

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ AVRASYA YER BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALMACIK DAĞI EOSEN YAŞLI VOLKANİKLERİNİN PALEOMANYETİK  
ÇALIŞMALARLA İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Tunç DEMİR**

**Anabilim Dalı : İklim ve Deniz Bilimleri**

**Programı : Yer Sistemi Bilimi**

**HAZİRAN 2010**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ AVRASYA YER BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALMACIK DAĞI EOSEN YAŞLI VOLKANİKLERİNİN PALEOMANYETİK  
ÇALIŞMALARLA İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Tunç DEMİR  
601081006**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 07 Haziran 2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Turgay İŞSEVEN (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Naci ORBAY (İÜ)  
Prof. Dr. Okan TÜYSÜZ (İTÜ)**

**HAZİRAN 2010**



## ÖNSÖZ

Bu çalışmada Kuzey Anadolu Fayı'nın Bolu-Akyazı arasında uzanan iki kolu arasında kalan Almacık Dağı'nın Eosen yaşlı volkanik kayaların paleomanyetizması araştırılmıştır. Araştırma sonucunda bölgenin tektonik gelişimi hakkında yorumlar yapılması amaçlanmıştır.

Bu çalışma süresince ve öncesinde değerli görüşlerini paylaşan ve çalışma süresince beni yönlendiren ve aynı zamanda tez danışmanlığımı üstlenen Yrd.Doç.Dr. Turgay İŞSEVEN'e teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi bünyesinde yürütücülüğünü Yrd. Doç Dr. Turgay İŞSEVEN'in yaptığı "Almacık Dağı'nın Eosen Magmatik Kayalarının Paleomanyetizması ve Petrolojik Özelliklerinin Araştırılması" konulu proje kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmaları süresince desteklerini esirgemeyen jeoloji ve tektonik ile ilgili değerli yardımlarını sunan Prof. Dr. Ş. Can GENÇ ve Araş. Gör. Yük. Müh. Fatma GÜLMEZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmaları sonrasında numunelerin ölçüme hazırlanması ve ölçülmesini içeren Paleomanyetik laboratuvar çalışmaları süresince ölçümlerin yapıldığı KANTEK-Paleomanyetizma Laboratuvarı'nın bulunduğu Boğaziçi Üniversitesi-Kandilli Rasathanesine bağlı Jeomanyetizma Servisinin tüm çalışanlarına yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Gerek laboratuvar, gerekse değerlendirme çalışmaları süresince karşılaştığım problemlerde yardımlarını esirgemeyen başta Araş. Gör. Yük. Müh. Ümit AVŞAR, Müh. Nalan LOM, Müh. İlhan MUTLU, Kadir Balcan FIRAT ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

"Almacık Dağı'nın Eosen Magmatik Kayalarının Paleomanyetizması ve Petrolojik Özelliklerinin Araştırılması" konulu bilimsel araştırma projesinin gerçekleştirilmesinde önemli yere sahip olan maddi gereksinimlerin sağlanması konusunda destek sağlayan İTÜ-Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Gerek lisans eğitimim gerek yüksek lisans eğitimim süresince bana maddi ve manevi destek sağlayan öncelikle ağabeyim Tuncer DEMİR ve tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2010

Tunç DEMİR  
Jeofizik Müh.



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	ix
TABLO LİSTESİ .....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ .....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 Çele Metaofiyoliti .....	4
2.2 Yellice Formasyonu .....	6
2.3 Dikmen Formasyonu .....	7
2.3.1 Derinoba Formasyonu .....	10
2.3.2 Sofular Kireçtaşı .....	10
2.3.3 Abhazyatağı Volkanikleri .....	11
2.3.4 Gökveren Formasyonu .....	11
<b>3. ÇALIŞMA ALANININ TEKTONİĞİ .....</b>	<b>13</b>
3.1 Bölgenin Paleotektoniği .....	13
3.2 Neotektonik ve KAF .....	17
<b>4. PALEOMANYETİK NUMUNELERİN TOPLANMASI ve ANALİZİ.....</b>	<b>21</b>
4.1 Arazi Çalışmaları ve Numunelerin Ölçüme Hazırlanması.....	21
4.2 İkincil Mıknatıslanmanın Temizlenmesi.....	25
4.3 Isıl Temizleme İşlemleri.....	27
4.4 Spinner Manyetometresi .....	29
4.5 Demanyetizasyon Sonuçlarının Analizi .....	30
4.5.1 Stereografik Projeksiyon .....	30
4.5.2 As-Zijderveld Projeksiyonu .....	31
4.5.3 Normalleştirilmiş Mıknatıslanma-Sıcaklık Grafikleri .....	32
4.6 Paleomanyetik Verilerin İstatistik Çözümleri .....	33
<b>5. LABORATUAR ÇALIŞMALARI .....</b>	<b>35</b>
5.1 Pilot Numunelerin Seçimi ve Analizi.....	35
5.2 Kalıcı Mıknatıslanma Ölçümleri .....	39
<b>6. DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>43</b>
6.1 Elde Edilen Ortalama Mıknatıslanma Doğrultularının Doğrultu Açılarının Değerlendirilmesi .....	43
6.2 Elde Edilen Ortalama Mıknatıslanma Doğrultularının Eğim Açılarının Değerlendirilmesi .....	48
<b>7. SONUÇLAR .....</b>	<b>49</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>51</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>57</b>





## **KISALTMALAR**

<b>AAZ</b>	: Armutlu-Almacık Zonu
<b>A/m</b>	: Amper/metre
<b>CFR</b>	: Centre des Faibles Radioactivites-Laboratorie
<b>DKM</b>	: Doğal Kalıcı Miknatıslanma
<b>GPS</b>	: Global Positioning System
<b>KAF</b>	: Kuzey Anadolu Fayı
<b>K-Ar</b>	: Potasyum-Argon metodu ile radyometrik yaş tayini
<b>KANTEK</b>	: Kandilli Rasathanesi – İstanbul Teknik Üniversitesi
<b>MMTD60</b>	: Magnetic Measurements Thermal Demagnetiser 60
<b>my</b>	: milyon yıl



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

- Tablo 3.1** : Çalışma alanı ve civarında gerçekleşek yakın tarihli depremler. Şekil 3.4'te haritalanan depremlerin ayrıntılı bilgileri ve odak çözümü parametrelerini içermektedir. (Özden ve diğ. 2008'den alınmıştır.) . .... 20
- Tablo 5.1** : Paleomanyetik mevki ortalamaları. N: ortalamaya katılan numune sayısı, n: toplanan numune sayısı; R: bileşke vektör; k: Fisher duyarlık parametresi ( $k=(n-1)/(n-R)$ );  $\alpha_{95}$ : emniyet çemberi ( $^{\circ}$ ). Polarite normal ve ters olarak sınıflandırılmıştır (N, R). ..... 41



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

- Şekil 2.1** : Mudurnu Vadisinin kuzeyinde kalan Almacık Dağı'nın Jeoloji Haritası (Yılmaz ve diğ. 1995).. ..... 3
- Şekil 2.2** : Çele Ofiyoliti ve Yellice volkaniklerinin stratigrafik kesitleri. I; Almacık Bloku'nu temsil eden dizilim (Yiğitbaş ve diğ. 2004'ten alınmıştır). ..... 5
- Şekil 2.3** : Almacık Dağının kuzeybatı kesimlerinin jeoloji haritası (Gülmez, 2009). 8
- Şekil 2.4** : Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Gülmez, 2009). .....9
- Şekil 3.1** : Okay ve Tüysüz, (1999) tarafından hazırlanmış Kuzeydoğu Akdeniz bölgesinin başlıca Sütür ve Kıtasal blokları gösteren harita. Sütür Zonları üçgenler dalma yönünü gösterir şekilde Pasif zonlar dolu üçgenler ve kalın çizgiler ile, aktif zonlar içi boş üçgenler ve kalın çizgiler ile gösterilmiştir. Kıvrımlanma ve bindirme kuşakları üçgenler hareket yönünü gösterecek şekilde ince çizgiler ile gösterilmiştir. .... 13
- Şekil 3.2** : Kuzey Batı Anadolu ve çevresinin Tektonik evrimini gösteren Paleotektonik Haritalar (Elmas ve Yiğitbaş 2001). ..... 16
- Şekil 3.3** : Almacık Bloku ve yakın çevresinin aktif fay haritası (Emre ve diğ., Hazırlanmakta'dan yararlanılarak) ve son yüzyılda meydana gelmiş  $M > 4$  depremlerin dışmerkez dağılımı ile ana şokların odak mekanizması çözümleri. Yıldırım, (2008)'den alınmıştır. YKSA: Yüzey kırığı sağ yönlü doğrultu atımlı, YKN: Yüzey kırığı normal; YKT: Yüzey kırığı ters, DFSA: Diri fay Sağ yönlü doğrultu atımlı, DFSL: Diri fay sol yönlü doğrultu atımlı, DFN: Diri fay normal, DFT: Diri fay ters, PDFSA: Potansiyel diri fay sağ yönlü doğrultu atımlı, PDFN: Potansiyel diri fay normal, PDFT: Potansiyel diri fay ters ..... 18
- Şekil 3.4** : Almacık Dağı ve çevresinin Sismotektonik haritası ve odak mekanizması çözümleri. Harfler Tablo 3.1'de verilen 14 adet depremi temsil etmektedir. (Özden ve diğ. 2008'den alınmıştır). ..... 19
- Şekil 4.1** : Paleomanyetik yönlü numune toplanması; a) karot numunelerinin b) el numunelerinin toplanması. Tauxe, (1992)'den alınmıştır. .... 22
- Şekil 4.2** : Arazide numunelerin bilgilerinin belirlenmesi ve adlandırılması: Güneş pusulası yardımıyla azimut ve eğim açıları okunur. Numune kayaçtan koparıldıktan sonra üst yüzüne Yönlendirme İşaretleri alt yüzüne Numune Adı işlenir (İşseven, 2001'den alınmıştır). .... 24
- Şekil 4.3** : KANTEK laboratuvarında ölçüme uygun hale getirilen karot numuneler ..... 25
- Şekil 4.4** : Isıl Temizleme işlemlerinin gerçekleştirildiği MMTD-60 model ısıl temizleme fırını. .... 28
- Şekil 4.5** : Fransız CFR kuruluşu imalatı olan düşük hızlı Spinner Manyetometresi. .... 29
- Şekil 4.6** : Stereografik projeksiyon ve örnek verilerin gösterimi(Collinson, 1983). 31
- Şekil 4.7** : Zijderveld projeksiyonu ve örnek verilerin gösterimi(Collinson, 1983).. 31
- Şekil 4.8** : Normalize edilmiş Mıknatıslanma Şiddeti- Sıcaklık grafiği (İşseven, 2001). .... 32

<b>Şekil 5.1</b> : AD3-4A ve AD19-7A numunelerine ait pilot ölçüm sonuçları. (a,d) Zijderveld, (b-e) Stereografik, (c,f)Normalize edilmiş Şiddet-Sıcaklık grafiğidir. ....	36
<b>Şekil 5.2</b> : AD15-1B numunesine ait pilot ölçüm sonuçları. (a,d) Zijderveld, (b-e) Stereografik, (c,f)Normalize edilmiş Şiddet-Sıcaklık grafiğidir. a,b,c yorumlanmamış sonuçlar, d,e,f ikincil mıknatıslanmaların ayıklandığı, birincil mıknatıslanmanın işaretlendiği sonuçlar. ....	38
<b>Şekil 5.3</b> : Laboratuvar çalışmaları sonucunda kararlaştırılan temizleme sıcaklık....	39
<b>Şekil 5.4</b> : ADP5 mevki sine ait ortalama mıknatıslanma doğrultusu hesaplanmasını gösteren stereografik projeksiyonlar NRM; Doğal Kalıcı Mıknatıslanma değerini, 100: 100°C değerine kadar ısıl temizleme adımları gerçekleştirildikten sonraki değerleri göstermektedir. ....	40
<b>Şekil 6.1</b> : Almacık Dağı ve çevre mevkiilerin haritası. Almacık Dağı içerisinde 19, Sakarya Serdivan civarında 5 ve Yığılca civarında 2 mevkiinin yerlerini gösteren harita. ....	43
<b>Şekil 6.2</b> : Almacık Dağı ve çevre mevkiilere ait paleomanyetik doğrultular ve fayları gösteren harita. ....	44
<b>Şekil 6.3</b> : Almacık Dağı Eosen yaşlı volkaniklerden oluşan mevkiilerin ortalama mıknatıslanma doğrultuları. Ortalama mıknatıslanma ortalamaları; D: 37,0 I:57,53 $\alpha_{95}$ : 11,16 k: 36,97. ....	45
<b>Şekil 6.4</b> : Sağ yönlü doğrultu atımlı iki fay kolu arasında kalan blokların hareketi. a) Blokların ilk konumları, b) blokların rotasyona uğradıktan sonraki durumları. ....	46

## SEMBOL LİSTESİ

<b>A</b>	: Sabit
<b>a</b>	: Shear Zonu'nun genişliği
<b>c</b>	: Sabit
<b>D</b>	: Mıknatıslanma doğrultusunun sapma açısı
<b>D</b>	: Shear zonu boyunca oluşan toplam atım miktarı
<b>Hc</b>	: İç direnme kuvveti (Koersif kuvvet)
<b>I</b>	: Mıknatıslanma doğrultusunun eğim açısı
<b>Jo</b>	: Doğal Kalıcı Mıknatıslanma şiddeti
<b>Js</b>	: Mıknatıslanma şiddeti
<b>J/Jo</b>	: Her bir demanyetizasyon adımında ölçülen mıknatıslanma şiddetinin doğal kalıcı mıknatıslanma şiddetine oranı
<b>k</b>	: Boltzman Sabiti
<b>k</b>	: Prezisyon parametresi
<b>N</b>	: Numune sayısı
<b>p</b>	: Yoğunluk dağılımı
<b>R</b>	: Bileşke Vektör
<b>T</b>	: Sıcaklık
<b>Tc</b>	: Curie Sıcaklığı
<b>V</b>	: Dane Hacmi
<b><math>\alpha_{95}</math></b>	: Emniyet Çemberi
<b><math>\theta_{95}</math></b>	: Emniyet Çemberi yarıçapı
<b><math>\tau</math></b>	: Rölaksasyon Zamanı
<b><math>\psi</math></b>	: Radyan cinsinden rotasyon açısı
<b><math>\lambda</math></b>	: Coğrafik Enlem





# ALMACIK DAĞI EOSEN YAŞLI VOLKANİK KAYAÇLARININ PALEOMANYETİZMASININ ARAŞTIRILMASI

## ÖZET

Kuzey-Batı Anadolu'da Düzce ovasının güneyinde yer alan Almacık Dağı, Kuzey Anadolu Fayı'nın iki kolu tarafından sınırlandırılmıştır. Doğrultu atımlı ve sağ yanal atımlı bu fayların hareketleriyle birlikte Almacık Dağı'nın bir rotasyon hareketine maruz kaldığı çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Bu çalışmada ise Eosen yaşlı volkanik kayalar üzerinde paleomanyetik çalışmalar yapılmış ve önceden bölgede yapılmış olan paleomanyetik sonuçlarda tartışılmıştır.

İstanbul Teknik Üniversitesi – Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi bünyesinde yürütülen bu çalışma ile Almacık Dağı ve civarında 26 mevki'den en az 7 karot olacak şekilde toplanan numuneler KANTEK paleomanyetizma laboratuvarında ölçülmüştür. Yapılan paleomanyetik ölçümler ve istatistiki analizler sonucunda Eosen volkanik kayalarına ait ortalama mıknatıslanma doğrultusu  $37^\circ$  ve eğim(inklinasyon) değerinin de  $57^\circ$  olduğu saptanmıştır.

Güvenilir mıknatıslanmaya sahip mevkilerden elde edilen ortalama mıknatıslanma doğrultusu ile KAF. zonu'nun çalışma alanındaki etkileri ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Sağ yanal atımlı KAF'in özeliğiyle ilişkilendirilen rotasyonlar bölgede daha önceden yapılmış olan çalışmaların sonuçlarıyla birlikte modellenmiştir. Elde edilen sonuçların bölgede daha önceden yapılan Yıldırım (2008) ve çalışma alanının yakınındaki Armutlu Yarımadasındaki Avşar, (2008) çalışmaları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Ayrıca Almacık Bloğu dışarısında kalan güvenilir mıknatıslanmaya sahip mevkilerden örnekleme yapılmış ve bunlardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların bloğun çevresindeki eş yaşlı-farklı tektonik etkiler altındaki bölgelere göre daha yüksek olmasının rotasyona uğradığı görüşünü desteklediği gözlemlenmiştir.

