yönü güney).



Şekil 10. Çalışma alanının çizgiselliği ve rölyefi.

Soloz Deltası'nın güneyinden itibaren batı yönünde sıçrama gerçekleştiren fay, bu kesimden başlayarak karmaşık bir görünüm kazanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, doğuya doğru oldukça dar zon şeklinde uzanım gösterirken, göl batısına doğru alan genişlemekte ve morfolojik olarak çizgiselliğini kaybetmektedir. Gemlik Körfezi'ne kadar olan bölümde fay zonu farklı bölümlere ayrılmıştır. Bu kesimde İznik Gölü-Karsak ve Karsak-Gemlik Körfezi arasında kalan zon, Gençali Fayı ve Tuzla-Burnu Fayı olarak dört segmentte değerlendirilmektedir.

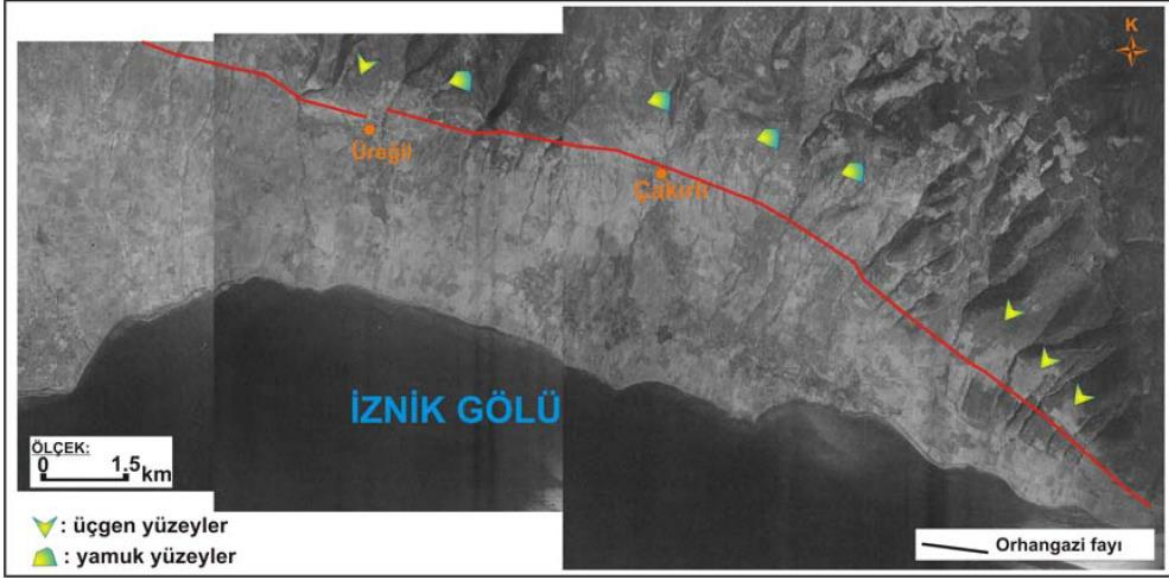
Akharem köyünün GD'daki derelerin bir kısmı sağa doğru atım kazanmıştır. Aynı zamanda, fayın normal bileşeni bu kesitte görülen yüksek teraslarda açıkça görülebilmektedir. Fayın geçtiği alanda oluşan en önemli morfolojik unsur üçgen şekilli yüzeylerin varlığıdır. Ancak morfolojideki izleri batıya doğru gidildikçe kaybolmaktadır.

1.3.5. Orhangazi Fayı

Bu çalışma alanında, Alpar ve Yaltrak (2002) tarafından ilk kez haritalanan ve Orhangazi Fayı olarak adlandırılan sağ yanal oblik bileşenli normal fay olarak bilinmektedir. Bu fay İznik Havzası'nın kuzey kenarında yer alır ve Keramet ile Yeniköy mevkiileri arasında, K7 0B ile yaklaşık D-B arasında değişim gösteren bir doğrultuda yaklaşık olarak 40 km uzunluğa sahip ve Doğu Yeniköy ile Keramet-Üreğil bölgelerinde belirgin bir morfolojik yapıya sahiptir (Şekil 10). Ayrıca, bölgenin fay morfolojisini açık bir şekilde gösteren 1/40.000 ölçekli hava fotoğrafları da bulunmaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Orhangazi fayının uzanımının uzaktan görünümü (bakış yönü kuzey).



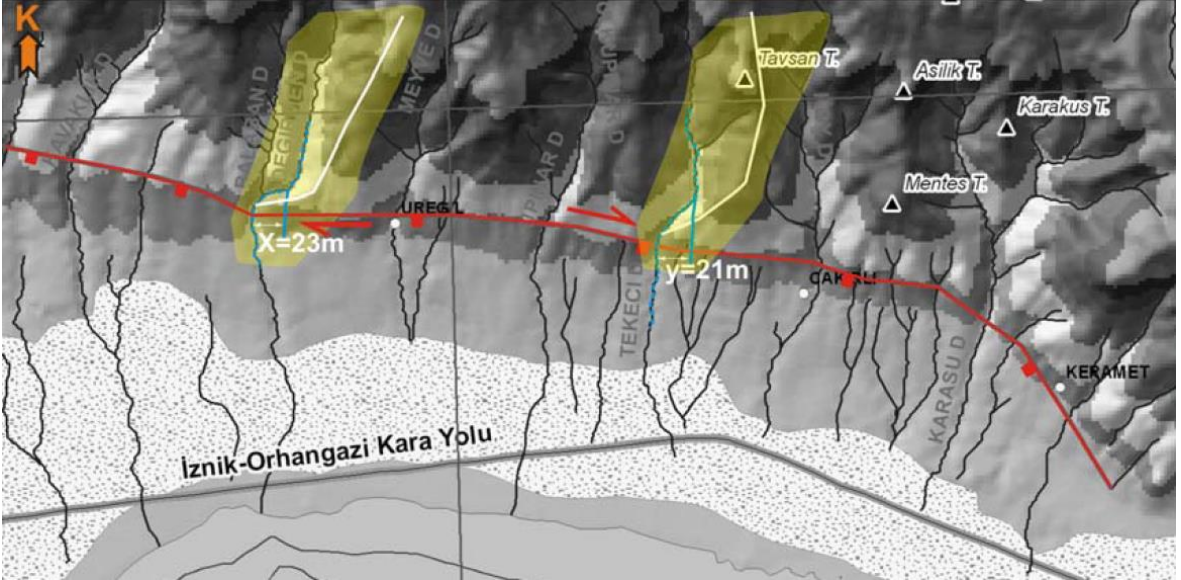
Şekil 12. Orhangazi fayı'nın oluşturduğu ve hava fotoğraflarından görülen morfolojik yüzeyler (Doğan, 2010).

Morfolojik yapılar Orhangazi fayı hattı boyunca İznik Havzası'nın güney kenarında görülenlere benzemekle birlikte, fay boyunca devamlılık göstermeyen çok belirgin yüzeylerden oluşmaktadır (Şekil 12).



Şekil 13. Orhangazi fayı üzerinde yer yer görülen fayla ilişkili morfolojik yüzeyler (üçgenler).

Fay boyunca sağ yanal ötelenmeli dereler ve bindirme sırtları yer almaktadır. Üreğil'in batısında yer alan Değirmen deresi 23 m, Tekeci deresi ise 21 m sağ-yanal ötelenme kazanmıştır (Şekil 13). Ayrıca, söz konusu akarsuların doğusunu teşkil eden ve K-G doğrultuya sahip olan sırtlar, Orhangazi fayı tarafından sağ yanal olarak kesilmektedir.



Şekil 14. Orhangazi fayı üzerinde yer alan Değirmen ve Tekeci derelerde görülen sağ yanal atımlar ve kesilmiş sırtların şematik gösterimi (Doğan, 2010).

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, İznik Gölü ile Gemlik Körfezi arasında kalan Kuzey Anadolu Fayı'nın orta kolu ve bölümlerinin neotektoniğiyle ilgili yapılan önceki çalışmaların gözden geçirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen bulgular ve sonuçlar özetlenerek değerlendirilecektir.

Barka ve Kandinsky-Cade (1988); Bu çalışma, tarihsel kayıtların Orta Kol'da yaklaşık 200 yıllık bir süre boyunca büyük bir deprem meydana gelmediğini gösterdiğini belirtmektedir. Orta Kol, Bolu'nun doğusundaki esas hattın güneybatı yönünde ayrılarak İznik Gölü'nün doğusunda kademeli bir yapıya sahip olan Geyve Havzası'nı oluşturur. İznik Gölü güney kıyısından Mekeçe-İznik hattını takip ederek Sölöz köyünde güneybatıya doğru küçük bir hat olarak ayrılırken, diğer bir kol kuzey-güney doğrultusunda Gemlik Körfezi'ne uzanır. İznik Gölü ile Gemlik Körfezi arasındaki bir başka kol ise D-B yönünde uzanmaktadır. Fayın Gemlik ve Sölöz arası uzunluğu yaklaşık 22 kilometre, GB'ya doğru uzanan kolun uzunluğu da 23 kilometredir.