Teorik hesaplamalar ve ölçümler sonucunda elde edilen eğim değerleri karşılaştırılmış ve bölgenin enlemsel bir hareketini işaret eden sonuçlara ulaşılamamıştır.



# **THE PALEOMAGNETISM OF EOCENE VOLCANICS OF ALMACIK MOUNTAIN**

## **SUMMARY**

Almacık Mountain is placed in the Northwestern Anatolia, south of Düzce. The area is surrounded by the two branches of the North Anatolian Fault. Because of the strike slip fault properties of N.A.F the study area is expected to be rotated under the forces. Some studies also mentions about these rotational aspects of the area. In this study, Paleomagnetism of the Eocene aged volcanic rocks of the Almacık Mountain investigated. Additional former studies in the area was discussed and examined with the new results.

Field studies of the project was completed with 26 sites all of which includes 7 or more cylindrical samples. The field studies was funded by İ.T.Ü–Scientific Research Projects Department. The samples was prepared for measurments in KANTEK. KANTEK was also the place where the measurments of the samples completed. The results of the measurments of the study and the calculations indicates that the declination of the study area is  $\sim 37^\circ$  and the incliation of the study area is  $\sim 57^\circ$ .

Results of the mean magnetization direction of the reliable sites were interpreted with the N.A.F. Zones reflecitons on the study area. Also right lateral fault properties of N.A.F. and previous studies results at the study area were combined with a model. The Results of the calculations found coherent with previous studies such as Yıldırım, (2008) at the study area and Avşar, (2004) at Armutlu Peninsula.

In addition, the sites out of the Almacık Flake were sampled. Reliable sites results matched with the flakes results. The calculations obtained from areas with Eosen aged with different tectonic regimes showed smaller rotation signs. The results found consisted with the rotatin interpretations under effects of the N.A.F.

Theoretical calculations and laboratory measurments on inclination values were also compared. Inclination results interpreted as not effectual for an North-South movement identification of the Almacık Flake.



## 1. GİRİŞ

Bu çalışma içeriğinde Almacık Dağı Eosen yaşlı volkaniklerinin paleomanyetizması incelenerek çalışma alanı hakkında bilgi üretilmesi amaçlanmıştır. Bilindiği gibi paleomanyetizma çalışmaları Yer Manyetik Alanının geçmiş yapısının araştırılması, kayaçların manyetik özelliklerinin incelenmesi ve çökel kayaların oluşma ortamları ve koşulları ile ilgili bilgi sağlaması gibi uygulamalar ile çeşitli tektonik problemin çözümü için önemli bilgiler sağlamaktadır.

Paleomanyetik çalışmalar sonucunda örnekleme yapılan kayaçların mıknatıslanma kazandığı zamandaki kaydedilen doğrultu ve eğim değerleri ile geçmiş zamanlarda etkilendiği manyetik alan özelliği belirlenebilir. Elde edilecek bu bilgiler ile çalışma alanının güncel koşulları birlikte değerlendirildiğinde çeşitli tektonik problemler için önemli çıkarımlara ulaşılabilir. Çalışma yapılan bölgenin geçmişte bulunduğu enlem-boylam bilgileri elde edilebileceği gibi, tektonik etkiler sonucu maruz kaldığı doğrultu ve eğim değişimleri ve bunlara neden olan kuvvetlerin tanımlanmasında katkı sağlayabilir.

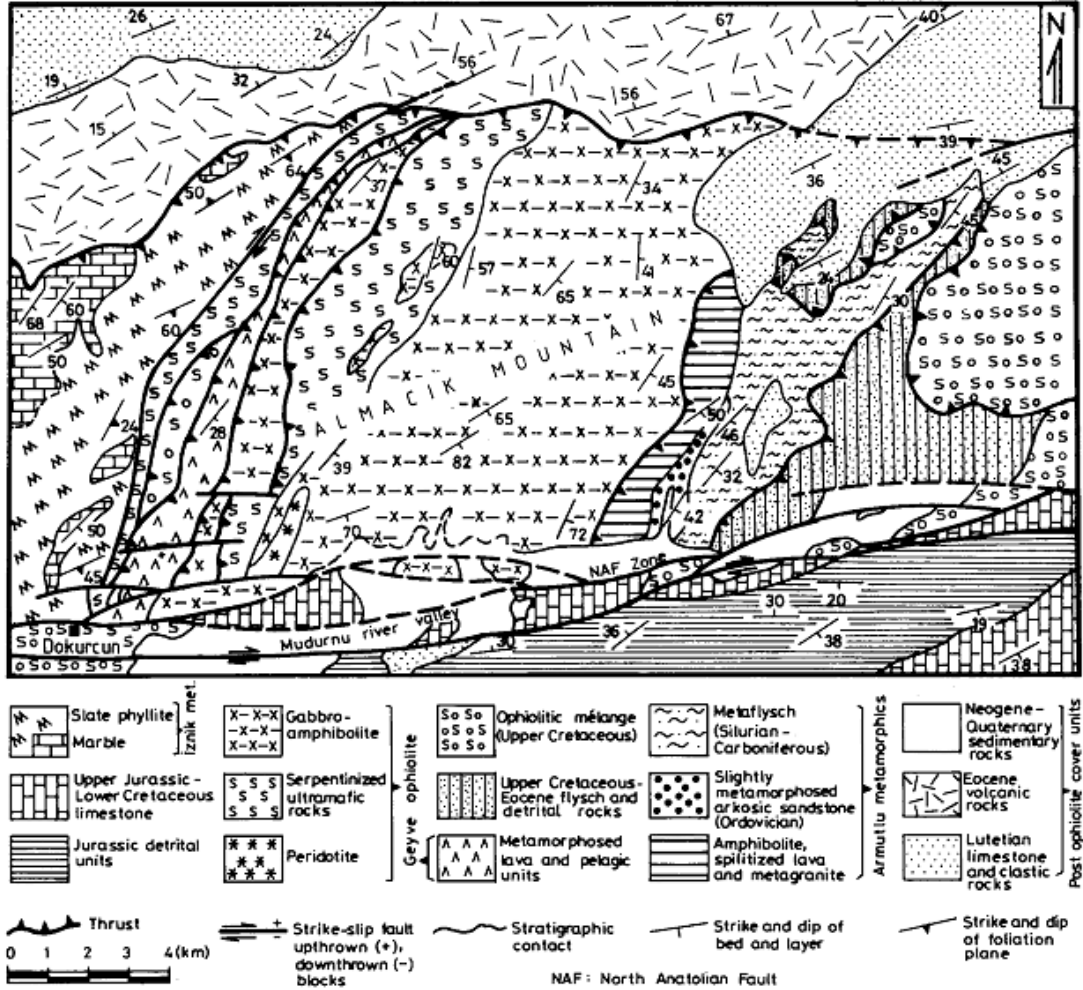
Çalışmanın yapıldığı Almacık Dağı ve çevresinde doğrultu atımlı KAF nedeniyle rotasyonlar meydana geldiği çeşitli araştırmalarda dile getirilmiştir. Etki alanının genişliği birkaç km'yi aştığı fay zonlarında doğrultu atımlı fayların rotasyonlara yol açması çeşitli çalışmalar ile daha önceden dile getirilmiştir (McKenzie ve Jackson 1983; Şengör ve diğ. 1985; Tatar ve diğ. 1996). Almacık bloku üzerinde ise Şengör ve diğ. (1985) yapısal rotasyon izlerinden ve Sarıbudak ve diğ. (1990) paleomanyetik çalışmalar ile, Ayhan ve diğ.(2002) tarafından GPS çalışmaları ile, Beyhan ve diğ.(2004) tarafından yapılan gravite ve havadan manyetik çalışmaları ile, Yıldırım (2008) tarafından akarsu şebekelerinin incelenmesi ve ilişkilerinin değerlendirilmesine dayanan jeomorfik çalışmalar ile rotasyonun tanımlanması için çeşitli yaklaşımlar ile çalışmalar yapılmıştır.

Çalışma alanında daha önceden yapılan çeşitli araştırmalar ile birlikte çeşitli paleomanyetik çalışma sonuçları da bulunmaktadır. Ancak bu çalışmaların sonuçlarının birbirleriyle uyumlu sonuçlar vermemesi ve araştırmacıların probleme yaklaşımındaki farklılıklardan dolayı bu çalışmanın yapılması gerekli görülmüştür. KAF 'nın bölgedeki etkinliği ile doğrudan ilişkili olduğu düşünülen rotasyonun incelenmesi için bölgeye KAF'dan daha önce yerleşmiş Eosen yaşlı volkaniklerin çalışılması ile probleme doğru yaklaşımın yapılacağı düşünülmüştür.

Bu çalışma kapsamında bölgenin jeolojisi ve tektonik özelliklerinin kısa özetleri ile birlikte yapılan değerlendirmelerin daha iyi anlaşılabilmesi için paleomanyetik çalışma esasları hakkında arazi ve laboratuvar çalışmaları olarak ayrı ayrı gerekli görülen açıklamalar yapılmıştır. İlerleyen bölümlerde verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması aşamaları anlatılıp elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

## 2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Almacık Dağı, İstanbul Zonu ve Sakarya Kıtasının arasında olup Elmas ve Yiğitbaş (2001) tarafından Armutlu-Ovacık Zonu olarak adlandırılan zonda yer almaktadır (Şekil2.1). Almacık Dağı, Armutlu Ovacık Zonu'nun Akyazı Bolu arasında Kuzey Anadolu Fayı kolları ile sınırlandırılmış Doğu-Batı doğrultusunda 80 km, Kuzey-Güney doğrultusunda 20 km'lik bir alanı oluşturmaktadır. Armutlu-Ovacık Zonu, İstanbul-Zonguldak ve Sakarya Kıtasının tektonik bir karışımı olarak tanımlanmaktadır (Elmas ve Yiğitbaş, 2001).



Şekil 2.1 : Mudurnu Vadisinin kuzeyinde kalan Almacık Dağı'nın Jeoloji Haritası (Yılmaz ve diğ. 1994).

Almacık bloğu genel olarak Paleozoyikten Eosen'e kadar uzanan farklı yaşlarda metamorfik, sedimanter ve volkanik kayalar içermekte ve Pontid-İçi Süturu'nun K-G hareketi ile ayrılmış durumda olduğu önerilmektedir (Yılmaz ve diğ., 1981; Şengör ve diğ., 1985). Metamorfik temel kayaların üzerinde Orta Eosen yaşlı Dikmen Grubu bulunmaktadır. Grubun denizel kireçtaşları ve fliş-sedimanter kayalar içerdiği gözlenmektedir. Aynı zamanda bazalt, andezit, dasit bileşimli volkanitler, volkanoklastik kayalar içerdiği görülmektedir. Bunların üzerinde Pleyistosen kireçtaşları ve Kuvarterner yaşlı güncel örtü birimleri bulunmaktadır. Metamorfik temel ile Orta Eosen yaşlı birimler arası düzlemlerde tektonik etkiyle diskordans olarak örttüğünü işaret etmektedir (Gülmez, 2009).

Çele Metaofiyoliti ve Yellice Formasyonu ile tanımlanabilecek olan temel Tüysüz ve diğ., (2004) esas alınarak tanıtılmıştır. Bunların üzerinde yer alan Dikmen Grubu ve daha genç birimlerin tanımlanmasında Gülmez, (2009) esas alınmıştır.

## **2.1 Çele Metaofiyoliti**

İlk kez Yiğitbaş ve Elmas, 1997 tarafından haritalanmış ve adlandırılmış olan bu birim İstanbul-Zonguldak metamorfik temelinin içerisinde bulunmaktadır. Yiğitbaş ve Elmas (1997)'ye kadar Demirci Formasyonu ve Çele Metaofiyoliti birlikte anılmıştır. Sünnice Grubu (Biberoğlu, 1984; Özaltın, 1984; Ustaömer, 1996), Karadere Metamorfikleri (Cerit, 1990), Almacık ofiyoliti (Yılmaz ve diğ., 1981) ve Armutlu yarımadasındaki Büyükkumla amfiboliti (Yılmaz ve diğ., 1990) ilişkili olabilecek adlandırmalardır (Tüysüz ve diğ., 2004).

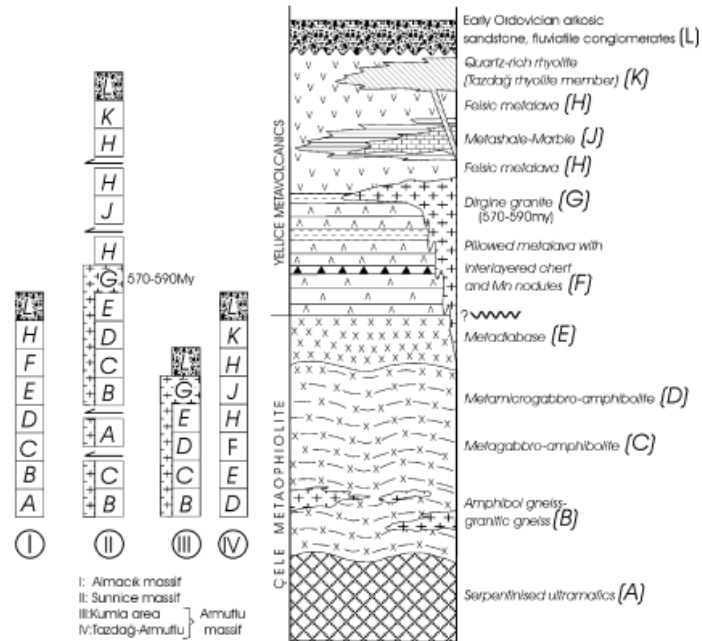
Birimi en iyi temsil eden kesitler Çelegölcük orman deposu civarlarında Bolu-Yedigöller-Yığılca yol kavşağı dolaylarında yol yarmalarında rastlanmaktadır. Çele Metaofiyoliti Almacık Dağı'nın güney kesimlerinde Ilıca, Bekdemurlar, Akçaalan köyleri arasında yol yarmalarında da yüzelediği görülmüştür (Tüysüz ve diğ., 2004). Demirci formasyonundan sonra bölgeye yerleşen çele metaofiyolitinin Armutlu-Almacık'ta taban dokanağı tespit edilememiştir (Şekil2.2). Yüzeyde görüldüğü koşullarda ise Yellice formasyonu ile görülmüştür (Yiğitbaş ve diğ. 2002). Yellice ve Çele dokanakları birbirleriyle yapı farkı göstermemekte ve dokanak işaretleri görülememektedir (Tüysüz ve diğ., 2004).



Çele Metaofiyoliti Sünnice, Armutlu ve Almacık alanlarında 2500 m'den daha kalın gözlenebilmektedir. Litolojik olarak tabanda Ultramafik kayalarla başlayıp tavanda epiofiyolitik lav-çökel dizilerine kadar bütün ofiyolitik seri birimleri görülmektedir (Tüysüz ve diğ., 2004).

Çele Metaofiyoliti Almacık Dağı'nda istifin tabanında ultramafik birimler ile görülmüş ve Şekil 2.2'deki gibi stratigrafik dizilim gösterdiği belirlenmiştir. Sünnice dağında da görülen birimin Armutlu'da yüzeyletiği tespit edilmiştir. Almacık dağında dunit, lertzolit, verlit ve olvin vebsterit ile tanımlanan Çele Metaofiyolitinin kromit belirtileri gösterdiği de belirtilmiştir (Tüysüz ve diğ., 2004). Ultramafik kayalarında serpantinitleşme görülen birim aynı zamanda magnezit-magnezit-kuvars mineral toplulukları içerdiği gözlenmiştir (Tüysüz ve diğ. 2004). Ultramafik kayaların amfibolit geçişleri azda olsa görülen birimin parajenez ile traktolit ve anortozit gelişimi gösterdiği belirlenmiştir (Tüysüz ve diğ. 2004).