Tsukuda (1988), Sölöz ve Gemlik Körfezi arasında uzanan fayı, Geyve, İznik ve Gemlik bölgelerindeki orta kol aktivitesinin jeolojik kanıtlarına dayanarak "Gemlik Fayı" olarak adlandırmıştır. Çalışmada, Kuvaterner yaşlı olduğu düşünülen Sölöz'de bulunan göl çökellerinin içinde normal faylar tespit edilmiştir. Normal faylar, İznik fayı ile Gemlik fayı arasında 3 km genişliğinde bir "stepover" ile açıklanmaktadır. Ayrıca, alüvial ovadaki günümüz fay yamaçlarının, ölçülen 1,6-2 metrelik yamaç yükseklikleri ile tarihsel bir deprem tarafından oluşturulduğu varsayılmıştır. K65B doğrultulu bir başka fay boyunca, breşleşmiş kireçtaşı içinde fay kili oluşumu gözlenmiştir. Araştırmacılar ayrıca, Gençali fayının Çerkez Deresi vadisi boyunca Gençali köyüne doğru 25 kilometre uzandığını ve Engürücük'ün batısındaki alüvyal ovada fay yamaçları oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Ikeda (1989), Orhangazi ovasındaki Kuzey Anadolu fay zonunun Holosen aktivitesini araştırarak, bu ovanın güneyinde gözlemledikleri yamaçları "İznik-Mekeçe fayı" adını verdikleri bir fayın izi olarak tanımlamışlardır. Bu fayın izi Mamure ve Karsak arasındaki bazı sıçramalar dışında doğrusal ve sürekli. Fay yamaçlarının yüksekliği 1,2 ile 6 metre arasında değişmektedir. Gemiç'in 1,5 km doğusunda yapılan bir kazıda tabakalanmamış masif kumlu çamurlu matrikse sahip çökeller bulunmuştur. Çökeller içinde 19. yüzyılın ortalarında ya da sonrasına doğru Orta Avrupa'dan getirilen seramik parçaları

içermektedir. Kazı alanında, faya paralel uzanan tarihi bir yolun varlığına işaret edebilecek eski bir parke taşı da keşfedilmiştir. Fay yamaçlarının masif olmasından dolayı, bir fayın varlığının göstergesi olabilecek yapılar tespit edilememiştir. Ayrıca bu çalışmada, Karsak'ın 2,5 km kuzeybatısındaki nehir kanalının doğu yakasında, antropojenik malzemenin altındaki flüvyal tortullar güney yönlü bir fay aracılığıyla kesilmiştir. Bindirme karakteristiklerine sahip olan bu fay, K82°B doğrultulu ve 29-30°G yönünde eğimi bulunmaktadır. Bu gözlemlere dayanarak, araştırmacılar İznik-Mekece fayının bindirme bileşenli bir makaslama fayı olduğu varsayımında bulunmuşlardır.

Yaltırak ve Alpar (2002), Gemlik Körfezi için yeni bir evrimsel model sunmuşlardır. Bu model, sığ sismik yansıma verilerine ve Kuzey Anadolu Fayı'nın batıya doğru yayılımına ve GPS ölçümlerinden kestirilen edilen kayma hızına dayanmaktadır. Yazarlar, sedimanter dizilerin yaşlarını bölgesel tektonik yükselme ve küresel deniz seviyesi değişimlerine dayanarak yeniden hesaplamışlardır. Bu analizler, Aksu ve diğerleri (1999) tarafından tanımlanan delta dizilerinin yaşlarına dayandırılmış ve küresel deniz seviyesi eğrisiyle uyumlu hale getirilmiştir.

Kuşçu (2009), Gemlik Körfezi'ndeki ana fayların morfo-tektonik evriminde oynadığı ana rolü incelemek amacıyla, 2002 yılında elde edilen yüksek çözünürlüklü sismik yansıma verilerini kullanarak Gemlik Körfezi'ndeki ana fayları haritalamışlardır. Bu çalışmanın hedefi, bölgenin fay geometrisine dair bir model oluşturmaktır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 KİNEMATİK ANALİZ ÇALIŞMALARI

Çalışma alanında bulunan fayların meydana gelmesinde etkin olan stres yönlerinin ve günümüzdeki tektonik rejimin ortaya konması için fay topluluklarının kinematik analizi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Gemlik ve Orhangazi fayları boyunca yüzeylenen fay düzlemlerinin olduğu kesimlerden alınan fay düzlemlerinin parametreleri (fay doğrultusu, eğim miktarı, eğim yönü, eğim değerleri) belirlenerek fayların kinematik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, 5 lokasyonda 40 fay düzlemi ölçülmüş olup sonuçlar Carey (1979)'in sayısal analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir.

3.1.1. Fay Topluluklarının Kinematik Analiz Yöntemi

Bu tez çalışması için seçilen analiz yöntemi, ilk defa Carey (1979) tarafından bulunmuş olup sonrasında farklı araştırmacıların da metodun gelişimine katkıda bulunduğu bir metoddur. Yöntem uygulamasında dikkat edilmesi gereken önemli hususlar bulunmaktadır.

Tektonik gerinimin meydana geldiği birçok alanda, bu gerinimin sonucu olan kırık sistemleri iyi gelişmiş olarak gözlemlenebilmektedir. Bunun yanı sıra, kayaç tipi ve yüzlek koşulları elverişli olması halinde oluşan yerdeğiştirmenin karakteristiklerini gösteren bilgiler fayın düzleminde korunarak kalabilmektedir. Söz konusu verilerin sahanın çeşitli yerlerinde ölçülmesi sonucu, fay sistemlerinin geometrisi hakkında bilgi edinilmekte ve geniş bir alan bazında gerinimin esas karakteri belirlenebilmektedir. Bu tür bilgiler, kırılğan üst kabuktaki tektonik fazların gerilme durumuyla yapısal gerinim ilişkisinin ortaya konmasına imkan sağlamaktadır. (Carey - Gauilhardis ve Mercier, 1987).

Bir fay yüzleğinin bulunduğu yerde, faya ait bilgilerin belirlenmesi mümkündür. Bu bilgiler fay doğrultusu, fayın eğimi, kayma vektörü (pich), hareket yönü ve çeşidi şeklinde yazılabilir. Kinematik analiz için son derece önemli olan şey ise fayların hareket yönlerinin belirlenmesidir. Bu veriler, fayların oluşturdukları takımların geometrik ve kinematik özelliklerini anlamak için temel bilgiler sağlar. Fay hareket yönünün tespiti, fayların oluşturduğu kırıkların ve fay takımlarının geometrisini ve kinematığını anlamak için temel bir adımdır.

Kırıkların diğer süreksizliklerle ilişkileri sadece geometrik açıdan değil, aynı zamanda fay düzlemi üzerindeki birbirini örten kayma vektörleri sayesinde farklı tektonik dönemleri belirlemede büyük önem taşırlar.

Daha net ve güvenilir sonuçlar elde etmek için çeşitli fay parametrelerinin kapsamlı bir şekilde incelenmesi gereklidir. Bu parametreler, araştırma alanının çeşitli bölgelerine dağılmış ve yoğun şekilde fay düzlemi gözlemi yapılan istasyonlardan elde edilir. Toplanan verilerin sistematik olarak sınıflandırılması ve stereonet üzerine aktarılması, veri toplama aşaması kadar kritiktir ve doğru sonuçlar elde etmek için önemli bir adımdır.

Fay geometrisi, klasik stereografik projeksiyonda diğer düzlemsel ve doğrusal verilerle birlikte sunulur. Tektonik topografya için genellikle eşit düzlemler alt hemisferik Wolf veya Schmidt projeksiyonu kullanılır. Bu diyagramlarda fay düzlemleri üzerindeki kayma çizgileri kullanılarak hareket yönleri gösterilebilir. Hareketin yönü, düzlemin doğrultu ve eğim çizgileri boyunca çizilen oklarla (pitch) gösterilir. Küçük oklar ters ve normal hareketlerin türlerini ve/veya bileşenlerini, genellikle içe veya dışa doğru, gösterir (Angelier ve Mechler, 1977).

Fay topluluklarının yer değiştirme yönleri birçok farklı yöntem aracılığıyla değerlendirilebilir. Bu yöntemler arasında grafik metodlardan Arthaud'un (1969) yöntemi, Pegoraro'nun (1972) deprem mekanizma çözümleri için sismik faylara uyguladığı yöntem ve Angelier ve Mehler'in (1977) standart dihedron yöntemi bulunmaktadır. Ayrıca, Carey (1976, 1979) ile benzer prensipleri izleyen Angellier (1975, 1984) ve Armijo ve Citernas'ın (1979) sayısal analiz yöntemi de faylar için kullanılmaktadır. Arthaud (1969) yöntemi, kayma çizikleriyle karakterize edilen fayları kullanarak bir tektonik fazdaki bölgesel deformasyonun ana eksenlerini belirlemeye olanak sağlar.

Arthaud (1969) metoduna göre, fay düzlemine dik olan ve kayma çizgisini taşıyan düzlemi "hareket düzlemi" olarak adlandırılıyor. Her bir hareket düzlemi, bölgesel deformasyona ait üç ana yönden (X, Y, Z eksenlerinden) birini içerir. Bu nedenle, tüm hareket düzlemleri, bu üç ana eksene karşılık gelen arakesitlere sahip olmak zorundadır. Arthaud, her faya ait hareket düzleminin kutup noktasını stereografik projeksiyonla belirlemektedir. Bu projeksiyon yöntemiyle, hareket düzlemlerinin kutup noktaları üzerinde birçok düzlem aynı ana yöne denk gelir ve bu düzlemler arasında ortak bir ana yön bulunur. Bu ortak yön, hareket düzlemlerinin kutup noktalarını içeren düzlemin normaline dik olan

yöndür. Bu yaklaşım, fayların hareket yönlerini ve deformasyonun üç ana eksen üzerindeki dağılımını belirlemek için önemli bir analiz aracıdır.

İdeal durumda, hareket düzlemlerinin kutup noktaları üç ana yönde dik bir şekilde uzanır. Bu üç yönden hangisinin kısalma, hangisinin uzama ve hangisinin ortaç eksene tekabül ettiğini belirlemek için faylarla ilişkili açılma çatlakları ve stilolitlerin uzanımlarından yararlanılabilir. Stilolitlerin uzama istikametine ve açılma çatlaklarının kısalma yönüne dik olması, bu bilgilerin kullanılabilir olduğu durumda önemli bir ipucu sağlar. Ancak bu tür verilere sahip değilsek, farklı doğrultulardaki fayların hareket yönlerini kullanarak kısalma ve uzama eksenlerini belirleyebiliriz. Kısalma ve uzama eksenleri, bütün fayların hareket yönleriyle uyumlu olmalıdır. Eğer büyük çoğunluğu kullanılarak elde edilen üç ana yöne uymayan bazı faylar mevcutsa, bu fayların farklı tektonik fazlarda oluşmuş ve hareket etmiş olabileceği düşünülebilir. Ancak, fayların kronolojisini gösteren saha verilerine sahipsek, fayları ayırarak ve tektonik fazları belirleyerek daha kesin sonuçlara ulaşmak mümkündür (Arthaud, 1969). Bu şekilde, fayların hareket ve oluşum dönemleri hakkında daha sağlam bir anlayış elde edilebilir.

Arthaud yöntemi, X, Y ve Z eksenlerinde farklı deformasyon değerlerinin olduğu durumlarda, fay hatlarının söz konusu eksenler üzerinde farklı değerlere sahip reyonel stresler altında nasıl hareket ettiğini anlamak için kullanıldığında zorluklarla karşılaşır. Bu durumda, fayların hareketi karmaşık ve öngörülemeyen bir şekilde gerçekleşebilir, çünkü her bir eksenin etkisi diğerleri üzerinde etkileşime girerek karmaşık bir deformasyon modeli oluşturur. Bu nedenle, Arthaud yöntemi bu tür karmaşık durumları analiz etmek için yetersiz kalabilir.

Pegoraro (1972) tarafından tanımlanan ve daha sonra Angelier ve Mechler (1977) tarafından geliştirilen eş alan (diédre droid-standart diedron) yöntemi, deprem odak mekanizması çözümlenmeleri ve fay topluluklarına uygulanan bir tekniktir. Bu yöntem kullanılarak, her bir fay üzerindeki hareket, fay düzlemi ve kayma hattına dik bir yardımcı düzlem tarafından dört bölgeye (diédre droid) ayrılabilir. Bu bölgelerin birbirine karşılık gelen ikisi sıkışmaya ve diğer ikisi açılmaya karşılık gelir. Yöntem prensibi, başlangıçta kaya kütleindeki zayıflıklar içinde gözlemlenen fay topluluklarının, aynı tektonik evrede, ortaç stres halinde olduğu ve homojen şekilde kaya kütlelerine yayıldığı varsayımına dayanır. Bu nedenle, fay düzlemindeki üç esas gerilim doğrultusu, yani gerilim elipsoidinin eksenleri, en büyük sıkıştırma gerilimi σ_1 , ortaç gerilim ekseni σ_2 ve en küçük

gerilim komponenti Sigma 3'tür (σ_3). Materyalin süreksizliğine ve tekdüz olmamasından dolayı, bu gerilmeler değişebilir ve fay boyunca kaymalar da farklılık gösterebilir. Farklı faylarda meydana gelen hareket türleri her zaman birbirinden bağımsız değildir. Ayrıca, fay hatlarının hareketlenmesi öncesinde önemli bir koşul, fay düzleminin fayın hareket etmeden önce makaslama etkisi oluşturan bir tanjansiyonel stres sergilemesidir. Bott (1959) bu tip yer değiştirmenin makaslama doğrultusunda geliştiğini kabul etmiştir. Bu, her bir fay için Sigma 1'in (σ_1) sıkıştırma bölgesinde ve sigma 3'ün (σ_3) açılma bölgesinde olduğu anlamına gelir (Angelier ve Mechler, 1977).

Depremlerin odak mekanizmalarının çözülmesinde, dik iki düzlem bulunmaktadır. Bu düzlemler, esas (ana) düzlem ve yardımcı düzlem olarak adlandırılır. Bu iki düzlem, kesişen iki düzlemin normal olarak düşünülür ve birbirlerinden kesin olarak ayrılması önemli bir zorluktur. Bu yöntemde, esas düzlem ve yardımcı düzlem arasındaki ilişki, kesişen düzlemlerin normalleri üzerinden belirlenir. Bir sıkışma eksenini ve bir de genişleme eksenini tespit edilir. Bu eksenlere, sıkışma ve genişleme bölgelerinin iç simetri eksenleriyle karşılık gelir. Yani, sıkışma ve genişleme bölgelerinin iç simetri eksenini, aynı zamanda sıkışma ve genişleme eksenlerini temsil eder. Bu yöntem, geleneksel olarak el çizimiyle streografik çizim yöntemlerinden Wulff veya Schmidt ağı üzerinde uygulanabilir. Ayrıca, günümüzde bilgisayar destekli programlar kullanılarak da deprem odak çözümlemesi gerçekleştirilebilir. Bu programlar, daha hassas ve hızlı sonuçlar elde etmeyi sağlar. Sonuç olarak, deprem odak çözümlemesi için kullanılan bu yöntemde, esas düzlem ve yardımcı düzlem arasındaki ilişki, kesişen düzlemlerin normal düzlemleri üzerinden belirlenir. Sıkışma ve genişleme eksenini, farklı bölgelerdeki iç simetri eksenleriyle ilişkilendirilir ve el çizimi veya bilgisayar destekli programlar kullanılarak uygulanabilir.

Çeşitli araştırmacılar (Carey ve Brunier, 1974; Carey, 1976, 1979; Etchecopar ve ark., 1981) kırılan kaya kütlelerindeki fayların kinematiklerini yorumlamak üzere bilgisayarlar destekli kantitatif yöntemler geliştirmiştir, bu da Wallace (1958) ve Bott (1959) tarafından önerilen mekanik yaklaşımların kullanılmasını içerir. Bu yöntemlerin kullanılabilmesi için bazı temel ön koşullar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Tek tip homojen gerilme tensörü ile karakterize edilen bir tektonik faz kaya masifidir.

2. Böyle tektonik fazlarda malzemenin izotropik ve tekdüze olması ve her bir fay düzlemi üzerindeki kayma çizgisinin fay düzlemi üzerindeki etkin çözülmüş kayma gerilmesi (τ_i) doğrultusunda ve yönünde ilerlediği varsayılır.

3. Ayrılmış bloklar arasında fay kaynaklı sürekli bir deformasyon olmadığı, deformasyon sırasında fay düzleminin dönmediği ve kaymanın gerçekleştiği düzlemdeki atımın bağımsız ve fay genişliğine göre daha küçük olduğu varsayılmıştır. Böylece, kaya kütesinin uzaması, faylar boyunca rijit blokların göreceli yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Bu fark, blokların yer değiştirmesine neden olan çözümlenmemiş gerilme tensöründen kaynaklanır. Bu koşullar sağlandığında, bir tektonik faz ile ilişkilendirilen gerilme tensörü, bu fazın sonunda ortaya çıkan bağımsız kayma çizgilerinden elde edilebilir (Angelier ve Mechler, 1977).

Çözümlenmiş kayma çizgilerinin (1) her biri için fay düzleminde etkili olan gerilme $\sigma_1 = \sigma_n + \tau$ olarak ifade edilir. Yukarıdaki hipotez, hesaplanan gerilme (τ_i) ile gözlenen gerilme (s_i) arasındaki açının sıfıra yaklaştığına işaret etmektedir. (τ_i)'nin komponentleri dört parametre fonksiyonundan oluşmaktadır. Bunlar, coğrafi kaynak noktasına kıyasla ana gerilmelerin üç yönünü gösteren üç Euler açısı ve asal gerilmeler arasındaki R oranıdır (Carey, 1976; Carey-Gailhardis ve Mercier, 1987).

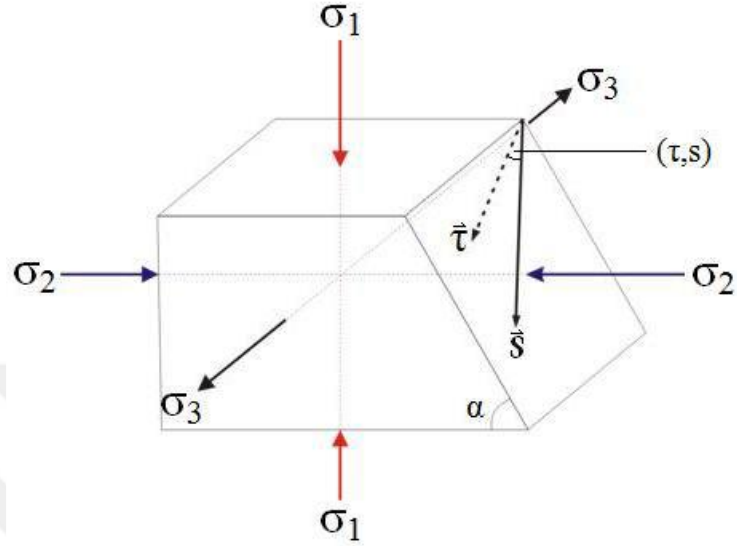
$$R = \sigma_2 - \sigma_1 / \sigma_3 - \sigma_1$$

σ_2 , σ_3 , σ_1 , ifadeleri sırasıyla sıkışma, genişleme ve ortaç gerilme olacak şekilde üç ana gerilim değerlerini göstermektedir. R değerinin değişimi 1 ($\sigma_2 = \sigma_3$) ve ($\sigma_1 = \sigma_2$) arasındadır. Dört değer (τ_i, s_i) $\rightarrow 0$ ile uyumlu olması ve bu sebepten dolayı aşağıda verilmiş fonksiyonun en az olduğu durumlar dört değer ile belirlenmektedir.

$$F = - \sum_{i=1}^N k_i \cos 2(\tau_i, s_i)$$

Fay düzlem sayılarını gösteren N ifadesidir. (τ_i, s_i) açısının 90'dan küçükse $k_i=1$, 90'a eşit veya büyükse $k_i=-1$ olarak tanımlanır. Uygulamada, (τ_i, s_i) açısının 20'den küçük olması, iyi sonuç verme eğilimindedir (Carey, 1979). Bunun nedeni histogramdaki dağılımın daha dar bir aralıkta ve benzer hatalar için bu sonucu verebilmesidir. Ayrıca, açıların (τ_i, s_i) %80'i 20'den küçük olduğunda sonuçların güvenli olduğu düşünülebilir. Ancak açı arttıkça çözüm doğruluğu azalmakta ve ikinci minimum daha belirgin hale gelmektedir. Tektonik fazların

birden fazlasına karşılık gelen verileri ayırmak için daha karmaşık hesaplamalar kullanılır (Carey, 1979; Etchecopar vd., 1981; Armijo vd., 1982). Bu yöntem ayrıca bireysel sismik fay düzlemlerindeki odak mekanizmalarına da uygulanabilir (Özden, 1998).



Şekil 15. Fay topluluklarının kinematik analizi yöntemlerinde kullanılan kayma vektörleri ve oluşan açıların şematik gösterimi (σ_1 , σ_2 ve σ_3 sıkışma, ortaç ve genişleme gerilme doğrultuları) (Över vd., 2001).