Çele Metaofiyolitinin yaşı, Sünnice dağında Erken Ordovisyen yaşlı Kurtköy Formasyonu tarafından açılal uyumsuzukla örtüldüğü için daha önceye ait olması gerekmektedir. Chen ve diğ., (2000) ve Ustaömer ve diğ., (2003) tarafından Araç-Karadere alanında metamorfik temel kayaları kesen metagranitlerde yapılan çalışmalarda elde edilen 570-590 my yaşları ile de Çele metaofiyolitinin Prekambriyen yaşlı olduğı söylenmektedir (Tüysüz ve diğ., 2004).



**Şekil 2.2 :** Çele Ofiyoliti ve Yellice volkaniklerinin stratigrafik kesitleri. I; Almacık Bloku'nu temsil eden dizilim (Yiğitbaş ve diğ. 2004'ten alınmıştır).

## 2.2 Yellice Formasyonu

İlk kez Cerit (1990) tarafından haritalanmış ve adlandırılmış, Bolu Kuzeyinde, Sünnice Dağı'ndaki Yellice sırtı ve civarlarından formasyon adını almıştır. Formasyonun dağılımı Batı Karadeniz'de oldukça yaygın durumdadır (Tüysüz ve diğ., 2004). Cerit (1990) dan önce ve farklı alanlardaki adlandırmalar nedeniyle Çaşurtepe formasyonu (Ustaömer, 1996), Yellice metavolkaniti (Yiğitbaş ve Elmas, 1997; Yiğitbaş ve diğ., 1999), Orhandağ bazikleri, Yedigöller formasyonu (Aydın ve diğ., 1987), Tazdağ metavolkaniti (Yılmaz ve diğ., 1990, 1994) ilişkili olabilecek birimlerdir (Tüysüz ve diğ. 2004).

Formasyon Almacık dağında Aptiköy, Yeğendere ve Yürse köyü civarlarında kalın yüzlekler halinde gözlenmiştir. Ayrıca Armutlu Yarımadası'nda Esenköy, Tazdağ civarında tipik özellikler gözlenmiştir (Tüysüz ve diğ., 2004). Yellice formasyonu sınırlarında Sünnice, Almacık ve Armutlu bölgelerinde altta Çele Metaofiyoliti, Sünnice masifinde Bolu-Yedigöller yolunun Kapıkaya tepe-Sarıağıl mevkiinde üstte Dirgine Metagranodiyoritinin yer aldığı görülmektedir (Tüysüz ve diğ., 2004). Çele Metaofiyoliti ile olan dokanaklar daha önceki başlıkta belirtildiği gibi metamorfizma ve yapı farkı göstermekte ve tektonizma nedeniyle birincil dokanak işaretlerinin kaybolduğu görülmektedir.

Yellice Formasyonu metamorfizması düşük derecedir, bazalt, riyolit litolojileri içermektedir. Formasyon bir volkanik çökel topluluğu özelliği taşıdığı belirtilmiştir. Metamorfizma ve deformasyon nedeniyle birincil nitelikleri kısmen silinmiş olmasına rağmen birimin orijinal stratigrafik dizilimi Şekil 2.2'deki gibi özetlenebilir (Tüysüz ve diğ., 2004). Formasyonun alt kesimlerine doğru olan bölümlerde alterasyona uğramış bazaltik lavlar, çört radyolaritler altta dünit riyolit, piroklastikler tespit edilmiştir. Mineral içeriği olarak albit, epidot klorit ve aktinolitten oluştuğu ve yeşilşit özelliği görülmektedir. Yellice Formasyonu'nun en üst kesimlerinde metavolkanik kayalarla birlikte fillat, şist ve mermer düzeyleri bulunur. Armutlu Yarımadası'nda formasyonun üst kesimlerinde yer alan kuvarsça zengin felsik lavlar Yiğitbaş ve diğ., (1999) tarafından Tazdağ Riyolit üyesi olarak tanımlanan formasyon ile aynıdır (Tüysüz ve diğ. 2004).

Yellice formasyonu Armutlu Yarımadası'nda yüzlekleri metavolkanit-metapelit-metakarbonatlar ile tanımlanmaktadır. Armutlu-Bozburun-Tazdağ-Esenköy civarlarında yüzlekleri gözlenmektedir (Tüysüz ve diğ. 2004). Metabazaltlar üyeleri yastık yapılı çört ara katmanlı yüzleklere sahiptir. Tazdağ'da kuvarsça zengin felsik metalavlar metatüfler görülmüştür (Tüysüz ve diğ. 2004). Özellikle Tazdağ dolaylarında yaygın gelişmiş kuvarsça zengin felsik metalav-metatüf düzeyleri bulunmuştur. Riyolit-riyodasit bileşiminde olan birimleri volkanik kayalar nedeniyle metamorfizmaya uğramış ama camsı kuvars ve feldspat hamurları belirgin kalmıştır (Tüysüz ve diğ., 2004).

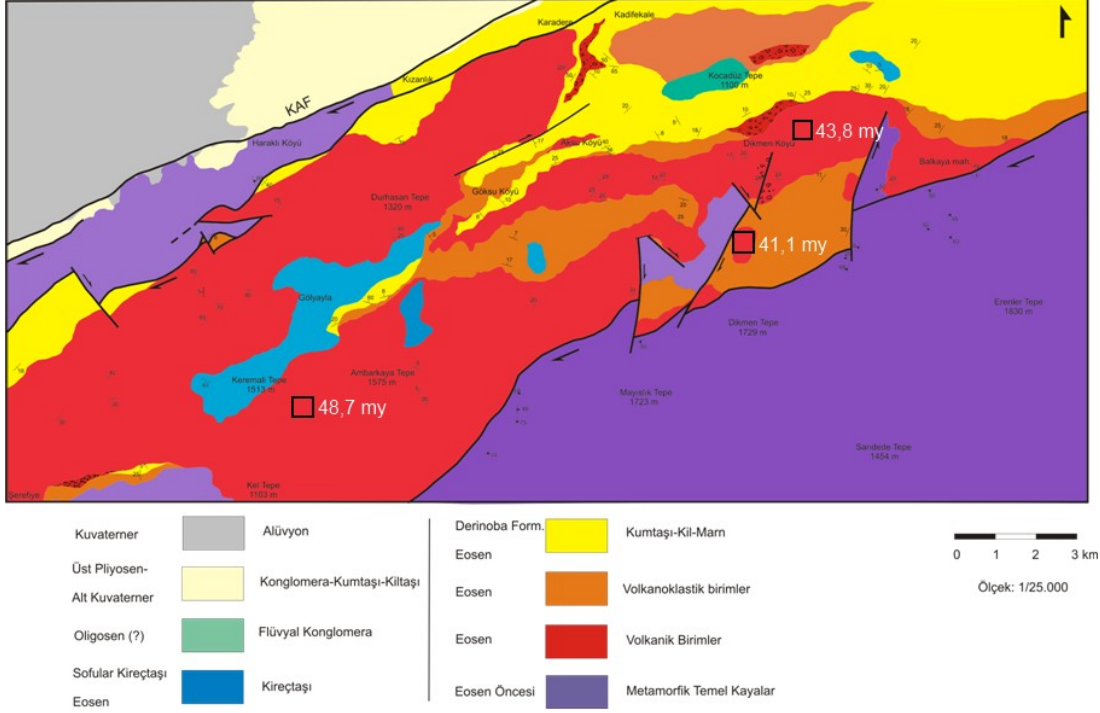
Armutlu bölgesinde Kaplıca civarındaki volkanik kayalar içerisinde ardalanmalı yapı gözlenmektedir. Mercek ve kama biçimli fillat-mermer ardalanmaları volkanik kayalar içinde yaygın şekilde gözlenmektedir. Tazdağ ve Eriklihavuz dolaylarında akma yapıları korunmuş zayıf metamorfizma etkileri gözlenmektedir. Asidik kayalar ile volkanikler arasında hem birincil dokanaklar hemde metalavlar keser biçimde gözlenmektedir (Tüysüz ve diğ., 2004).

Yellice, Sünnice'de örtü katmanı olan Kurtköy formasyonu nedeniyle erken ordovisenden genç olma gerekliliği belirtilmiştir. Karadere civarında Chen ve diğ., (2000) ve Ustaömer ve diğ., (2003) tarafından elde edilen metagranit yaşları 570-590my bulunmuştur. Bu birimler ile Karadere kesiştiği belirlendiği için Prekambiriyen yaşlı olduğu önerilmiştir (Tüysüz ve diğ., 2004).

### **2.3 Dikmen Formasyonu**

Almacık Dağı'nın kuzey kesimlerinde (Şekil 2.3), Dikmen Köyü civarındaki yüzlekleri nedeniyle Yılmaz ve diğ., (1981) tarafından ilk olarak adlandırılmıştır. Dikmen Grubu volkanik kayalar, bunlarla ilişkili volkanojenik birimler, volkanojeniklere benzer kalın çökel kayalar ile kireçtaşı birimlerinden oluşmaktadır (Gülmez, 2009). Metamorfik temel üzerine yerleşen Dikmen Grubu ve Kuvaterner'e kadar uzanan birimlerin stratigrafik kesiti Şekil 2.4'te görülmektedir.

Göksu Formasyonu, epiklastik ve piroklastik kaya birimlerinden oluşan volkanoklastik kaya topluluğudur. Balkaya Mahallesi, Kadifekale, Göksu civarı ve Patateslik tepe dolayları Gülmez, (2009) tarafından tipik yüzylediği bölgeler olarak belirtilmiştir.



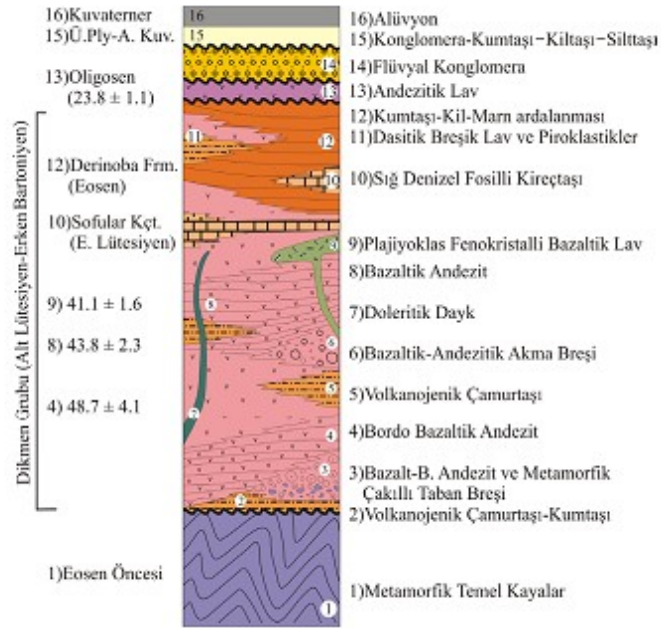
**Şekil 2.3 :** Almacık Dağı'nın kuzeybatı kesimlerinin jeoloji haritası (Gülmez, 2009).

Epiklastik birimlerinde tane boyları kum ve silt boyutunda, rengi sarımsı bej-gri, yapısı bazı yerlerde kırıklı parçalanmış, kalınlığı 2-10 cm olduğu gözlenmiştir. İleri derecede alterasyonların görüldüğü Göksu Formasyonunun mikroskop incelemelerinde plajiyoklas kırıntıları ve kil boyutunda malzemeler görünmektedir (Gülmez, 2009). Metamorfik temel birimlerini diskordan olarak örttüğü görülmekte ve bu temele ait çakıllar içermektedir. Piroklastik birimlerin litik parçaları bazaltik andezit, andezit ve bazalt olarak, kristal parçalar ise çoğunlukla plajiyoklastlardan oluşmaktadır. Piroklastik birimlerin içerisinde 20-25 cm genişliklere ulaşan kaya blokları görülmektedir (Gülmez, 2009).

Ayrılmamış volkanik birimler Gülmez, (2009) tanımına göre bazalt, bazaltik andezit, andezit ve dasit bileşimindeki lavlardan oluşmaktadır. Metamorfik temele yakın yerlerde istifin tabanındaki lavlar çoğunlukla bazaltik andezit, yer yer bazalt bileşiminde görülmektedir. İstifin üst kısımlarına gelen bölümlerde ise andezitten dasite lav türevleri bulunmaktadır (Gülmez, 2009).

Bazaltik andezitik ve bazaltik lavlar Dikmen Formasyonu'nun tabanını temsil etmekte ve tipik kesit örnekleri Keremali Tepesi güney batısında ve güneyde Keltepe civarında görülmektedir (Şekil 2.3). Alterasyona uğramış yüzleklerde kahverengi renkli, korunmuş yüzleklerinde ise gri-bordo renklerinde olan birimler piroklastik birimlerle birlikte görülürler (Gülmez, 2009). Genel olarak 1-3 cm boylu bazaltik andezitik ve andezitik içerikte yuvarlanmamış çakıllar içermektedirler. Metamorfik temel birimlerini diskordans ile örtmekte ve sleyt, fillat ve mermer parçaları içermektedir (Gülmez, 2009).

Dikmen Köyü kuzeybatısındaki alanlarda ve Aksu-Çiğdem yaylası yolu üzerinde bulunan bazaltlar yüzleklerde 25-50 cm aralıklı foliasyon düzlemleri göstermekte yer yer 30-100 cm katman kalınlıkları göstermektedir. Alterasyona uğramış bölümlerinde toprak renginde iken korunmuş bölümlerde koyu, açık ve yeşilimsi gri ve bordo renklerde görülmektedir (Gülmez, 2009).



**Şekil 2.4 :** Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Gülmez, 2009).

Bazaltik andezitik bileşimli breşik özellikteki lavlar 20-100 cm boylarında çakıl ve bloklar içermekte ve tipik yüzlek olarak Göksu-Kocadere yolu civarlarında görülmektedir. Bazalt-bazaltik andezitik lavlar mikrokristalen, hemikristalen porfirik doku özelliğini göstermekte plajiyoklas fenokristalleri ile az miktarda mafik ve opak mineral içermektedir (Gülmez, 2009).

Dikmen Grubuna ait andezitik lavlar istifin orta kesimlerinde daha çok görülürken, dasit türündeki lavlar genellikle volkanik istifin üst kesimlerinde görülür ve Derinoba formasyonuna ait flişler ile örtüldüğü görülmektedir (Gülmez, 2009). Andezitik lav grupları masif halde veya bloklu-breşik lav akıntıları olarak iki farklı özellikte görülebilir. Dasit lav grupları ise genellikle altere, bazı yerlerde masif özellik göstermektedirler. Breşik lav akıntıları köşeli çeşitli boylarda küçük çakıllar görülür. Plajiyoklas, mafik mineraller ve az miktarda biyotit görülmektedir (Gülmez, 2009).

Dikmen Grubu içerisinde bulunan dayklar, istifin alt ve orta kesimlerinde volkanoklastik kayaları kesmekte ve 2-4m genişliklerde görülmektedir. Dayklar doloritik bileşimde ve genellikle pembemsi-gri ve gri renklerde ve holokristalen porfirik dokulu olarak tespit edilmişlerdir (Gülmez, 2009).

### **2.3.1 Derinoba Formasyonu**

Derinoba deresi yakınlarındaki yol yarmalarında görülen kesitleri nedeniyle Yılmaz ve diğ., (1981) tarafından adlandırılmış olan birim aşınmış kireçtaşları, denizel kumtaşı marn tabakaları içeren bir özellikte olduğu belirtilmiştir. İstifin kalınlığı Gülmez, (2009) tarafından 500 m olarak ölçülmüş, 3-5 cm'den 15-25 cm'ye varan tabaka kalınlıkları görülmüştür. Derinoba formasyonunda tektonizma etkisiyle deformasyon etkileri ve kıvrımlanmalar olduğu gözlenmiştir (Gülmez, 2009).

Derinoba formasyonuna ait birimler Dikmen Grubu volkanikleri ile yanal girik halde bazı yerlerde lavlar ile girik halde gözlemlenmektedir (Gülmez, 2009). Birimin yaşına ait bilgi veren fosillerden Eosen yaşlı olduğu düşünülmektedir. (Abdüsselamoğlu, 1959). Gülmez, (2009) tarafından Lütesyen yaşlı Sofular kireçtaşı ilişkisi nedeniyle Lütesyen yaşlı olduğu önerilmektedir.