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Depremsellik

4.1.1 Tarihsel Dönem Depremleri

Günümüzde, belirli bir bölgenin yakın geçmişteki sismik aktivitesini araştırmak amacıyla rasathanelerin ya da sismoloji enstitülerinin kayıtlarına başvurmak oldukça önemli ve yeterli bir yöntemdir. Teknolojinin gelişimi sayesinde, bu araştırma merkezleri gelişmiş sismik ağlar oluşturmuş ve deprem aktivitelerini izlemek için güçlü araçlar geliştirmişlerdir. Ancak, yerkürenin geçirdiği tektonik hareketler ve bunların neden olduğu depremler geçtiğimiz yüzyıl ile sınırlı kalmamıştır. Geçmişte, aletsel kayıtların mevcut olmadığı zamanlarda pek çok büyük yıkıma neden olan deprem meydana gelmiştir. Bu nedenle, deprem aktivitesi ve aktif bir fayın deprem tekrarlama aralığı hakkında veri elde ederken tarihsel depremler hakkında bilgiye önemli ölçüde ihtiyaç vardır.

Kuzey Anadolu Fayının oluşturduğu Gemlik zonunun etkisinde bulunan İznik, Gemlik ve Mudanya kentleri, geçmiş tarihe bakıldığında farklı medeniyetlerin yaşadığı önemli yerleşim alanları olarak bilinmektedir. Bu tarihi kentler ve çevresinde yaşanan depremler tarihçiler, din görevlileri ve dönemin önde gelen isimleri tarafından yazılı kaynaklarda anlatılmış, seyyahların gezi notlarında ve o dönemde yaşamını sürdüren kişilerin yazışmalarında kayıt altına alınmıştır. Deprem katalogları bu kaynakları dikkatle analiz etmekte ve en eski tarihi depremleri ele almaktadır. Tarihsel depremlerin sismolojik tanımları ve deprem katalogları yalnızca oluş tarihi, oluş zamanı, coğrafi koordinatlar, maksimum şiddet ve depremden etkilenen alan gibi makrosismik parametrelerin gözlemlerine dayanmaktadır.

Bu bölümde, bölgedeki tarihsel depremleri incelemek için çeşitli deprem kataloglarından yararlanılmıştır. Bu kataloglar arasında Ergin vd., (1967) tarafından hazırlanan "Türkiye ve çevresinin deprem kataloğu", Soysal vd., (1981) tarafından oluşturulan "Türkiye ve çevresinin tarihsel deprem kataloğu", Ambraseys ve Finkel (1991) tarafından yapılan "İstanbul ve Marmara Denizi bölgesinin uzun dönemli sismisitesi" çalışması ve Guidoboni vd., (1994) tarafından yayınlanan " "Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century" bulunmaktadır. Bu çeşitli

kaynaklar, bölgede gerçekleşmiş olan depremlerin tarihçesini ve sismik aktivite düzenini belirlemede önemli veriler sağlamaktadır. Tarihsel depremlerin sismolojik tanımlamaları yapıldığında ve katalog haline dönüştürüldüğünde, tamamen gözlemlere dayanan makrosismik parametreler göz önünde bulundurulur ve şu şekildedir: depremin meydana gelme tarihi, depremin olduğu zamanı, koordinatları, maksimum şiddeti ve etkilediği alan. Tablo 1, dört farklı deprem katalogundan elde edilen verilerle oluşturulmuştur. Her bir depremin kaydı, ilgili kaynağın numarasıyla belirtilmiştir: (1) Ergin vd., 1967, (2) Soysal ve ark., 1981, (3) Ambraseys ve Finkel, 1991, (4) Guidoboni ve ark., 1994.

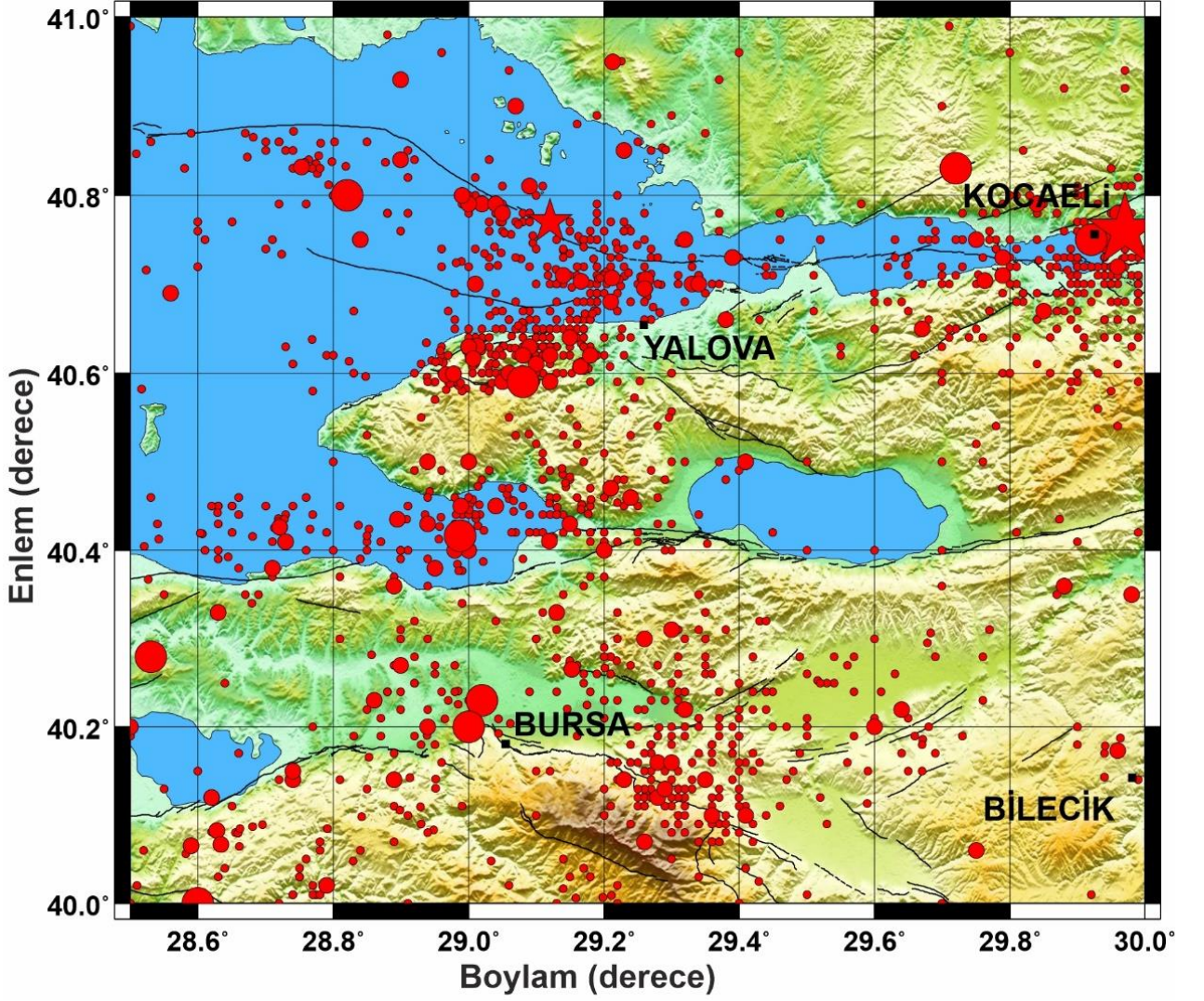
Tablo 1

Gemlik, İznik ve çevresini etkilemiş olan tarihsel depremler (kaynak: 1, 2, 3, 4).

<i>Yer</i>	<i>Enlem</i>	<i>Boylam</i>	<i>Yıl</i>	<i>Şiddet</i>	<i>Kaynak</i>
<i>İznik ve İzmit</i>	40.5	29	29	IX	1, 2, 3, 4
<i>İznik ve İzmit</i>	40.6	29.9	69	VII	1, 2, 3, 4
<i>İznik ve İzmit</i>	40.6	29.9	120-121	VII	1, 2, 3, 4
<i>İznik, Zeytinbağ, Mudanya batısı</i>	40.4	29.4	128-129	VIII	2, 3
<i>Bandırma, Erdek, Gemlik</i>	40.1	28	170	IX	1, 2
<i>İznik</i>	40.44	29.7	350	VI	1, 2
<i>İznik</i>	40.4	28.9	715	IX	1, 2, 3
<i>İznik, Bandırma, Erdek</i>	40.4	28.9	985	VIII	1, 2
<i>İznik, Bandırma, Müreşte, İstanbul</i>	40.4	28.9	1063	VIII	1, 2, 3
<i>Bursa, Gemlik, Mudanya</i>	40.18	29.1	1855	IX	1, 2, 3
<i>Bursa, Gemlik, İznik</i>	40.18	29.1	1857	VI	1, 3
<i>Gemlik Körfezi, Umurbey-Bursa, İstanbul, Gelibolu</i>	40.5	29.1	1863	IX	1, 2, 3
<i>İznik</i>	40.44	28.7	1895	V	1, 2
<i>Gemlik, Bursa</i>	40.4	29.1	1897	V	2

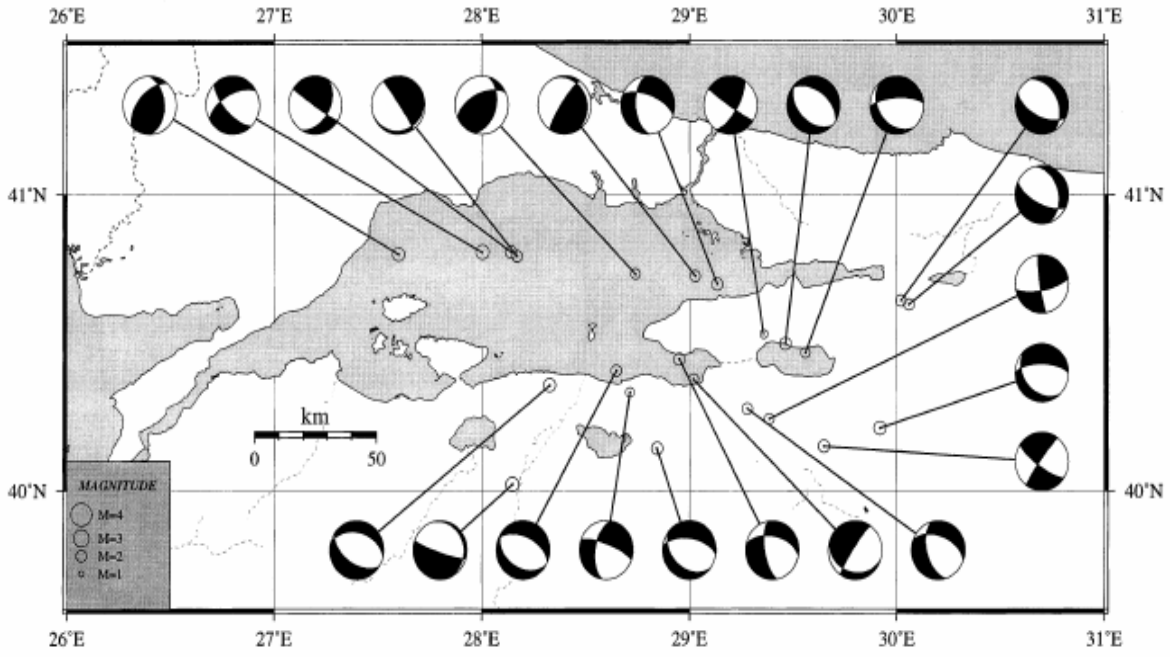
4.1.2 Aletsel Dönem Verileri

Türkiye'de depremlerin bilimsel olarak incelenmesi 1911 yılında kurulmuş olan Kandilli Rasathanesi tarafından başlatılmıştır. İlk olarak 1926 yılında ikisi yatay, biri dikey olmak üzere üç bileşenden oluşan bir sismograf kullanılmış olup, ardından 1928 yılında daha duyarlı olan bir sismograf geliştirilmiştir. 1933 yılına gelindiğinde, güçlü yer titreşimlerini kaydeden mekanik sismografların yerini elektromanyetik sismograflar almıştır. Bu sistemler mekanik sismograflardan daha hassastır ve orta ile uzun süreli yüzey dalgalarını kaydedebilir. Bu sayede, hem Türkiye'de hem de dünyada meydana gelen büyük depremler kaydedilebilir hale gelmiştir. 1948'de ise yüksek frekanstaki sismik dalgaları duyarlı bir şekilde ölçebilen kısa periyotlu düşey bileşenli sismograf sistemi kullanıma alınarak, Türkiye'deki birçok yerel deprem kaydedilmeye başlanmıştır. Bu sistemler 1963'te teknolojik açıdan daha gelişmiş duruma getirilmiştir. Bu dönemde, Gemlik Fay Zonu çevresinde kaydedilen $M > 3$ büyüklüğündeki depremler aşağıdaki şekilde sunulmuştur.

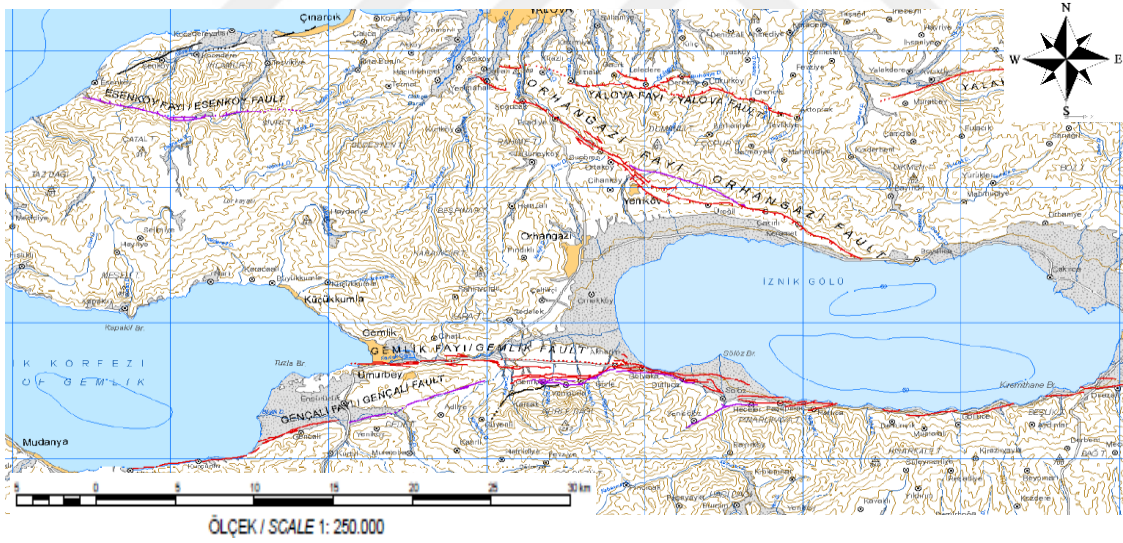


Şekil 16. 1990-2023 yılları arasında Gemlik ve çevresinde meydana gelmiş $M > 3$ depremler.

1995 yılında Kandilli Rasathanesi, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ve TÜBİTAK MAM ile IPG Strasbourg işbirliğiyle gerçekleştirilen üç aylık çoklu enstrümanlı sismik ölçümler sonucunda elde edilen verilere dayanarak, fay analizleri yapılmıştır (Şekil 15). Gemlik bölgesine yönelik çözümler, genellikle eğim atım bileşenli doğrultu atımlı fay tipinde sonuçları vermiştir. Bu sonuçlar, Marmara Denizi içindeki fay analizleri ile uyumlu bir durumu yansıtmaktadır. Bu tür faylanma, doğrultu atımlı faylar arasında yer alan çöküntü havzalarının oluşumunda etkili olan normal bileşene sahip faylarla ilişkili olduğu söylenebilmektedir.

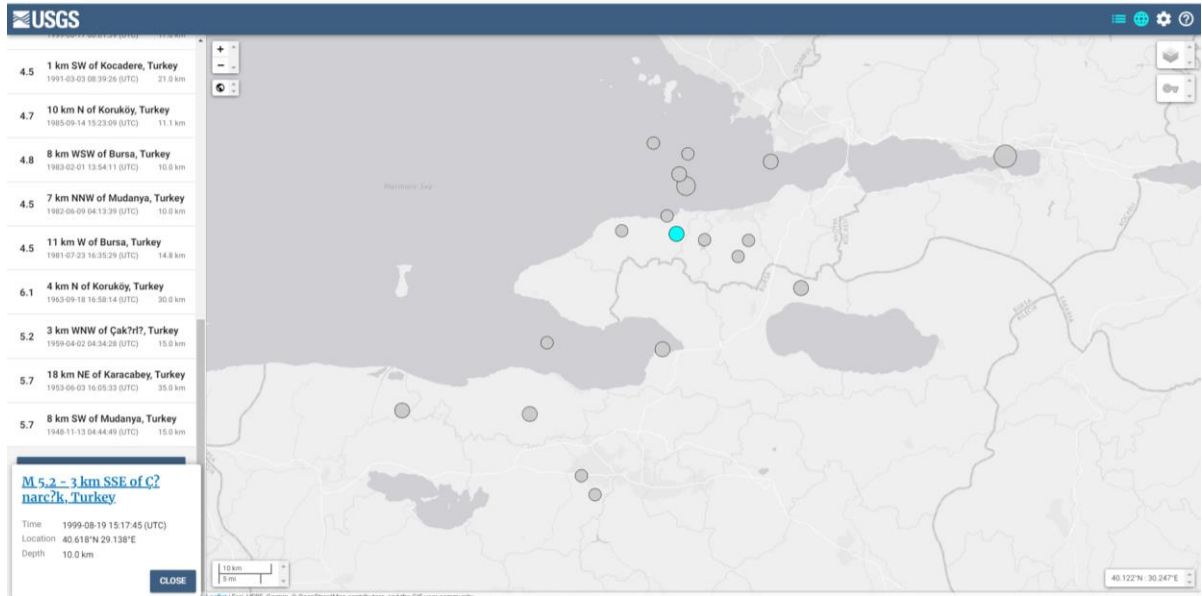
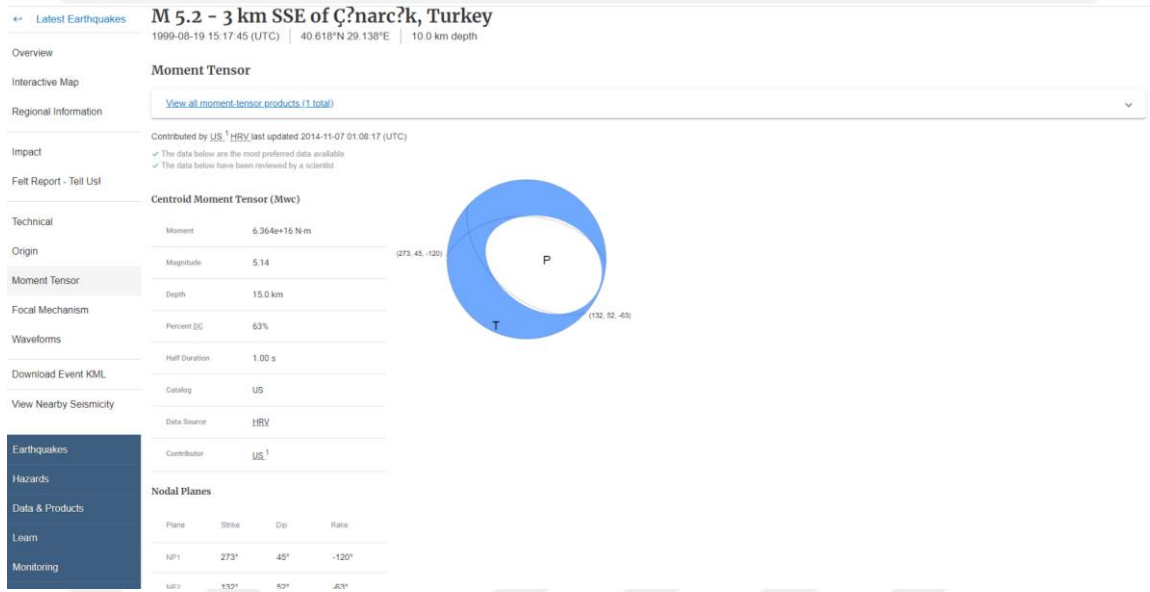


Şekil 17. 1995 yılında yapılmış Marmara Bölgesi'ne ait fay düzlem çözümleri (Gürbüz, 2000).