### **2.3.2 Sofular Kireçtaşı**

Gözübol, (1978) tarafından Sofular mahallesi civarındaki yüzlekleri nedeniyle adlandırılmış Sofular kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Birim masif kireçtaşı ve volkanik ara katkıları içeren şekillerde gözlemlenmiştir (Gülmez, 2009). Birim içerisinde algalı biyosparit, algalı biomikrit ve kuvars kırıntıları gözlemlenmiştir. Derinoba formasyonu kumtaşları ile geçişli özellik gösteren resifal bir kireçtaşı olarak tanımlanmıştır (Gülmez, 2009).

Almacık Dağı'nda Keremali tepesi, Alağaç yaylası ve Gölyayla mevkiilerinde (Şekil 2.3) masif halde belirlenen Sofular kireçtaşı altere yüzeylerde beyaz-bej, taze yüzeylerde gri renkte olduğu gözlenmiştir (Gülmez, 2009). Genellikle bol miktarda mikrofosilli ve karbonat çimentolu olan birim yer yer az fosilli ve kalsit kristalli mikritik yapı sergilediği belirtilmiştir (Gülmez, 2009). Sofular kireçtaşı'nın yaşına ait bulgularda *orthopragmines* fosillerinden derlenen bilgiye göre Eosen-Alt Lütesyen yaşlı olduğu düşünülmektedir (Gülmez, 2009).

### **2.3.3 Abhazyatağı Volkanikleri**

Abhazyatağı Köyü civarında gözlenen bazaltik lavlardan adını alan birim yer yer masif, yer yer de eklemli-kırıklı yapıda gözlenmiştir. Taze yüzeylenmiş mostalara sahip olan birim siyahımsı griden kahve-bej'e renkler gösterdiği belirtilmiştir (Gülmez, 2009). Birim stratigrafik olarak Dikmen Grubunu zamansal bir uyumsuzlukla örttüğü ve petrografik incelemeleri neticesinde dokusal farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Birimin üstünde ise fluvial özellikli konglomeralardan elde edilen yaş bilgisi ile Oligosen yaşlı olduğu önerilmiştir. Bununla beraber, Eosen yaşlı Dikmen Grubunu örten Abhazyatağı Volkanikleri biriminin Gülmez, (2009) tarafından yapılan radyometrik yaş tayinleri neticesiyle Oligosen ( $23.8 \pm 1.1$  my) yaşında olduğu saptanmıştır (Gülmez, 2009).

### **2.3.4 Gökveren Formasyonu**

Gökveren Formasyonu daha önceki çalışmalar neticesinde Gözübol, (1978) tarafından isimlendirilmiş ve Kırağası, (1980) tarafından Kadifekale mevkiilerinde yapılan çalışmalarda Kadifekale formasyonu adı ile anılmıştır. Birim konglomera görüntüsüne sahiptir ve kötü boylanmalı lav-silt çakıllarının karbonatlı çimentolu çakıl taşları karışımından oluşmaktadır. Farklı lokasyonlardaki yüzleklerdeki çalışmalardan elde edilen bulgular sonucunda kumtaşı-kumlu kireçtaşı-çakıltası ile temsil edilmektedir (Gülmez, 2009).

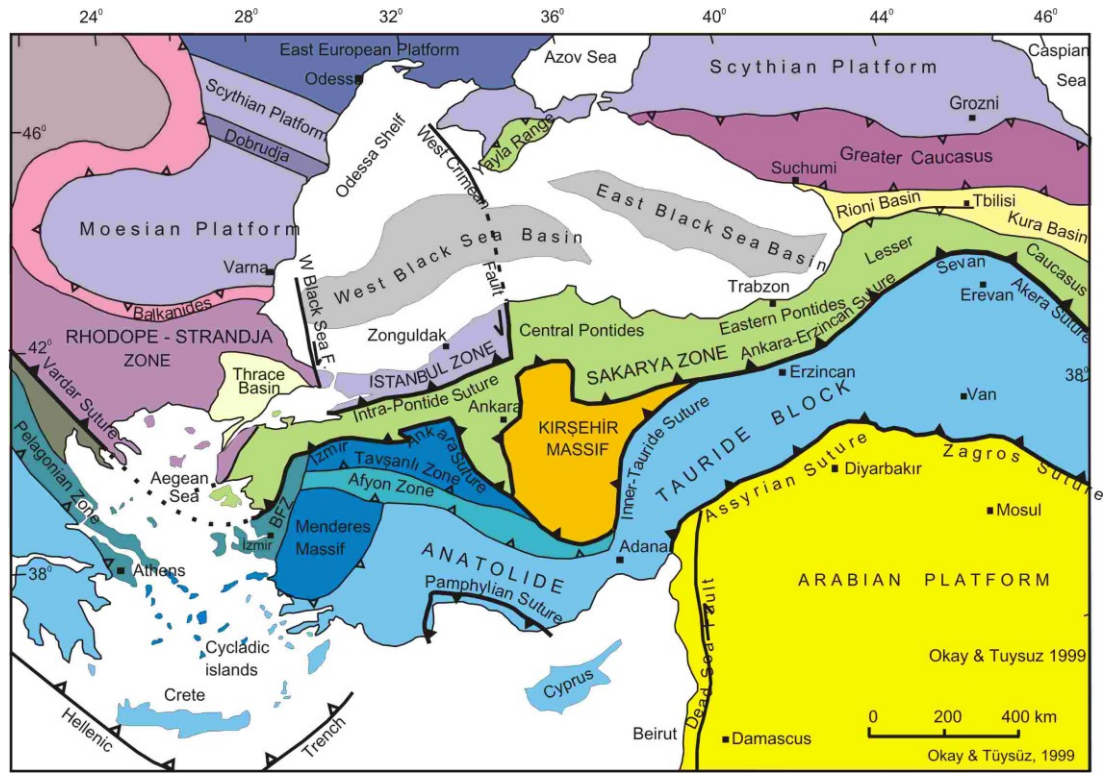
Formasyonun yaşı Abdüsselamoğlu, (1959) tarafından Üst Kretase olarak yaşlandırılmış, daha sonraki çalışmalarda elde edilen taşınmış *algea* ve *nummilites* fosilleri sayesinde Lütseyenden sonra olması gerektiği önerilmiştir (Yılmaz ve diğ., 1981). Görüldüğü yerlerde Eosen yaşlı Derinoba Formasyonu üzerinde bulunmakta ve flüvyal, kolüvyal ve gösel çökellerden oluşan gevşek halde kumtaşı-çakıltaşı içeren Pliyosen yaşlı Taşkesti Formasyonu ve diğer Kuvaterner birimler tarafından örtölmektedir (Gölmez, 2009).



### 3. ÇALIŞMA ALANININ TEKTONİĞİ

#### 3.1 Bölgenin Paleotektoniği

Anadolu Levhası çeşitli tektonik birliklerin ve bunların sınırlarını oluşturan Sütür Zonları (Kenet Kuşakları)'ndan oluşmaktadır (Şekil 3.1). Bu tektonik birliklerin ve Sütür Zonlarının başlıcaları İstanbul-Zonguldak Zonu, Sakarya Zonu ve bunları ayıran Pontid içi Süturu, Sakarya Zonu'nun güney sınırını oluşturan İzmir-Ankara-Erzincan Süturu, Anatolid-Torid Zonu ve Arap Levhaları ve bunları ayıran Bitlis-Zagros süturudur (Okay ve Tüysüz 1999; Kissel ve diğ., 2003).



**Şekil 3.1 :** Okay ve Tüysüz, (1999) tarafından hazırlanmış Kuzeydoğu Akdeniz bölgesinin başlıca Sütür ve Kıtasal blokları gösteren harita. Sütür Zonları üçgenler dalma yönünü gösterir şekilde Pasif zonlar dolu üçgenler ve kalın çizgiler ile, aktif zonlar içi boş üçgenler ve kalın çizgiler ile gösterilmiştir. Kıvrımlanma ve bindirme kuşakları üçgenler hareket yönünü gösterecek şekilde ince çizgiler ile gösterilmiştir.

Anadolu Levhasının tektonik olarak gelişimi incelendiğinde, Geç Paleozoyik için yapılan paleocoğrafik çalışmalar neticesinde İstanbul-Zonguldak Zonu ve Sakarya Zonlarının tektonik konumları ve kökenleri Paleotetis olarak adlandırılan bir okyanusun varlığına işaret etmektedir (Scotese ve diğ., 1979; Şengör ve Yılmaz 1981; Şengör, 1987; Elmas ve Yiğitbaş 2001;). Bu okyanusun Pontid bölgesinde Malm öncesinde kapandığı (Şengör ve diğ., 1980; Şengör ve Yılmaz, 1981; Tüysüz, 1990) ve Kretase sonunda Pontid içi Sütürü'nü oluşturduğu düşünülmektedir (Genç 1993; Yılmaz vd 1995; Yılmaz ve diğ., 1997;). Paleotetis okyanusunun güney yönlü dalması ve kapanmaya başlaması ile Gondwanaland'dan Kimmer Kıtası adı verilen levha kopmuş ve Geç Triyas'a kadar varlığını sürdürmüştür (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz ve diğ., 1997).

Permien'de İstanbul-Zonguldak Zonu Lavrasya, Pontidler (Sakarya Zonu) Gondwanaland kıtalarında bulunmakta ve aralarında Paleotetis okyanusu yer almaktaydı (Şengör ve diğ.,1984; Şengör ve Yılmaz,1981; Robertson ve Dixon, 1984; Şengör, 1990; Yılmaz ve diğ., 1995). Güneyde Sakarya Zonu'nda Paleozoyik yaşlı düşük dereceli metamorfik temel Ordovisyen-Karbonifer yaşlı bölümlerden yoksun halde bulunmaktaydı. Bununla birlikte İstanbul-Zonguldak Zonu'nda görülmeyen Triyas yaşlı bölümler içermektedir (Şengör ve diğ., 1984). Bingöl ve diğ., (1973) tarafından Karakaya formasyonu olarak adlandırılan Triyas yaşlı bu birim çeşitli derinliklerde denizel çökeller ve okyanus tabanı toplulukları içermektedir (Yılmaz, 1981). Kısa bir süre açık kalan Karakaya Basen'i Triyas sonlarında kapandığı önerilmektedir (Bingöl ve diğ., 1973).

Tektonik olarak İstanbul-Zonguldak Zonu ve Sakarya Zonu ile sınırlandırılan, Armutlu Yarımadası'ndan Ovacık'a kadar ki alanda sınırlardaki zonların özellikleri görülmektedir. Armutlu-Ovacık Zonu olarak adlandırılan bu alanda her iki birimin Geç Jura-Geç Kretase yaşlı metamorfik-metaklastik eşdeğer birimleri ve temel birimleri görülmektedir (Elmas ve Yiğitbaş, 2001).

Armutlu-Ovacık Zonu temelindeki İstanbul-Zonguldak Zonu (Lavrasya kıtası) ile ilişkili birimler Gemlik Körfezi ve İzmit arasında, Pamukova kuzeyinde ve Ovacık doğusunda görülmektedir (Kerey, 1984; Şengör, 1987). Sakarya Zonu (Gondwanaland kıtası) ile ilişkili birimler ise Gemlik Körfezi, İznik Gölü ve Sapanca Gölü arasında ve Bolu-Eskipazar civarında görülmektedir (Elmas ve Yiğitbaş, 2001).

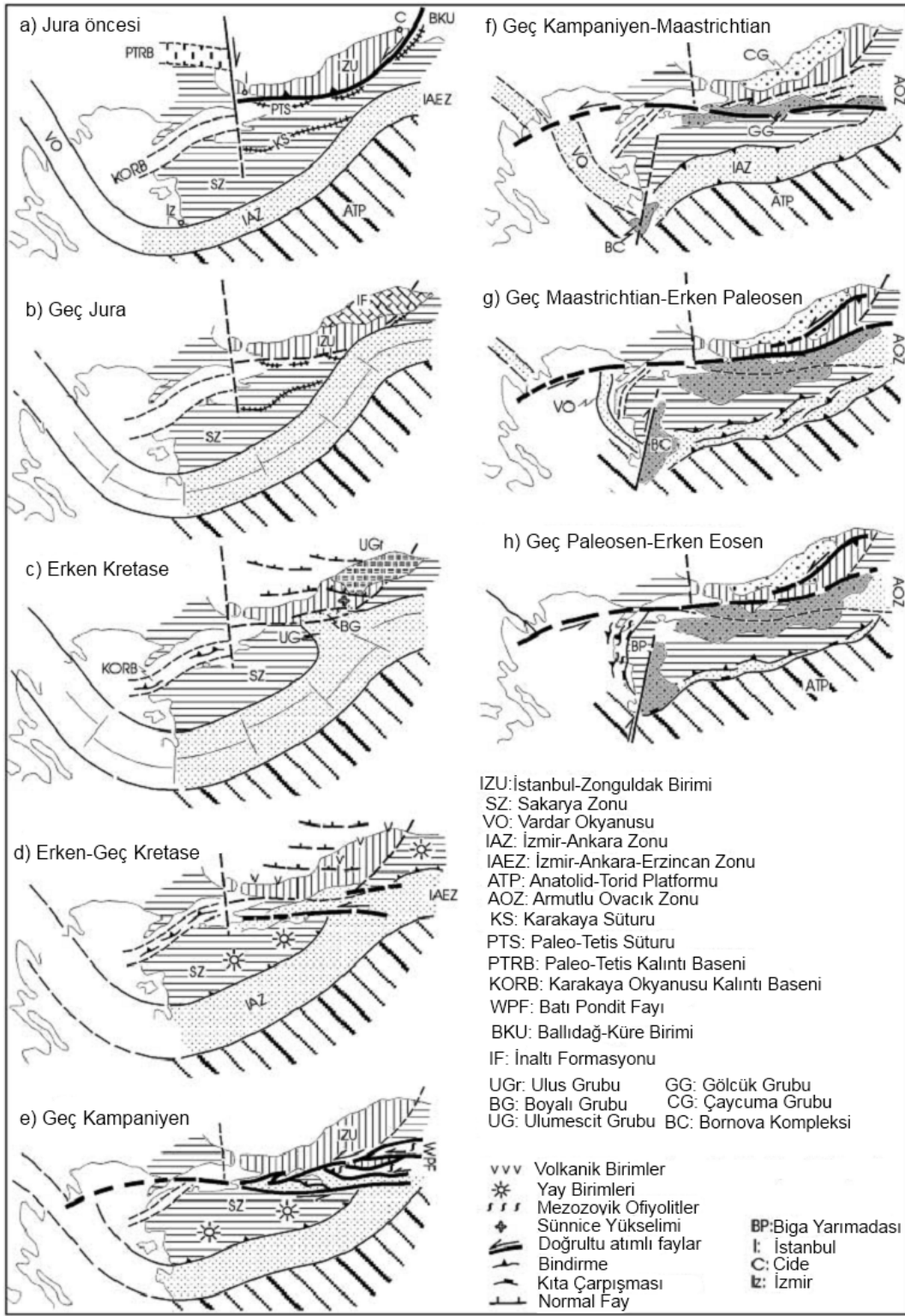
Armutlu-Ovacık Zonu temeli üzerinde Üst Jura karbonatları ve klastikleri farklı kökenli temel birimleri üzerinde ilk ortak örtü birimi olarak görülmektedir (Elmas ve Yiğitbaş, 2001). Bu nedenle iki sınır zonun özelliğini taşıyan Armutlu Ovacık Zonu'nun Geç Jura öncesinde Paleotetis okyanusunun kapandığı bu alanda oluştuğu görülmektedir (Elmas ve Yiğitbaş, 2001).

Liyas'a gelindiğinde ise, günümüzde Sakarya kıtasının güney-batı sınırını (İzmir-Ankara Süturu) oluşturan İzmir-Eskişehir-Ankara okyanusu açılmaya başlamıştır. Neotetis okyanusunun bu koluyla beraber Sakarya Kıtası-Torid Anatolid sınırı oluşmuş ve Kimmer Kıtası parçalanmıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz ve diğ., 1997).

Orta Jura'ya gelindiğinde Neotetis okyanusunun gelişimi devam etmiş, Paleotetis okyanusunun güney yönlü dalımı ile kapanma işaretleri görülmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör, 1983; Yılmaz ve diğ., 1997). Geç Kretase'ye gelindiğinde Neotetis okyanusunun gelişimi sona ermiş ve levhalar arasında yaklaşma-sıkışma hareketleri görülmeye başlamıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Paleotetis okyanusunun güneye ilerleyen dalması sonlanmış ve İstanbul-Zonguldak Zonu ve Sakarya Kıtası sınırı bu dönemde oluşmuştur (Genç, 1993; Yılmaz ve diğ., 1995, 1997).