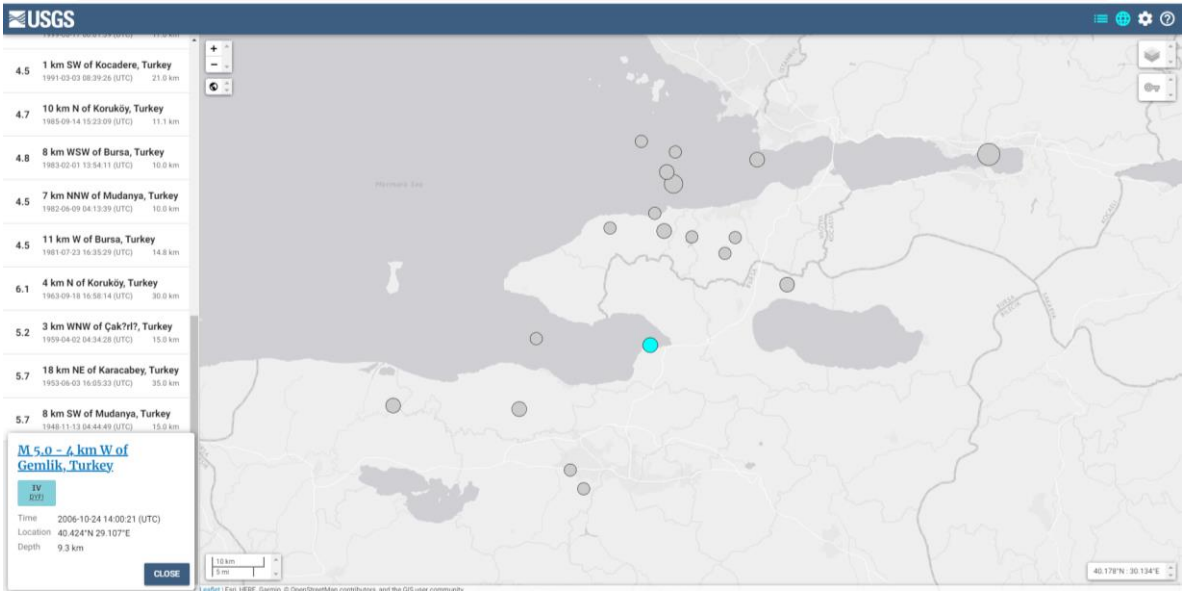
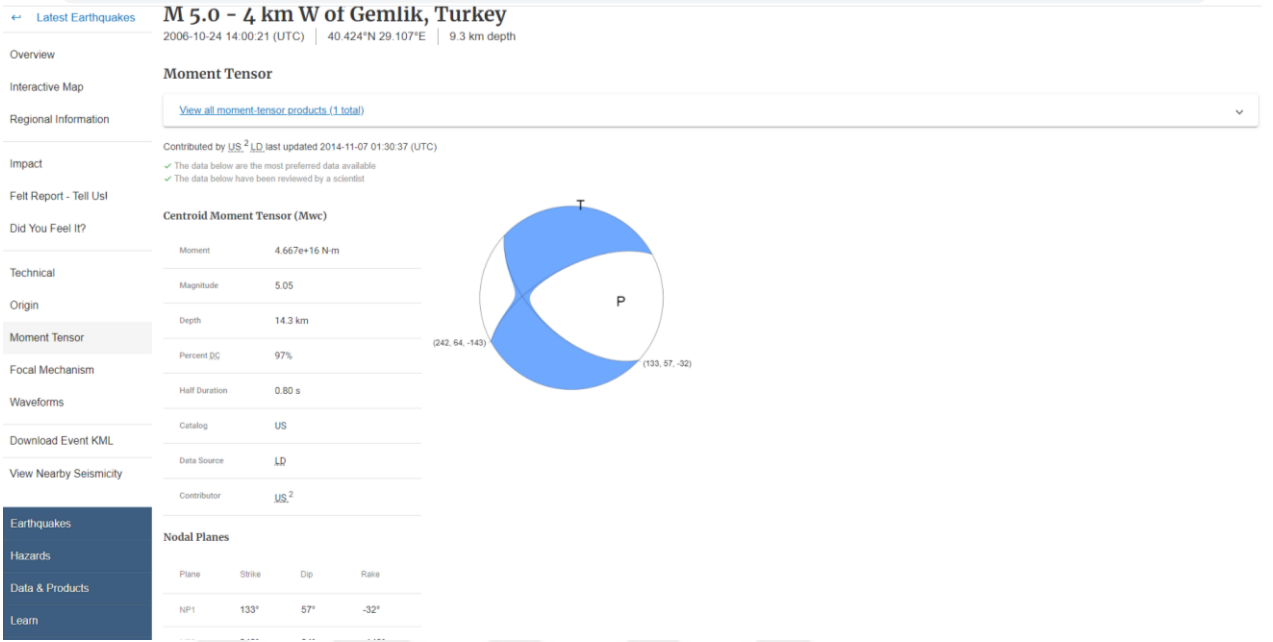
Şekil 18. Orhangazi ve Gemlik Faylarının Türkiye Diri Fay haritasındaki görünüşleri (MTA, 2011).

Orhangazi Fayı asıl olarak bir normal fay olup, çok küçük bir sağ yanıl bileşen içermektedir. Gemlik fayı sağ yanıl bir doğrultu atımlı faydır.



Şekil 19 a-b. Orhangazi fayı üzerinde bir deprem episantrı ve odak çözümü (USGS).

Bu fayın çözümü bölgede KD-GB genişleme rejimi altında gelişen KB-GD doğrultulu normal faylanmaya işaret etmektedir. Bu depremde KD'ya eğimli olan düzlem Orhangazi Fayını temsil etmekte olup, küçük bir sağ yanal bileşen de sunmaktadır. Fayın GB'ya doğru uzanan kesimlerinde fay, GB'ya eğimli bir normal fay olarak devam etmektedir.

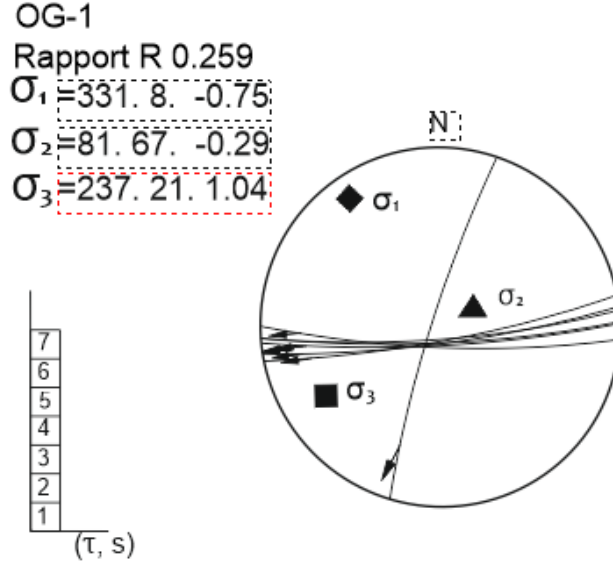


Şekil 20 a-b. Gemlik Fayı üzerinde bir deprem episantrı ve odak çözümü (USGS).

Çözüm yaklaşık DKD-BGB doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma vermektedir. Fay DGD-BKB doğrultulu sıkışma rejimi (transtansiyonel) altında gelişmiştir (USGS deprem kataloğu).

Yukarıdaki iki deprem, sahadan elde edilen kinematik verilerle de uyum sağlamaktadır. Her iki fayın da aktif olduğu, Orhangazi Fayı'nın normal fay, Gemlik Fayının doğrultu atımlı fay olarak çalıştığını göstermektedir. KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi ve

4.2.1 KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi etkisinde gelişen doğrultu atımlı faylanmalar



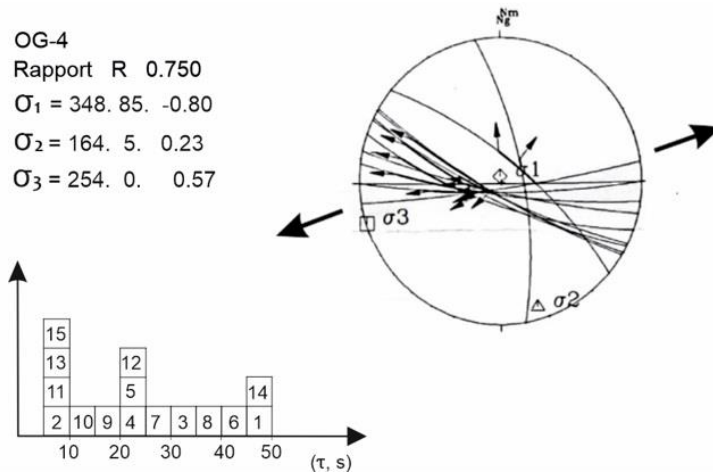
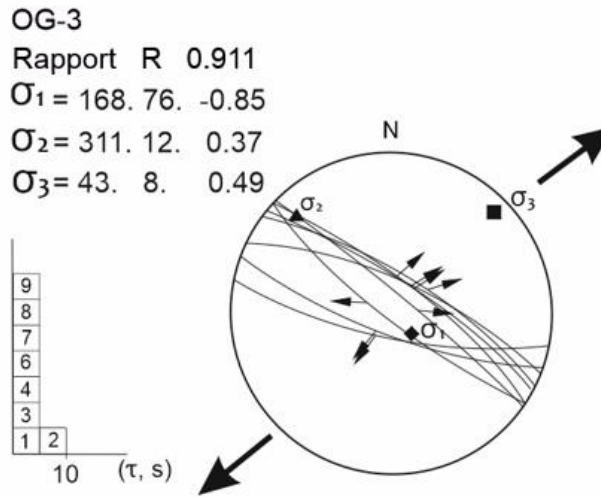
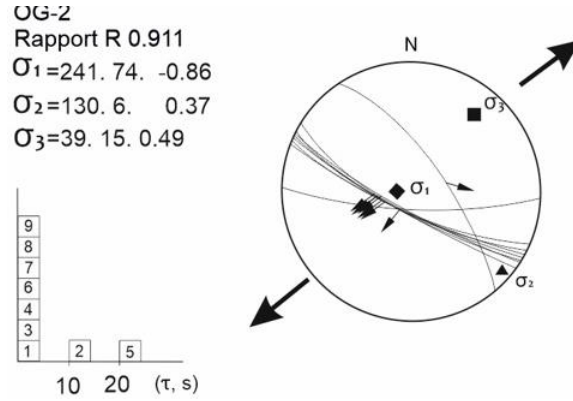
Şekil 22. KB-GD yönündeki sıkışma etkisi altında meydana gelmiş sağ yanal doğrultu atıma sahip fayların kinematik analiz sonuçları.