Eosen ortalarına kadar Paleotetis okyanusunun kapanmasıyla ve Pontid-içi Sütur kuşağı oluşumu ile ilişkili Kuzey-Güney yönlü sıkışma rejimi devam etmiş, bununla ilişkili olarak Armutlu Yarımadası ve civarındaki Eosen volkanizmasının meydana geldiği düşünülmektedir (Yılmaz, 1990; Genç, 1993; Yılmaz ve diğ., 1995; Genç ve Yılmaz 1997;). Erken-Orta Eosen döneminde Pontidler ile Menderes-Toros platformları arasında meydana gelen çarpışmalar sonucunda Menderes Toros platformunda deformasyonlar meydana gelmiş, Pontidlerde ise retroşaryajlar oluşmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz ve diğ., 1995). Avrasya levhası ve Afrika kıtasının birbirlerine doğru hareketlerinin etkisinde gerçekleşen bu durum Geç Eosen-Erken Miyosen'de de devam ettiği düşünülmektedir.

Anadolu levhasında yukarıda anlatılan aşamalar Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Kuzey Batı Anadolu'nun ve çevresinin Geç Jura'dan başlayıp Erken Eosene kadar devam eden tektonik evrimi paleotektonik haritalar ile şekilde gösterilmektedir.



**Şekil 3.2 :** Kuzey Batı Anadolu ve çevresinin Tektonik evrimini gösteren Paleotektonik Haritalar (Elmas ve Yiğitbaş 2001).

Orta-Geç Miyosen'e gelindiğinde Bitlis-Zagros Sütur Zonu tamamıyla kapanmış ve Anadolu Levhası, Arap Yarımadası ve Avrasya Kıtası arasında sıkışmaya başlamıştır (Şengör ve Kidd, 1979). Meydana gelen sıkışma sonucunda Anadolu levhasında kısılma ve kalınlaşma görülmüş ve Pliyosen öncesinde Anadolu Levhasının KAF ve DAF hareketleri ile batıya doğru kaçması başlamıştır (Şengör ve diğ., 1980; Şengör ve Yılmaz, 1981; Kissel ve diğ., 2003).

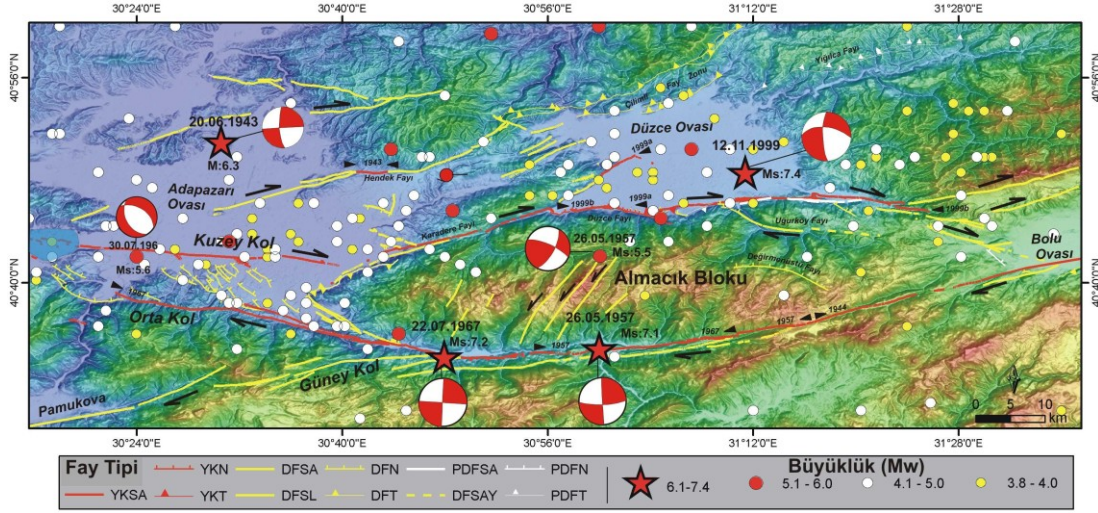
### 3.2 Neotektonik ve KAF

Anadolu'nun güncel tektoniği pliyokuvartenerden beri aynı çizgide devam etmektedir. Arap Levhasının kuzeye hareketi ve Avrasya ile çarpışması neticesinde oluşan DAF ve KAF aracılığı ile meydana gelen hareket ve Alt-Orta Miyosendeki Ege açılma-genişleme rejimi Anadolu Levhası tektoniğinde önemli derecede hüküm sürmektedir (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör ve Yılmaz, 1983; Ketin, 1983). Avrasya ve Arap Levhasının çarpışmasıyla başlayan bu yeni tektonik dönem Şengör (1979) tarafından neotektonik dönem olarak adlandırılmıştır.

Geç Miyosen'e gelindiğinde Kuzey-Batı Anadolu neotektoniği yeni bir evreye girmiştir. Ege'deki genişleme rejimi sonucunda Marmara ve çevresinde oluşan havzalar KAF'ın bölgede etkilerinin görünür hale gelmesiyle birlikte yüzey şekillerinde etkileri görünür olmaya başlamıştır (Gökaşan ve diğ., 2003; Tüysüz ve diğ., 1998).

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Anadolu levhasının kuzeyinde ~1400 km. uzunluğunda yer almaktadır. Doğu'da Erzincan'dan Batı'da Saros Körfezine kadar çok belirgin yüzey işaretleri ile kendini belli etmektedir (Ketin, 1983; Barka, 1996). KAF'ın yaşı konusunda fayın geneli ve çeşitli kolları için tartışmalar içermekle birlikte Oligosen'den Pliyosen'e kadar değişen, doğusundan batısına doğru daha gençleşen yapıda olduğu şeklinde öneriler bulunmaktadır (Şengör ve diğ., 1985; Okay ve diğ., 2006; Tüysüz ve diğ., 1998). Stein ve diğ. (1997) tarafından M>7 depremleri incelenerek KAF'nın Doğu'dan Batı'ya adımlı bir şekilde ve periyodik biçimde kendini tekrar eder yapıda olduğu önerilmiştir.

Çalışma alanında da oldukça oldukça aktif olan KAF sistemi Şekil 3.3'deki gibi haritalanmaktadır. Yıldırım, (2008) tarafından son yüzyılda meydana gelen M>4 depremleri, odak çözümleri ve yüzey kırıkları şeklindeki gibi tanımlanmaktadır.

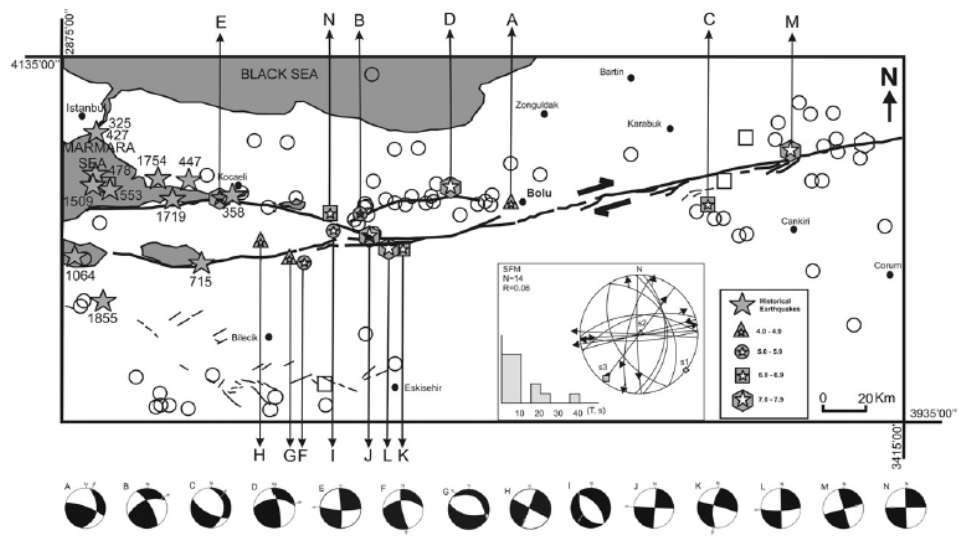


**Şekil 3.3 :** Almacık Bloku ve yakın çevresinin aktif fay haritası (Emre ve diğ., Hazırlanmakta'dan yararlanılarak) ve son yüzyılda meydana gelmiş  $M > 4$  depremlerin dışmerkez dağılımı ile ana şokların odak mekanizması çözümleri. Yıldırım, (2008)'den alınmıştır. YKSA: Yüzey kırığı sağ yönlü doğrultu atımlı, YKN: Yüzey kırığı normal; YKT: Yüzey kırığı ters, DFSA: Diri fay Sağ yönlü doğrultu atımlı, DFSL: Diri fay sol yönlü doğrultu atımlı, DFN: Diri fay normal, DFT: Diri fay ters, PDFSA: Potansiyel diri fay sağ yönlü doğrultu atımlı, PDFN: Potansiyel diri fay normal, PDFT: Potansiyel diri fay ters.

Çalışma alanında KAF Bakacak-Elmalık Fayı, Düzce Segmenti (Fayı) ve Karadere Segmenti kuzeyde, Mudurnu Vadisi Fayı ile güneyde temsil edilmektedir. Düzce Segmenti Düzce Ovası'nın güneyi, Almacık Dağı'nın Kuzey sınırını oluşturacak şekilde doğusunda Bakacak-Elmalılık Fayı ve batısında Karadere Segmenti ile Bolu-Düzce-Akyazı arasında uzanmaktadır. Düzce segmenti D-B yönelimli 40 km uzunluğunda Paleozoyik-Eosen Almacık Dağı ve Kuvartener karasal çökellerin sınırında bulunmaktadır (Pucci ve diğ., 2008). Çalışma alanının güneyinde ise Mudurnu Vadisini Fayı doğu'da Bolu-Abant'tan başlayarak vadiyi güneye yakın takip eder şekilde batıda Adapazarı-Kuzuluk'a kadar 80km uzunluğunda devam etmektedir.

Kuzey Anadolu Fayı'nın atım miktarı konusunda görüşler yaşlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bunlardan çeşitli morfolojik işaretleri kullanarak 5 mm/yıl'dan 23mm/yıl'a vardığını öne süren çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Seymen, 1975; Barka ve Gülen 1989; Hubert-Ferrari ve diğ., 2002; Şengör ve diğ., 2005; Kozacı ve diğ., 2006). GPS çalışmaları ile elde edilen atım miktarları ise 23 mm/yıl ile 38 mm/yıl arasında değişen sonuçlar elde edilmiştir (Reilinger ve diğ., 1997; McClusky ve diğ., 2000;).

Ayrıca Reilinger ve diğ. (1997) tarafından GPS ve jeolojik atım verileri arasındaki uyumsuzluk nedeniyle yaşın daha genç olması gerektiği veya atım miktarının daha fazla olması gerektiği, çalışma alanında etkili olan faylarda yapılan morfolojik ve paleosismolojik çalışmalar sonucunda Düzce’de son 2000 yıl ortalaması olarak 10-12.5mm/yıl ve Mudurnu Vadisinde  $11 \pm 5$  mm/yıl (Ikeda ve diğ., 1991; Yoshioka ve diğ., 1991) neticelerine ulaşılmıştır. Çalışma alanı güncel GPS çalışmaları sonucunda ise atım Düzce’de 20 mm/yıl, Bolu-Gerede 17mm/yıl kayma hızları bulunmuş bu değerlerin KAF'ın batı kesimlerindeki çatallanmalar nedeniyle atımın paylaşılması olarak değerlendirilmesi önerilmiştir (Ayhan ve diğ., 2002).



**Şekil 3.4:** Almacık Dağı ve çevresinin Sismotektonik haritası ve odak mekanizması çözümleri. Harfler Tablo 3.1’de verilen 14 adet depremi temsil etmektedir (Özden ve diğ. 2008’den alınmıştır).

Bölge depremsellik açısından dünyanın en önemli iki yanal atımlı fayından biri olan KAF’ın etkisindedir. Tarihsel ve aletsel kayıtlardan oldukça yüksek deprem etkinliği görülen bölgede fay düzlemi ve odak mekanizması çözümleri sonuçlarından yanal atımlı (sağ) fay karakteri görülmektedir (Özden ve diğ., 2008; Yıldırım, 2008). KAF sisteminin sismik aktivitesi, aletsel dönemden (1943) beri kayıt edilmiş ( $M > 5$ ) 14 deprem bulunmaktadır. Bunlar geçmişten günümüze Şekil 3.4 ve Tablo 3.1’de görülmektedir.



Bölgede gerçekleşen son büyük deprem olarak 17 Ağustos 1999 Kocaeli (M: 7.4) depreminin doğu ucundaki yaklaşık 30km'lik kısmı (Karadere Segmenti) ile 12 Kasım 1999 Düzce (M: 7.2) depreminin gerçekleştiği bilinmektedir. Ayrıca aletsel dönemde meydana gelen 26 Mayıs 1957 Abant (M: 7.1) ve 22 Temmuz 1967 Mudurnu Vadisi (M: 7.0) en büyük depremlerdir. Bölgede deprem etkinliği bu depremlerden sonra durgunlaşmış ve artçı depremlerden de gözlenebilen bir stres göçü olmuştur (Cerit ve diğ., 2000).

KAF sisteminde yapılan jeolojik gözlemler ve meydana gelen depremlerin odak çözümleri neticesinde, genelde sağ yanal yönlü-doğrultu atımlı bazen düşey atım bileşeninin de görüldüğü bir yapı sergilemekte olup KAF'ın genel karakterine ve bölgenin tektonik birimlerine uyumlu çözümler göstermektedir.

**Tablo 3.1** : Çalışma alanı ve civarında gerçekleşen yakın tarihli depremler. Şekil 3.4'te haritalanan depremlerin ayrıntılı bilgileri ve odak çözümü parametrelerini içermektedir (Özden ve diğ. 2008'den alınmıştır).

No	Tarih (G.A.Y.)	Enlem	Boylam	Büyükölük (Ms)	Derinlik (km)	Kaynak
A	14.04.2004	40,73	31,63	4,6	5	USGS-NEIC
B	23.08.2000	40,68	30,72	5,3 (Mw)	15,3	Harvard-GMT
C	06.06.2000	40,75	32,70	6,1	15	Harvard-GMT
D	12.11.1999	40,93	31,25	7,2	18	Harvard-GMT
E	17.08.1999	40,70	29,68	7,6 (Mw)	15	EMSC-CSEM
F	13.09.1999	40,31	30,29	5,8	15	Harvard-GMT
G	31.08.1999	40,43	30,25	4,9	15	Harvard-GMT
H	21.10.1983	40,54	30,05	4,9	12	Harvard-GMT
I	30.07.1967	40,70	30,40	5,6	21	McKenzie (1972)
J	22.07.1967	40,70	30,80	7,2	33	McKenzie (1972)
K	27.05.1957	40,50	31,00	6,2	12	Ritsema (1974)
L	26.05.1957	40,66	30,89	7,1	10	McKenzie (1972)
M	01.02.1944	41,10	33,20	7,2	10	Jackson ve McKenzie(1988)
N	20.06.1943	40,70	30,38	6,3	10	Jackson ve McKenzie(1988)



#### **4. PALEOMANYETİK NUMUNELERİN TOPLANMASI VE ANALİZİ**

Paleomanyetizma doğada çeşitli şekillerde doğal kalıcı mıknatıslanma kazanmış magmatik veya çökel kayaların yaşı, kökeni ve diğer özellikleri ile ilgili bilgi sağlamada önemli değer ve yer tutmaktadır (Sanver, 1992). Çalışmalarda kayacın sahip olduğu mıknatıslanma doğrultusu ve bunun ne zaman ve ne şekilde kazanıldığının bilinmesi sonuçların doğru değerlendirilebilmesi için büyük öneme sahiptir. Birincil mıknatıslanma, kayacın oluştuğu andaki ortamın manyetik özelliklerini taşıyan mıknatıslanma olarak tanımlanırken, kayacın oluşumundan günümüze gelinceye kadar jeolojik, fiziksel ve kimyasal nedenlerle kaydedilmiş olan mıknatıslanmaya ikincil mıknatıslanma denmektedir.

Paleomanyetizma arazi çalışmalarında öncelikle numunelerin yerli yerinde “in-situ” kayaç olması gerekmektedir. Numune alırken yapılabilecek alıcı hataları olmakla birlikte, laboratuvar çalışmalarında da hata yapma olasılığı yüksektir. Her iki çalışma evresinde de mümkün olduğunca özen gösterilmesi gereken hususlar vardır (Sanver, 1992; Buttler, 1992; Tauxe, 1998). Kayacın oluşumu sırasında meydana gelen birincil mıknatıslanma ve sonradan kazanılan ikincil mıknatıslanma etkilerinin ayrıştırılması paleomanyetizma çalışmalarında büyük öneme sahiptir. Bu 4. Bölüm'de çalışmalarda arazi ve laboratuvar çalışmaları süresince yapılanlar anlatılacaktır.

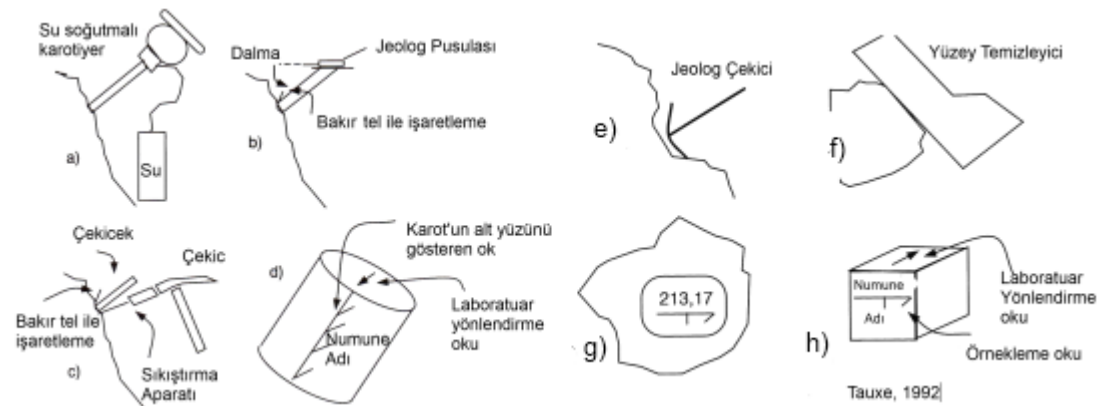
##### **4.1 Arazi Çalışmaları ve Numunelerin Ölçüme Hazırlanması**

Paleomanyetizma arazi çalışmalarında çalışmanın amacına göre, magmatik ve/veya çökel yüzleklerin bulunması hedeflenir. Ayrıca çalışmada hedeflenen amaca göre çalışılan katmanların jeolojik yaşı ve geçmişteki konumları ile güncel konumlarının net bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Bu sebeple saha çalışmalarına başlamadan önce çalışma alanı ile ilgili daha önce yapılmış çalışmaların yayın ve raporlar incelenerek numunelerin alınacağı mevkilerinin özenle seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, KANTEK laboratuvarındaki mevcut alet ve ekipmanlarla ilgili olarak yalnızca volkanik kayalar üzerinde çalışılmıştır. Çalışma alanında Eosen yaşlı volkanik kayaların oluşumundan günümüze kadar uğradığı rotasyonun belirlenmesi amaçlanmıştır.

Belirlenen mevkilerden alınan numunelerin yönleri ve diğer bilgileri sahadaki konumlarını temsil edecek şekilde kaydedilmelidir. Yönlü numuneler sahada el numunesi veya karot numunesi olarak adlandırılan şekillerde toplanabilmektedir. El numuneleri çalışma kapsamına uyan yerlerde yıpranmamış yüzeylere ulaşana kadar kazılıp bir yüzünün temizlenip pusula yardımıyla doğrultu ve eğim bilgileri kaydedilerek elde edilen 10-20 cm kenar uzunluklarına sahip bloklardan oluşmaktadır. Karot numuneler ise karot makineleri yardımıyla kesilip, delme doğrultusunun güneş pusulası veya manyetik pusula yardımıyla kaydedilmesi ve numune üzerine işaretlenmesi sonrası kayadan koparılması ile elde edilmektedir.

Kayaçlarda takip edilen Y.M.A kayıtlarında milyonlarca yıla uzanan çeşitli dış etkilerden kaynaklanan salınımlar bulunmaktadır. Bu nedenle meydana gelen gürültü, salınım ve diğer etkenler istatistiksel ortalama yöntemleri ile giderilmesi tercih edilmektedir. Bu nedenle bir paleomanyetik çalışma sırasında her mevkiiden en az yedi (7) veya daha fazla sayıda numune toplanması uygun görülmektedir (Tauxe 1992).



**Şekil 4.1.** Paleomanyetik yönlü numune toplanması; a) karot numunelerinin b) el numunelerinin toplanması (Tauxe, (1992)'den alınmıştır).

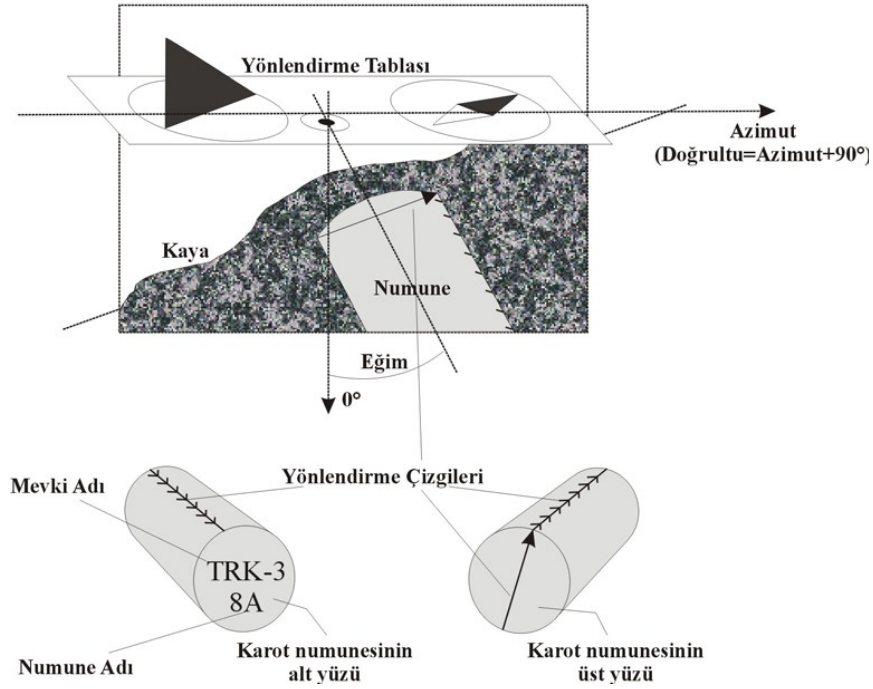
Karot alma veya el numunesi alma yöntemlerinin birbirlerine göre çeşitli farkları bulunmaktadır (Şekil 4.1). El numunesi örneklerine 1 inç kenar uzunluklu küp şeklinde laboratuvar işlemleri uygulanırken karot numunelerine 1 inç çap, 1 inç uzunluklu silindirler şeklinde ölçme ve miknatıslık temizleme işlemleri uygulanmaktadır. Karot numune alma işlemi laboratuvara büyük numunelerin taşınması ve depolanmasını gerektiren el numuneleri yöntemine göre arazi çalışmaları sırasında daha kolay yürütülebilmektedir. Ayrıca karot numunelerin doğrultu ve eğimlerinin işaretlenmesinin yerinde yapılması nedeniyle el numunelerine göre daha düşük yanılğı payı taşınması (Buttler, 1992) ve el numunelerinin alınmasında yüzleklerin seçilmesi ve koparılmaya elverişli bölgelerin kısıtlı olması da karot numune alımının tercih edilmesinin nedenlerindedir (Collinson, 1983; Tauxe, 1992).

Paleomanyetik arazi çalışmalarında dikkat gerektiren bir önemli konuda numunelerin işaretlenmesi ve adlandırılması işlemidir. Özellikle karot numune alınmasında kayaç numuneden ayrılmadan işaretlenmesi yapıldığı için dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Delme işlemi sonrasında numune kayadan koparılmadan güneş pusulasının tablası karot oluşuna yerleştirilir ve yönlendirme ayarları yapılarak doğrultu ve eğim değerleri kaydedilir. Daha sonra yönlendirme ayarları yapılmış güneş pusulası tablası üzerinde Jeolog pusulası ile doğrultu ve eğim açıları okunup kaydedilir (Şekil 4.2).

Jeolog pusulası ile ölçümlerde kayaçta bulunan Doğal Kalıcı Miknatıslanma şiddeti ile orantılı hataların oluşması mümkündür (Sanver 1992). Numune alınan mevkii özellikleri güneş pusulası okumasına elverişli ise enlem ve boylam bilgileri 0.25 derece'den hassas şekilde elde edildiğinde dakika seviyesindeki hassasiyetle zaman bilgisi ile azimut açısı bilgisayar programları veya kataloglar yardımıyla belirlenebilir (Creer ve Sanver 1967; Tauxe 1998).

Arazide toplanan numunelerin doğrultu ve eğim bilgileri kayaçların miknatıslanma doğrultularının laboratuvar ölçmelerinde elde edilmesinde büyük öneme sahiptir. Ölçümlerde kullanılan manyetometreler numunelerin üzerindeki işaretlemelere göre ölçmeye tasarlanmıştır. Bu durum numunelerin üst yüzeyindeki işaretin gerçek azimut ve eğim değeri olarak kabul edilerek sonuçlar elde edilmesi demektir. Arazide yapılan yönlendirme işlemlerinden yararlanılarak “gerçek miknatıslanma doğrultu ve eğim açılarının” hesaplanması gerekmektedir (Sanver, 1992).

## NUMUNELERİN YÖNLENDİRİLMESİ

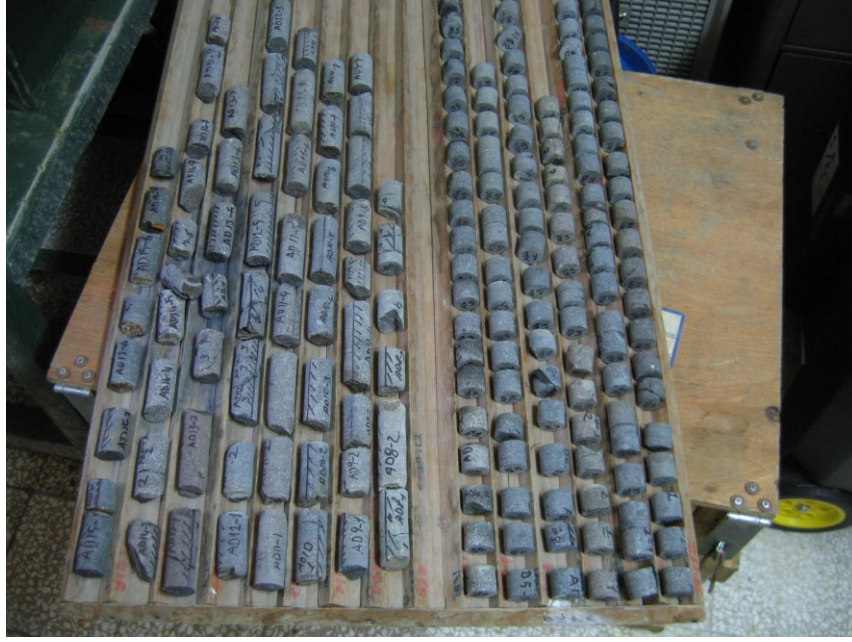


**Şekil 4.2.** Arazide numunelerin bilgilerinin belirlenmesi ve adlandırılması: Güneş pusulası yardımıyla azimut ve eğim açıları okunur. Numune kayaçtan koparıldıktan sonra üst yüzüne “Yönlendirme İşaretleri” alt yüzüne “Numune Adı” işlenir (İşseven, 2001’den alınmıştır).

Toplanan karot numunelerin doğrultu (D) ve eğim (I) açıları her bir karot için ayrı düzlemde bulunmaktadır. Ancak birlikte değerlendirilebilmeleri için ortak kutup yönelimine–coğrafi kutup veya tabakalanma düzlemine getirilmelidir. Bir mevkiye ait ortalama mıknatıslanma doğrultusu, mevkiinin temizleme işlemleri sonrasında güvenilir mıknatıslanmaya sahip numunelerinin birlikte değerlendirilmesiyle hesaplanmaktadır (Collinson, 1983). Bu hesaplamalar Schmidt (1974) tarafından ilk olarak işlenmiş günümüzde bilgisayar hesaplamaları yardımı ile yapılmaktadır.

Almacık Dağı Eosen Volkanikleri Paleomanyetizması konulu bu çalışma kapsamında uygun niteliklere sahip 26 mevki’den 222 karot numune alınmıştır. “Almacık Dağının (KB Anadolu) Eosen Magmatik Kayalarının Paleomanyetizması ve Petrolojik Özelliklerinin Araştırılması” İTÜ-BAP projesi kapsamında 2005 yılı yaz aylarında yapılan arazi çalışmalarında Dikmen Grubu Eosen Volkanikleri, Adapazarı Serdivan Tepe’de eş yaşlı volkanikler ve yine Yığılca civarındaki benzer kayalardan numuneler alınmıştır.

Ayrıca çalışma kapsamında yukarıda açıklanan nedenlerle ilişkili olarak daha güvenilir bulunduğu için Karot numune alınması tercih edilmiş, numuneler KANTEK laboratuvarı ortamında 1 inç (2.54 cm) boy ve çaplarda ölçüme uygun hale getirilmiştir. Numunelerin boylandırılması sırasında üzerlerindeki işaretler yenilenmiş ve paleomanyetik ölçmelere hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.3). Bu işlemler neticesinde karot numunelerden 425 adet silindirik numune elde edilmiştir.



**Şekil 4.3.** KANTEK laboratuvarında ölçüme uygun hale getirilen karot numuneler.

#### **4.2 İkincil Mıknatıslanmaların Temizlenmesi**

Mıknatıslanma özelliği kazanmış kayalarda jeolojik zaman boyunca veya çeşitli fiziksel-kimyasal etkiler nedeniyle mıknatıslanma yönü ve şiddeti değişiklik gösterebilmektedir (Tauxe, 1998). Bu tür kazanılan mıknatıslanmaya ikincil mıknatıslama adı verilmektedir. Paleomanyetizma çalışmalarında genellikle ikincil mıknatıslanmanın ne zaman ve ne sebeple meydana geldiği bilinmediğinden temizlenmesi ve numuneler üzerindeki birincil mıknatıslanmanın açığa çıkarılması gerekmektedir.

İkincil mıknatıslanmanın temizlenmesi işlemlerinde; Isıl Temizleme yöntemi ve Alternatif Alan Temizleme yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler sayesinde ikincil mıknatıslanmanın aşama aşama yitirilmesinin sağlanması ve birincil mıknatıslanmanın ortaya çıkarılması esasına dayanmaktadır (Collinson, 1983). İkincil mıknatıslanmalar giderildikten sonra birincil mıknatıslanma da yavaş yavaş temizlenmektedir. Bu sayede birincil ve ikincil mıknatıslanmaların varlıklarını sürdürebildikleri sıcaklıklar belirlenebilmektedir (Collinson, 1983).

Alternatif Alan Temizleme yöntemi numunelere dış manyetik etkinin yok edildiği ortamlarda kontrollü bir dış alan uygulanarak ikincil mıknatıslanma etkilerinin silinmesi esasına dayanır. Kimyasal Mıknatıslanma Temizleme işlemine ise numunelerdeki değişik özelliklerdeki manyetik minerallerin kontrollü şekilde yok edilmesi adımlarıyla ikincil mıknatıslanma temizlenmeye çalışılır. Ancak bu yöntem birincil ve ikincil mıknatıslanmayı birlikte taşıyan minerallerin olması durumunda yalnızca birincil mıknatıslanmayı taşıyan minerallerin belirlenmesinde bilgi sağlar (Collison, 1983).

Düşük Sıcaklık temizleme işlemi ise titanomagnetit serisi mineralleri mıknatıslanması durumunda sıfırlanmış manyetik alan içerisinde oda sıcaklığı ve (-196°C) arası sıcaklıklarda yapılmaktadır. Titanomagnetit serisi minerallerinin manyetit (-140°C) 'den başlayacak şekilde titanyum içeriği arttıkça daha düşük sıcaklıklarda mıknatıslanma özelliği yitirildiği bilindiği için (Ozima ve diğ., 1964; Syono ve Ishikawa 1963) düşük sıcaklık temizleme işlemleri kullanılmaktadır.