Bu tektonik rejim, Gemlik Fayı üzerinde belirlenmiştir. Bu istasyonda 7 adet fay düzlemi ölçülmüştür (35 T 0689636-4477690, h: 55 m.).

Buna göre en büyük asal gerilme eksenini (σ_1) ile en küçük asal gerilme ekseninin (σ_3) yatay düzlemde ve dış yayda olduğu, ortaç gerilme ekseninin (σ_2) düşey düzlemde ve merkezde olduğu doğrultu atımlı faylanma ve sıkışma rejimini sunmaktadır. Bu sağ yönlü doğrultu atımlı faylar, KB-GD (K 29 B-G 29 D) doğrultulu bir sıkışma rejimi altında gelişmişlerdir.

Çözümde asal gerilme eksenleri arasındaki R oranının 0.5'den küçük olması ($R=0.259$) transtansiyonel bir sıkışma rejiminin varlığını göstermektedir.

4.2.2 KD-GB doğrultulu lokal genişleme rejimi etkisinde gelişen normal faylanmalar



Şekil 23 a-c. KD-GB yönündeki genişleme etkisi altında meydana gelmiş sağ yanal doğrultu atıma sahip fayların kinematik analiz sonuçları.

Bu tektonik rejim, Orhangazi Fayı üzerinde belirlenmiştir. Burada 3 farklı istasyonda 33 adet fay düzlemi ölçülmüştür (OG-2: 35 T 0705858-4488874, h: 273 m.; OG3-35 T 0706789-4489161, h: 330 m.; OG-4 35 T 0706942-4488813, h: 297 m.).

Buna göre ortaç asal gerilme eksenini (σ_2) ile en küçük asal gerilme ekseninin (σ_3) yatay düzlemde ve dış yayda olduğu, en büyük asal gerilme ekseninin (σ_1) düşey düzlemde ve merkezde olduğu normal faylanma ve genişleme rejimini sunmaktadır. Bu normal faylar, yaklaşık KD-GB doğrultulu bir lokal genişleme rejimi altında gelişmişlerdir.

4.2.3. Orhangazi Fayı'nın Yapısal Özellikleri

Orhangazi Fayı, İznik Havzası'nın kuzey kenarında, Keramet ile Yeniköy arasında yer almaktadır. Orhangazi fayı bu alanda İznik Formasyonu ile Hocaköy Formasyonu'nun sınırlarını belirler. Bu iki köy arasında uzanan fay, İznik Havzasına ait formasyonları kesen fazlaca lokal normal fay toplulukları da barındırmaktadır (Şekil 22, Şekil 23, Şekil 24).



Şekil 24. Üreğil-Keramet arasında yer alan ve İznik havzasının birimlerini kesen fayların görünümü (35 T 0706942-4488813, h: 297 m).



Şekil 25. Üreğil-Keramet arasında yer alan ve İznik havzasının birimlerini kesen fayların görünümü (35 T 0706789-4489161, h: 330 m).



Şekil 26. Üreğil-Keramet arasında yer alan ve İznik havzasının birimlerini kesen fayların görünümü (35 T 0706789-4489161, h: 330 m).

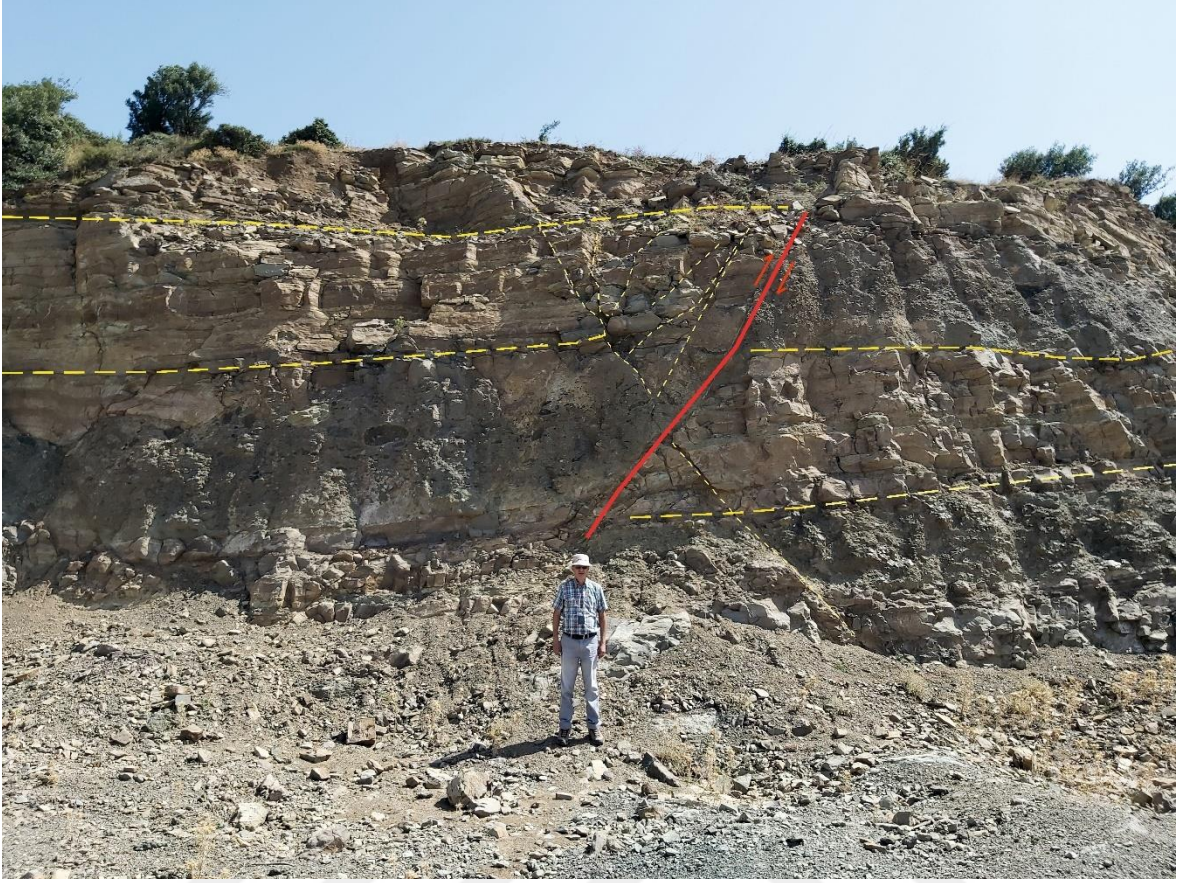
Orhangazi Fayı, Keramet Köyü'nün batı kesiminde Hocaköy formasyonunu keserek, yaklaşık 2 metre düşey atım oluşturduğu saptanmıştır. Ayrıca, düzlem üzerinde belirgin sağ yanal oblik özelliklere sahip fay izleri de bulunmaktadır (Şekil 25, Şekil 26, Şekil 27).



Şekil 27. Keramet köyü batısında yaklaşık 2 m düşey atım oluşturan fayın görünümü (35 T 0706942-4488813, h: 297 m).



Şekil 28. Keramet köyü batısında yaklaşık 2 m atım oluşturan fay görünümü (35 T 0706942-4488813, h: 297 m).



Şekil 29. Keramet köyü batısında yaklaşık 2 m atım oluşturan fay görünümü (35 T 0706942-4488813, h: 297 m).

Orhangazi Fayı, mevcut tüm verileriyle birlikte, İznik Havzası'nın kuzeyden açılmasını kontrol eden sağ yanal oblik bileşeni olan bir normal fay karakteristiğine sahiptir. Fay üzerindeki veriler, sağ yanal bileşenin belirgin bir şekilde hâkim olduğunu açıkça desteklemektedir. Bunun yanı sıra fayın temel doğrultusunun KB-GD olması, İznik ve Hocaköy formasyonları içindeki faylarda gözlenen düşey atımı da göz önünde bulundurarak, fay üzerindeki baskın hareketin normal, sekonder yer değiştirmenin ise sağ yanal olduğunu gösterir.

BEŞİNCİ BÖLÜM BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Gemlik ve Orhangazi faylarının etkin tektonik özelliklerini belirlemeyi amaçlayarak, İznik Gölü batı kenarı, Orhangazi ve Gemlik Körfezi arasındaki çalışma alanının jeolojisini, fay özellikleri ve aletsel deprem aktivitesini incelemeyi amaçlamıştır. İnceleme alanında genellikle Triyas-Jura dönemine ait ve alanın temelini oluşturan metamorfiklerin üzerine, Eosen ve Neojen dönemlerinde meydana gelen volkanizmanın ürünü olan volkaniklerin ve çökel kayaçların yanı sıra Kuvaterner döneminde meydana gelmiş güncel istiflerden oluşmaktadır. Bu bölgenin kuzey ve güney kesimi yüksek sıradağlar ile sınırlıdır. Doğu ile Batı kesimlerinde ise geniş yayılım gösteren ova alanlar mevcuttur.

Bu çalışmanın ilk odak noktasını oluşturan Gemlik Fayı, yaklaşık D-B doğrultusunda uzanır ve 35 km uzunluğundadır. Orhangazi Fayı ise KB-GD doğrultusunda uzanır ve 40 km uzunluğundadır. Gemlik ve Orhangazi faylarının son tektonik davranışını anlamak amacıyla sahadan elde edilen fay düzlemi verileri üzerinde yapılan kinematik analiz sonuçlarına göre; Gemlik Fayı'nda sağ yönlü doğrultu atımlı faylanmaların (transtansiyonel rejim) KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi altında geliştiği belirlenmiştir.