Basınç ile mıknatıslanma temizleme işlemi bazı uygulamalı işlemler ve teorik gerekçelere dayandırılmaktadır. Basınca maruz kalmış kayaç numunelerinde gözlenen mıknatıslanma değişimleri nedeniyle ikincil mıknatıslanmaların basınç uygulamaları ile temizlenmesi düşüncesine dayandırılmaktadır (Collison, 1983).

Isıl Temizleme işlemi kayaçların mıknatıslanma özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak gösterdiği değişim temeline dayandırılmaktadır. Yöntem bu çalışma kapsamında da kullanılan yöntem olduğundan Isıl Temizleme İşlemi başlığı ile ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır.

### 4.3 Isıl Temizleme İşlemleri

Paleomanyetik arazi örneklerinin danelerinde mıknatıslanma bakımından kimyasal bileşim ve fiziksel özelliklerde farklılıklar olması mümkündür. Mıknatıslanma özelliğine sahip olan daneler mıknatıslık kazanma biçimi ile de ilişkili olarak tek veya daha fazla manyetik domenli yapıda olabilirler. Ancak bu bilgilerin yanında mineraller mıknatıslanma yönelimlerinde içinde buldukları dış alanın (genellikle doğrudan Y.M.A) doğrultusuna yönelim göstermede uyum gösterirler.

Bu dış alan mıknatıslanması ve doğrultusunun kazanılması için içsel enerji engeli olarak adlandırılan enerji seviyesinin aşılması gerekmektedir. Bu engelin aşılması için engel sıcaklığı ve termal enerji seviyesi bilinmesi gerekmektedir. Bu enerji seviyesi  $J_s$ : mıknatıslanma seviyesi,  $V$ : dane hacmi ve  $H_c$ : iç direnme kuvveti olacak şekilde " $J_s.V.H_c$ " formülü ile hesaplanır ve bloking sıcaklığı olarak adlandırılır. Bunun yanında kayacın sahip olduğu mıknatıslanma kaydının değişimi ve silinmesinde önemli yeri olan  $k$ : Boltzman sabiti,  $T$ : sıcaklık olacak şekilde " $k.T$ " formülü ile hesaplanan termal enerji seviyesi diğer bilinmesi gereken unsurdur. Bu bilgilerden yola çıkarak Neel (1949), manyetik danelerin mıknatıslanma özelliğinin değişmesine izin verilmesi olarak adlandırılabilir " $\tau$ ; Rölaksasyon sıcaklığı" kavramını üretmiştir. Kısaca engel sıcaklığı ile termal enerji seviyesinin birbirine oranı olarak tanımlanabilecek Rölaksasyon zamanı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\frac{1}{\tau} = c.e^{-\left(\frac{V.H_c.J_s}{2kT}\right)} \quad [4.1]$$

Denklem [4.1] dane boyutu bakımından incelenirse sabit sıcaklık değeri için dane boyutu küçüldükçe rölaksasyon zamanı'nın küçüldüğü görülebilir. Bu sebeple küçük dane boyutuna sahip mıknatıslanma özelliğinin daha kolay değişim gösterebildiği ve ikincil mıknatıslanma kazanacağı söylenebilir. Bu tür kazanılan mıknatıslanma Viskoz Kalıcı Mıknatıslanma olarak adlandırılır. Denklem [4.1] sıcaklık etkileri bakımından incelendiğinde ise bir numune içerisindeki dane boyutu ve mıknatıslanma şiddeti özellikleri önemli ölçüde değişmeyeceğinden " $H_c.J_s/2k$ " sonucu değişmeyeceğinden " $A$ " gibi bir sabit terim ile değiştirilebilir. Bu işlem sonucunda denklem [4.2] şeklini alır ve  $T$ : sıcaklık artmasının rölaksasyon zamanını önemli ölçüde kısaltacağı görülebilir. [4.2]

$$\frac{1}{\tau} = c e^{-\left(v \cdot \frac{\Delta}{T}\right)} \quad [4.2]$$

Bu bilgilerden yola çıkarak yukarıda tarif edilen Viskoz Kalıcı Mıknatıslanma ile ikincil mıknatıslanma kazanmış numuneler Sıcaklığının artırılması ile ikincil mıknatıslanmalardan temizlenebileceği görülebilir. Böylece Isıl Temizleme Yönteminde numunelerin sıcaklığının adım adım artırılması ile numunelerin rölaksasyon zamanında etkili olan “V/T” oranı azaltılarak daneciklerdeki mıknatıslanma küçük boyutlulardan büyüğe doğru temizlenir. Böylece önce küçük daneciklerde etkili olan Viskoz Kalıcı Mıknatıslanma (ikincil) ve yüksek sıcaklıklara ısıtıldıkça birincil mıknatıslanma bilgilerinin temizlenmesi gözlenebilir.

Laboratuvar ortamında yapılan çalışmalarda kayaçların ısıtılması ve ısı iletim özelliklerinin etkili olabileceği gerekçesiyle dikkat edilmesi gereken etkenler bulunmaktadır. Başarılı bir temizlenme işleminin gerçekleşmesi için kayaçların yavaş ısıtılması ve numunelerin her yerine sıcaklık nüfus edebilmesi için uygun süreler beklenilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında Isıl Temizleme İşlemleri için KANTEK laboratuvarında bulunan Magnetic Measurements Ltd. Yapımı olan MMTD60 model ısıl temizleme fırını kullanılmıştır (Şekil 4.4). Isıtma ve soğutma işlemlerinin kontrol edilebilmesi imkanını taşıyan fırında ısıtma işlemleri sırasında numunelerin dış etkilere maruz kalmaması için metalik olmayan koruma kaplamasına sahiptir. Ayrıca çoklu numune ısıl temizlemesine olanak sağlaması bakımından önemli bir zaman kazancı sağlamaktadır.



**Şekil 4.4.** Isıl Temizleme işlemlerinin gerçekleştirildiği MMTD-60 model ısıl temizleme fırını.



#### 4.4 Spinner Manyetometresi

Çalışma kapsamında toplanan numunelerin mıknatıslanma ölçümleri KANTEK Laboratuvarında bulunan Fransız CFR kuruluşu imalatı düşük hızlı Spinner Manyetometresi ile yapılmıştır (Şekil 4.5).



**Şekil 4.5.** Fransız CFR kuruluşu imalatı olan düşük hızlı Spinner Manyetometresi.

Aletin çalışması bir bobin içerisinde döndürülen manyetik parçanın bobinde akım indükleyeceği fizik ilkesine dayanmaktadır. CFR manyetometresi Liverpool laboratuvarındaki manyetometreler ile 1998 yılında Yrd. Doç. Dr. Turgay İşseven tarafından kalibre edilmiştir. Kullanılan manyetometre birbirine paralel ve ters olarak sarılı iki bobin Y.M.A. etkilerinden arındırılacak şekilde tasarıma sahiptir. Ölçme işlemleri sırasında izlenen yol numunenin her bir ekseninde aynı hız ile döndürülmesidir. Bu işlem sonucunda her bir doğrultuda numunenin indükleyeceği akımdan yola çıkarak mıknatıslanma şiddeti bulunabilmektedir.

İndüklenen akım mıknatıslanma ile birlikte döndürülme hızına bağlı olacağından aynı hızlarla döndürülmesi konusuna dikkat edilmesi gerekmektedir. Mıknatıslanma bileşenleri numunelerin bobinlerde oluşturduğu alternatif akımlar ile aletin ürettiği kontrollü alternatif akımın fazlarının karşılaştırılması ile elde edilir. Üç eksen için elde edilen mıknatıslanma bilgileri ile mıknatıslanma doğrultusu ve şiddeti elde edilmiş olur.

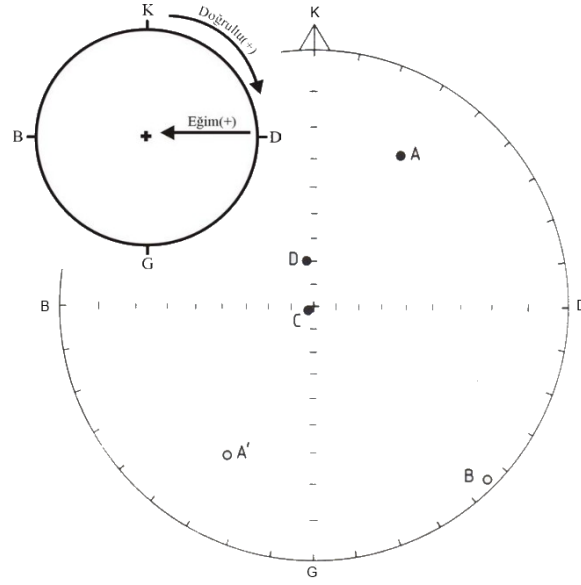
#### **4.5 Demanyetizasyon Sonuçlarının Analizi**

İkincil Mıknatıslanma Temizlemelerinde kalıcı mıknatıslanma vektörü tamamen çözülene kadar işleme devam edilir ve tutarlı bir mıknatıslanma yönelimi (vektörü) elde edilir. Elde edilen tutarlı kalıcı mıknatıslanma özelliği karakteristik kalıcı mıknatıslanma (ChRM) olarak adlandırılır (Tauxe 1998). Elde edilen denklinasyon açısı  $D$ , inklinasyonun açısı  $I$ , ve mıknatıslanma şiddeti  $J$  sonuçları yatay ve düşey düzlemlere ait 3-boyutlu bilgi taşıdığı ve (2-boyutlu) kağıt düzleminde sunulduğu için paleomanyetizma çalışmalarında iz düşüm yöntemlerinden yararlanır. Paleomanyetizma çalışmalarında kullanılan iz-düşüm yöntemleri Stereografik projeksiyon, Mıknatıslanma Şiddet çizelgeleri ve As-Zijderveld projeksiyonlarıdır.

##### **4.5.1 Stereografik Projeksiyon**

İz düşüm yöntemleri Paleomanyetizma çalışmalarındaki vektörel büyüklüklerin sunumu için kullanılır. Vektörel büyüklüklerin yön bilgileri önemli olduğu için şiddeti ile ilgili bilgiler göz ardı edilir. Vektörel büyüklüklerin sunumu bu sebeple birim vektör ile temsil edilir. Birim yarı-çaplı bir küre ve sunulan vektörlerin başlangıç noktası kürenin merkezi olacak şekilde yapılan bir yerleştirme iz düşüm yöntemlerinde esas alınmaktadır.

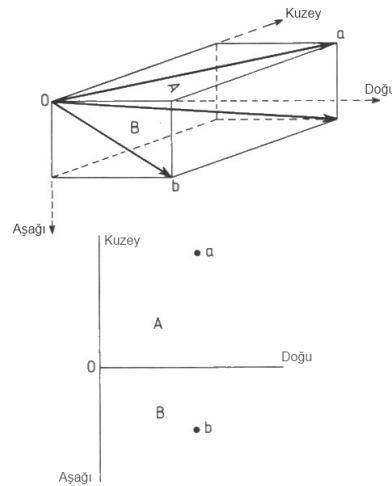
Sonuçlar 2-B olarak görüntüleneceği için çeşitli kabul görmüş yöntemlerden yararlanır. Paleomanyetizma çalışmalarında en sık kullanılan izdüşüm yöntemleri Lambert Eşit-Alan Projeksiyonu ve Stereografik Projeksiyonlarıdır. Her iki iz düşüm yönteminde de kağıt düzleminde bir çember ve *Doğrultu* ( $D$ ) çember çevresinde  $0^\circ$  'den  $360^\circ$  'ye saat yönünde artacak şekilde, *Eğim* ( $I$ ) ise çemberin dışında  $0^\circ$ , merkezde  $90^\circ$  olacak şekilde yansıtılır. Eğim değerleri  $180^\circ$  'lik bir aralıkta değer içermesi nedeniyle normal eğim açıları (+) içleri dolu, ters eğim açıları (-) ise içleri boş noktalar olarak temsil edilir (Şekil 4.6).



**Şekil 4.6** Stereografik projeksiyon ve örnek verilerin gösterimi (Collinson, 1983).

#### 4.5.2 As-Zijderveld Projeksiyonu

Paleomanyetizma çalışmalarında incelenmesi gereken önemli bir aşamada demanyetizasyon işlemleri neticesiyle mıknatıslanma vektörünün değişimlerinin izlenmesidir. Bu aşamada Zijderveld (1967) tarafından geliştirilen ve kendi adıyla anılan "Zijderveld Projeksiyonu"ndan yararlanır. Mıknatıslanma Temizlenmeleri sırasında *Doğrultu (D)* ve *Eğim (I)* değerlerinin vektörel değişimleri ile birlikte Stereografik Projeksiyonda göz ardı edilen şiddet değişimleri de gösterilebilmektedir. Oluşturulan grafiklerde Doğu-Batı doğrultusu kesişim eksenini olacak şekilde üst bölüm denklinasyon, alt bölüm inklinasyon olacak şekilde şiddet bilgisi ile birlikte gösterilebilmektedir (Şekil 4.7).

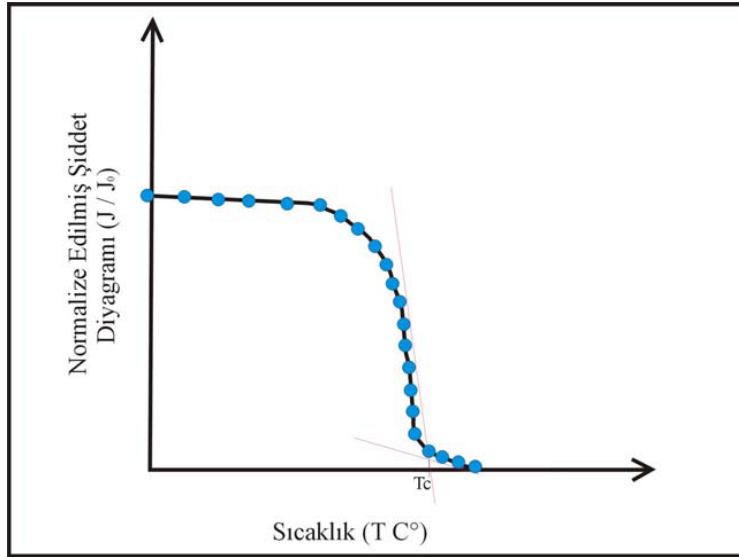


**Şekil 4.7** Zijderveld projeksiyonu ve örnek verilerin gösterimi (Collinson, 1983).

#### 4.5.3 Normalleştirilmiş Mıknatıslanma-Sıcaklık Grafikleri

Numunenin hangi temizleme aşamasında ikincil mıknatıslanmadan arındırıldığını gözlemek için Normalleştirilmiş Mıknatıslanma Şiddeti-Sıcaklık çizelgeleri kullanılır. Hem Alternatif Alan Temizleme hem de Isıl Temizleme yöntemi için kullanılabilen bu yöntem bu çalışmada Isıl Temizleme Yöntemi için kullanılmıştır. Bu nedenle Isıl Temizleme yöntemi üzerinden anlatılacaktır.

Mıknatıslanma-Şiddet çizelgelerinde temizleme işleminin her adımı sonrasında elde edilen mıknatıslanma şiddeti " $J$ " için Doğal Kalıcı Mıknatıslanma şiddetine " $J_0$ " olan oranları hesaplanır ( $J/J_0$ ). Bu oranlama sonucu elde edilen değerler düşey eksende, temizleme sıcaklığı değeri yatay eksende olacak şekilde eşleştirilerek grafiğe işlenir (Şekil 4.8).



**Şekil 4.8** Normalize edilmiş Mıknatıslanma Şiddeti- Sıcaklık grafiği (İşseven, 2001).

Yapılan işlemler sonucunda çalışılan her bir numune için mıknatıslanma şiddeti değişimlerinin sıcaklığa göre değişimi elde edilmiş olur. İkincil mıknatıslanmanın yitirildiği ve birincil mıknatıslanma bilgisi taşıyan sıcaklıklar belirlenmesi yapılabilir. Ayrıca yapılan çizelgeler sonucunda kalıcı mıknatıslanmanın yitirildiği Curie Sıcaklığı " $T_c$ " değeri elde edilip mıknatıslanmadan sorumlu olan mineraller hakkında bilgi edinilmiş olur.