Orhangazi Fayı ise KD-GB doğrultulu genişleme rejimi altında sağ yanal bileşeni olan normal faylanma sergilemektedir. Ayrıca, Gemlik ve Orhangazi ilçeleri ile yakın çevresinde 1990-2023 yıllarında meydana gelen bazı depremlerin odak mekanizma çözüm sonuçları da, bölgedeki temel olarak KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi altında gelişen doğrultu atımlı faylanmalar ve bununla uyumlu KD-GB doğrultulu lokal genişleme rejimi olduğunu ve sıkışma rejiminin günümüzde de etkin olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

Akartuna, M. 1968. Armutlu yarımadası jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri, sayı 20, 1-105.

Altınlı, İ.E., 1973. Orta Sakarya jeolojisi, Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi, MTA, Ankara, 159-191.

Ambraseys N. ve Finkel C., 1991. Long-term seismicity of Istanbul and of the Marmara Sea region, Terra 3, 527-539.

Angelier J., 1975. Sur L'analyse Des Mesures Recueillies Dans Des Sites Failleâs: L'utiliteâ D'une Confrontation Entre Les Meâthodes Dynamiques Et Cineâmatiques. C.R. Acad. Sci. 281(II): 1805-1808.

Angelier J. ve Mechler P., 1977. Sur Methode Graphique de Recherche des Contraintes Principales Egalement Utilisable en Tectonique et en Sismologie: La Methode Diédre Droit. Bulletin de la Société Geologique de France, 19: 1309-1318.

Angelier J., 1984. Tectonic analysis of fault slip data sets, Geophys. Res., 89, 5835-58489.

Armijo R. ve Cisternas A., 1979. Un Probléme Inverse en Microtectonique Cassante. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 287: 595-598.

Arthaud F., 1969. Méthode De Déterminatioft Graphique Dês Directions de Raccourcissement, D'allongement et _ntermédiaire D'une Population de Failles. *Bull. Soe. Géol. France*, 11:729-737.

Bargu, S., 1982. The geology of İznik-Yenişehir (Bursa)-Osmaneli (Bilecik) area, İ.Ü. Yerbilimleri Dergisi, 3: 1-2, 191-234.

Bargu, S. ve Sakınç, M., 1989. İznik Körfezi-İznik Gölü arasında kalan bölgenin jeolojisi ve yapısal özellikleri, İst. Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 6, 45-76

Barka, A.A. ve Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663-684.

Barka, A.A., 1992. The North Anatolian Fault. *Annales Tectonicae*, 6, 174-195

Barka, A.A. ve Kuşçu, İ.,1996. Extents of the North Anatolian fault in the İzmit, Gemlik ve Bandırma bays, *Turkish J. Marine Sci.*, 2, 93-106.

Bott M. H. P., 1959. The Mechanism of Oblique Slip Faulting. *Geol. Mag.* 96: 109–117.

Carey E. ve Brunier B., 1974. Analyse theorique et numerique d'une modele mecanique elementaire applique â l'etude d'une population des failles, C. R. Hebd. Acad. Sci, Lett.270 : 891-894.

Carey E., 1976. Analyse numérique d'un mod` ele mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles: Calcul d'un tenseur moyen des contraintes à partir des stries de glissement: Unpublished PhD thesis, Tectonique Générale, Univ. Paris-Sud, Orsay, 138p.

Carey E., 1979. Recherche des Directions Principales de Contraintes Associées au Jeu D'une Population de Failles, *Revue Geological Dynamic and Géography Physic.* 21: 57-66.

Carey-Gailhardis E. ve Mercier J.L., 1987. A numerical method for determining the state of stres using focal mecanism of earthquake populations, *Earth Planet. Sci Lett.* 82 : 165-179.

Doğan, B. (2010). Kuzey Anadolu Fay Sistemi Güney Kolunun Geyve-gemlik Arasındaki Kesiminin Morfotektonik, Tektonostratigrafik Ve Paleosismolojik Evrimi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Ece, Ö. I., 1990. Gemlik (Bursa) bölgesindeki Tersiyer yaşlı sedimanter kayaların stratigrafisi. *TPJD Bülteni*, 2/1, 123-134.

Emre, Ö., Erkal, T., Kazancı, N., Görmüş, S., Görür, N., Kuşçu, İ., Keçer, M., 1997., Güney Marmara'nın Neojen ve Kuvaterner'deki morfotektoniği, Güney Marmara Bölgesinin Neojen ve Kuvaterner evrimi, TÜBİTAK YDABÇAG-426/G Proje Raporu, 36-68.

Emre, E., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N, Keçer, M., Ünay, E., 1998. Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaterner'deki evrimi, *MTA Derg.*, 120, 289-314.

Erk, A.S., 1942. Bursa ve Gemlik arasındaki mıntıkanın jeolojik etüdü. *MTA Memoir*, Seri B, No: 9, 295s.

Ergin, K., Güçlü, U., Uz, Z., 1967. Türkiye ve civarının Deprem Katloğu (M.S. 11 yılından 1964 sonuna kadar), İTÜ Maden Fak. Arz Fiziği Enst., No 24, İstanbul

Etchecopar A., Vasseur G., ve Daigneries M., 1981. An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault striation analysis: J. Struct. Geol., v.3 : 51-65.

Genç, Ş, 1986. Uludağ-İznik Gölü arasının jeolojisi. MTA Rapor no: 7853, 122 s.

Genç, Ş.C., 1993. İznik-İnegöl (Bursa) arasındaki tektonik birliklerin jeolojik ve petrolojik incelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fenbilimleri Enstitüsü, 522s.

Genç, Ş.C., 1995. Petrology of the pre-Liassic metamorphic basement rocks of northwestern Anatolia, In: Int. Earth Sci. Coll. On the Aegean Region (IESCA)

Genç, Ş.C., Yılmaz, Y., 1995. Evolution of the Triassic continental margin, northwest Anatolia, Tectonophysics, 243, 193-207.

Guidoboni, E., Comastri, A. and Traina, G., 1994. Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century, ING, Italy, 504 p.

Gurbuz, C. , Aktar, M., Eyidogan, H., Cisternas, A., Haessler, H., Barka, A., Ergin, M., Türkelli, N., Polat, O., Üçer, S.B., Kuleli ,S., Baris, S., Kaypak, B., Bekler, T., Zor, E., Bicmen, F., Yoruk, A. , 2000. The Seismotectonics of the Marmara Region (Turkey) : results from a microseismic experiment, Tectonophysics, 316 , p. 1–17

Ikeda, Y., Suzuki, Y. and Herece, E., 1989. Late Holocene activity of the North Anatolian fault zone in the Orhangazi plain, Northwestern Turkey, in: Multidisciplinary research on fault activity in the western part of the North Anatolian fault zone, edited by: Y. Honkura and A. Işıkara, 16-30.

Kaya, O. and Kozur, H., 1987. A new and different Jurassic to early Cretaceous sedimentary assemblage in Northwestern Turkey (Gemlik, Bursa): Implications for the pre Jurassic to early Cretaceous tectonic evolution, Yerbilimleri Der., Hacettepe Üniv., 14, 253-268.

Okay, A.İ., Siyako, M., Bürkan, K.A., 1990. Biga yarımadasının jeolojisi ve tektonik evrimi, TPJD Bülteni, 2: 1, 83-121.

Okay, A. İ., Görür, N., 1995. Batı Karadeniz ve Trakya Havzaları'nın kökenleri arasında zaman ve mekan ilişkisi, *Sym. Geol. Thrace Basin*, Ankara, 9-11.

Okay, A. İ., Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In the *Mediterranean Basins: Tertiary extension within the alpine orogen*, pp.475- 515, Geological Society of London, special publication no.156.

Özden S., 1998. Sivas havzası kuzeyinde İzmir-Ankara kenet kuşağının tektonostratigrafisi ve deformasyon biçimi (Sivas-KD Anadolu), Doktora Tezi, C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 228 s.

Över S., Ünlügenç U. C., Özden S., 2001. Hatay bölgesinde etkin gerilme durumları. *Yerbilimleri*, Sayı : 23, : 1-14

Pegoraro O., 1972. Application de la Microtectonique a une Etude de Neotectonique sur le Golfe Maliaque (Gece centrale): These de 3 cycle, Montpellier.

Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y., 1981. Türkiye ve çevresinin tarihsel deprem kataloğu, TÜBİTAK, Proje no.TBAG 341.

Straub, C.,1996. Recent crustal deformation and strain accumulation in the Marmara Sea region, NW Anatolia inferred from GPS measurements: PhD Thesis, ETH, 122s.

Straub, C., Kahle,H.G., Schindler, C, 1997. GPS and geologic estimates of the tectonic activity in the Marmara Sea region, NW Anatolia, *Journal of Geophys. Res.*, v.102, n.B12, p. 27587-27601.

Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye neotektoniğinin esasları: TJK yayını, 40s.

Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181-24

Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, *S.R.E.M. Spec. Pub.*, 37, 227-264.

Tsukuda, E., Herece, E. and Kuşçu, İ, 1988. Some geological evidences on activity of the western North Anatolian fault - Geyve, İznik, Gemlik area *Research on Quaternary crustal movement and earthquake prediction*, Report of International Research and Development Cooperation ITIT Project, no.8513, p.69-91.

Wallace R. E., 1958. Geometry of Shearing Stres and Relation to Faulting. *J. Geol.* 59: 118.

Yaltırak, C., 2000. Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Kolları ve Bölgenin Tektonik yapısı. Güney Marmara Depremleri ve Jeofizik Toplantısı, Bursa, 22 Eylül, 2000, s.44-48.

Yaltırak, C., Alpar, B., 2002. Evolution of middle strand of North Anatolian Fault and Shallow sesimic investigation of the southeastern Marmara Sea (Gemlik Bay). *Marine Geology*, 190, p:307-327.

Yılmaz, Y., 1981. Sakarya kıtası güney kenarının tektonik evrimi, İ.Ü. Yerbilimleri Dergisi, 11: 1-2, 33-52.

Yılmaz, Y., 1990. Allocthonous terranes in the Tethyan Middleeast: Anatolia and surrounding regions, *Phil. Trans. R. Soc. London*, A331, 611-624.

Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Yiğitbaş, E., Bozcu, M. ve Yılmaz, K., 1995, Geological evolution of the late Mesozoic continental margin of Northwestern Anatolia, *Tectonophysics*,243, 155-171.