#### 4.6 Paleomanyetik Verilerin İstatistik Çözümleri (Analizi)

Paleomanyetizma çalışmalarında bir mevkiye ait ortalama doğrultuyu belirli bir güvenilirlik içerisinde hesaplanmasında Fisher (1953) tarafından geliştirilen istatistik yöntemlerinden yararlanılır. Paleomanyetik verilerde ölçüm aletinin kendinden veya numune tutucu aparatı kaynaklı, numune yönlendirilmesi hassasiyeti kaynaklı, numune alınan mevki kaynaklı, mıknatıslanma kazanma süreci kaynaklı veya yer manyetik alanının anlık salınımları kaynaklı saçılmalar görülebilmektedir (Tauxe, 1998). Bu etkilerden kaynaklanan bazı gürültüler sonucunda veriler simetrik bir dağılım gösterebilirler. Bu tür dağılım gösteren durumlar Fisher dağılımı olarak tanımlanır. Bu gibi durumlarda Paleomanyetizma çalışmalarında ortalama doğrultu istatistiksel işlemler sonucunda belirli bir güven aralığı içerisinde olacak şekilde hesaplanabilir.

Fisher istatistiği ile bir grup verinin ortalamasının hesaplanmasında her bir veri eşit değerde ağırlıklandırılır. Birim ağırlıklı vektörlerden oluşan bir veri grubu için yoğunluk dağılımı hesaplanmasında;

$$P = \left[ \frac{k}{(4\pi \sinh k)} \right] \exp(k \cdot \cos \theta) \quad [4.3]$$

fonksiyonu kullanılır. Bu fonksiyonda kullanılan  $k$ ; presizyon parametresi,  $\theta$ ; gruba ait ortalama ile veri arasındaki açıyı temsil etmektedir. Hassaslık değişkeni;

$$k = \frac{(N - 1)}{(N - R)} \quad [4.4]$$

denklemleri ile temsil edilir ve 'N' veri grubundaki birim ağırlıklandırılmış vektör sayısını, 'R' ise tüm vektörlerin toplamı olan bileşke vektörü temsil etmektedir.

Hassaslık değişkeninin değerlerinden veri dağılımı hakkında fikir üretilebilir. Örneğin vektörler saçılmış bir dağılım gösteriyorsa bileşke vektörün değeri küçülecek ve eşitliğin sonucu küçük değerlere sahip olacaktır. Bunun aksi şekilde vektörler fazla saçılmamış ve yaklaşık değerler veriyorsa eşitlikteki payda küçülecek ve daha büyük değerler alacaktır. Bu bilgiler ışığında yapılan çalışmalarda 'k' değeri için kesin kısıtlamalar olmasa da yeterli veri sayısı ve  $k \geq 20$  koşulları için elde edilen ortalama vektör "güvenilir" kabul edilmektedir.

Fisher istatistiğinde hassasiyet değişkeni yanında verilerin niteliği de önem taşımaktadır. Vektörel verilerin küre üzerindeki dağılımına karşılık gelen ortalama doğrultu ile verilerin özellikleri incelenebilmektedir. Paleomanyetizma çalışmaları için, mıknatıslanma yönelimlerinin görselleştirildiği küre yüzeyinde dağılımları 'dağılım çemberleri' çizilerek verinin bütünlüğü belirlenmeye çalışılır. Bu sayede kullanılan veri grubu için bulunan ortalama ile gerçek ortalamanın ne kadar farklı olabileceği bilgisine ulaşılabilmektedir.

Fisher istatistiğinde dağılım çemberlerinin sonlu sayıda veri için olan olasılıkları hesaplanmıştır. Bir grup veri için gerçek ortalama değeri ve hesaplanan ortalama değerinin (1-p) olasılık düzeyinde ne kadar farklı olabileceğide ele alınmıştır. Dağılımın gerçek ortalaması;

$$\text{Cos } \alpha_{(1-p)} = 1 - \left[ \frac{N-R}{R} \right] \left[ \frac{1}{p^{1/(N-1)}} - 1 \right] \quad [4.5]$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir. Güvenilir bir  $\alpha_{95}$  değeri elde edilmesi için p değerinin 0.05 alınması gerekmektedir [(1-p)=(1-0.05)=0.95]. Bundan yola çıkarak hesaplamalarda üstteki bağıntının yerine daha sadeleştirilmiş biçimde olan bağıntı da kullanılabilir.

$$\alpha_{95} = \frac{140^0}{\sqrt{k.N}} \quad [4.6]$$

Bu bilgiler ışığında Paleomanyetik verilerin istatistiksel analizleri ve değerlendirmeleri yapılabilir. Hassasiyet değişkeni  $k \geq 20$  değeri ile birlikte güven aralığı-dağılım çemberi  $\alpha_{95}$ 'in küçük değerleri için verilerin güvenilirliği kabul edilebilir durumdadır.

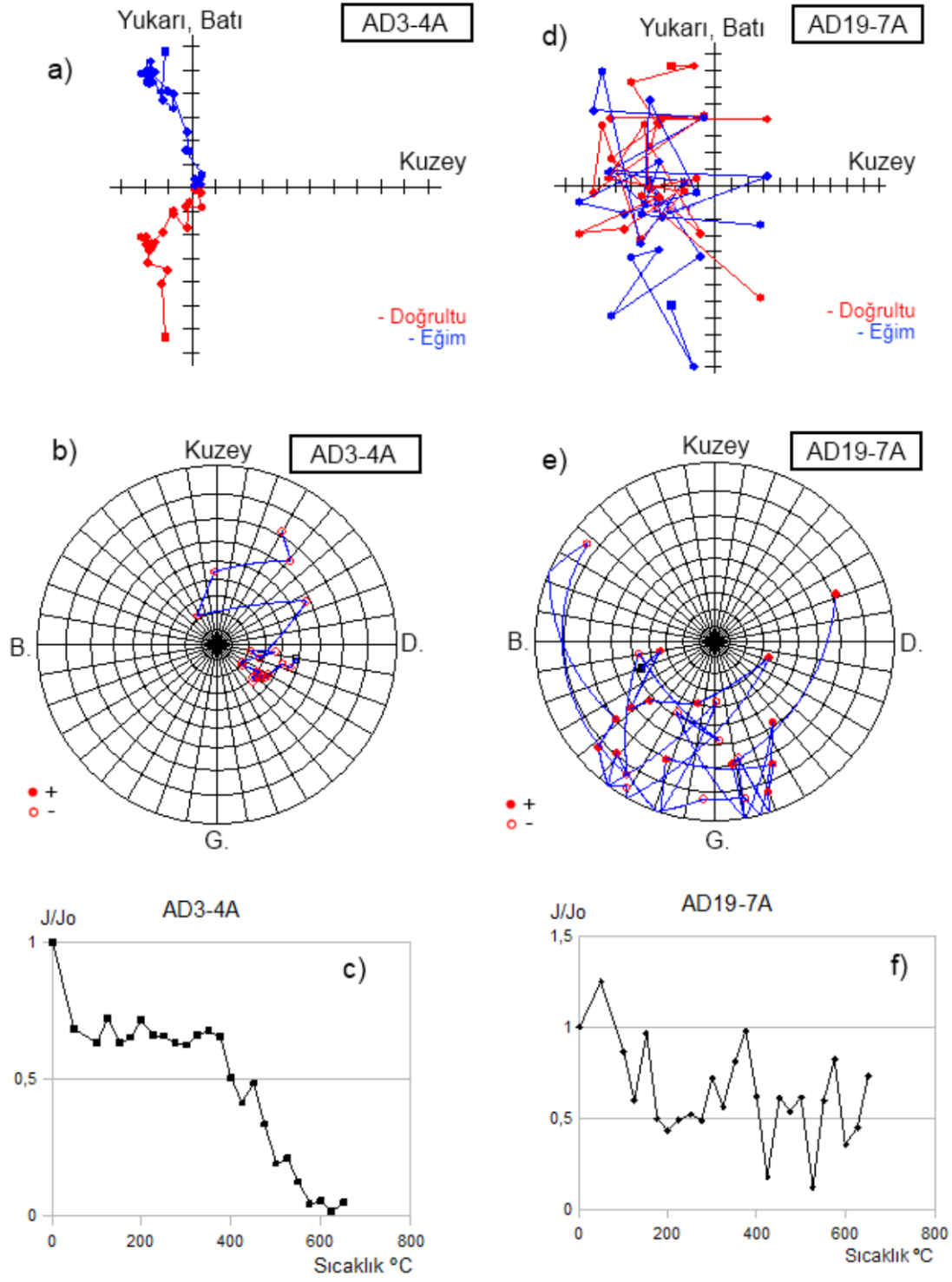
## 5. LABORATUAR ÇALIŞMALARI

### 5.1 Pilot Numunelerin Seçimi ve Analizi

Almacık Dağı Eosen yaşlı volkaniklerinin paleomanyetizması ve Almacık Dağı'nın rotasyonu'nun araştırıldığı bu çalışmada Almacık Dağı'nda 19, Yığılca civarında 2 ve Adapazarı civarında 5 olmak üzere toplam 26 mevki'den 1 inç çaplı silindirik karot numuneler toplanmıştır. Araziden alınan bu karot numuneleri KANTEK laboratuvarı ortamında 1 inç uzunluklu şekilde kesilerek ölçümlere hazır hale getirilmiştir.

Laboratuvar ölçümlerinin planlanması için numuneler hakkında ön bilgi elde edilebilmesi için pilot numune ölçümlerine başlanmıştır. Her mevkiye ait iki farklı numune seçildikten sonra Doğal Kalıcı Mıknatıslanma (DKM) ölçümleri gerçekleştirilmiş sonrasında ısıl demanyetizasyon işlemleri uygulanmıştır. Demanyetizasyon işlemleri 25°C adımlar ile 650°C kadar yapılmış ve toplam 25 adımda tamamlanmıştır. Yapılan ısıl temizleme işlemleri sonucunda her mevki için güvenilir sıcaklık değerleri elde edilmiş ve temizleme aralıkları belirlenmiştir. Temizleme aralıklarının belirlenmesi aşamasında her sıcaklık adımı için elde edilen mıknatıslanma şiddeti, doğrultu açısı ve eğim açısı bilgileri Zijderveld Projeksiyonu, Stereografik Projeksiyon ve normalize edilmiş mıknatıslanma şiddeti-sıcaklık çizelgeleri yardımıyla incelenmiştir.

Şekil 5.1'de AD3-4A isimli pilot numune verisinin (a) Zijderveld ve (b) Stereografik Projeksiyonları ve (c) normalize edilmiş şiddet-sıcaklık çizelgeleri bulunmaktadır. Numuneye ait Zijderveld Projeksiyonunda numunenin doğrultu ve eğim değerlerinin yakın değerler ile gruplandığı görülmektedir. Doğal Kalıcı Mıknatıslanma (DKM) değerlerinin ikincil mıknatıslanma etkisinde olduğu ve 425°C'den sonraki değerleri için mıknatıslanma şiddeti-sıcaklık grafiğine bakıldığında birincil mıknatıslanmaların etkisinin azalmaya başladığı seçilmektedir. Bu bilgiyle birlikte Zijderveld Projeksiyonu incelendiğinde 100°C ve 400°C değerleri arasında güvenilir bir gruplanma olduğu görülmektedir.



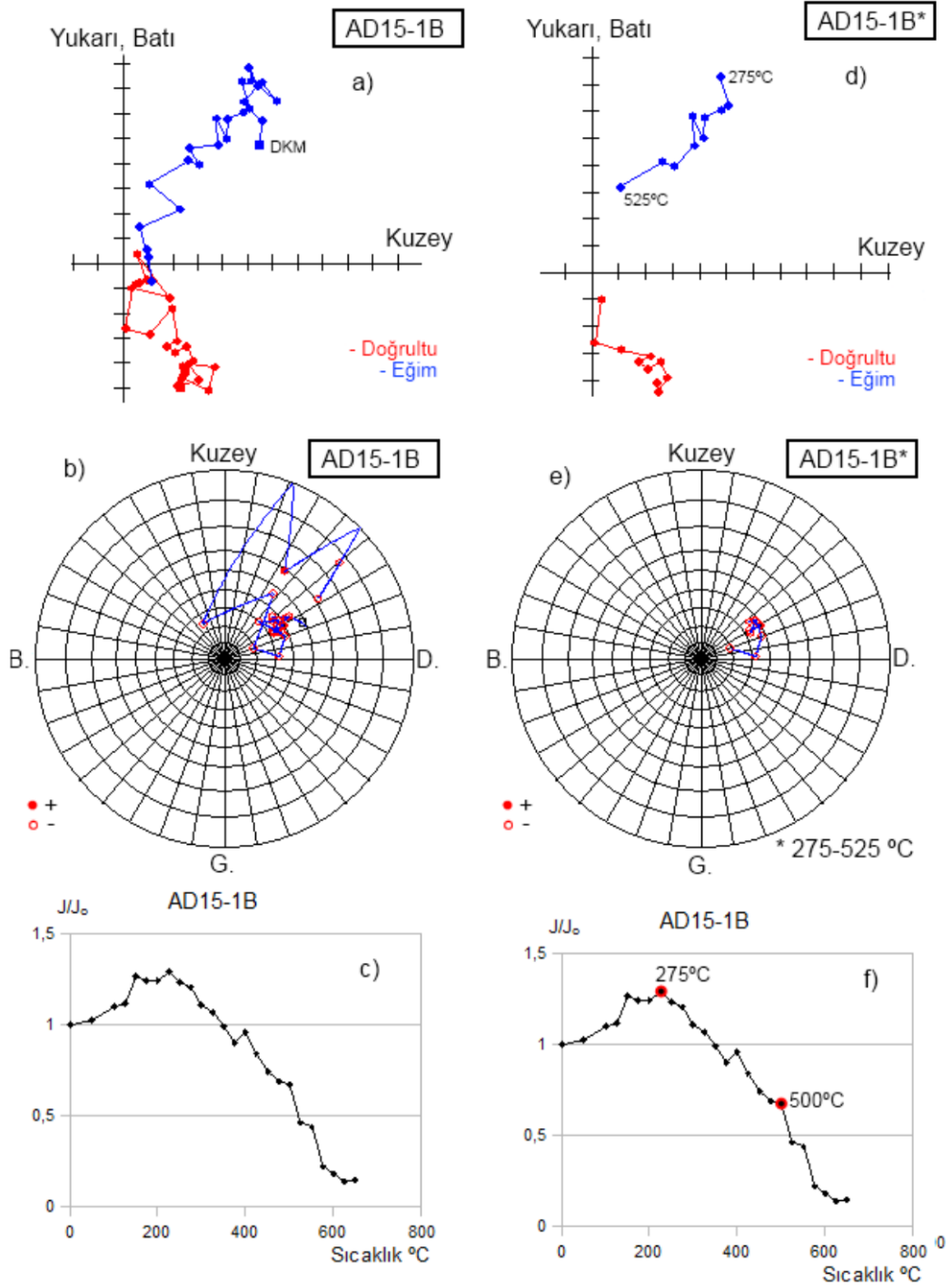
**Şekil 5.1** AD3-4A ve AD19-7A numunelerine ait pilot ölçüm sonuçları. (a,d) Zijderveld, (b-e) Stereografik, (c,f) Normalize edilmiş Şiddet-Sıcaklık grafiğidir.



Numuneye ait stereografik projeksiyon incelendiğinde doğrultu ve eğim değerlerinin aynı değerler etrafında toplandığı ve bunun yüksek sıcaklıktaki değerlerine kadar korunduğu görülmektedir. Normalize Şiddet-Sıcaklık şekli incelendiğinde mıknatıslanma şiddetindeki ani azalma büyük olasılıkla DKM'nin hatalı ölçülmesinden kaynaklanmaktadır (Şekil 5.1(c)). Numunenin 425°C'de birincil mıknatıslanmasını belirgin bir şekilde yitirmeye başladığını göstermekte olduğu ve 600°C civarında mıknatıslanmasının tümünü yitirdiğini göstermektedir.

Unlukyayla – Aksudere yolu üzerinden alınan AD19-7A isimli pilot numuneye ait grafikler Şekil 5.1 (d, e, f)'de bulunmaktadır. Güvenilir bir mıknatıslanmaya sahip bulunmayan bir numunenin nasıl görüldüğü konusunda fikir vermesi açısından bu numune örnek verilmiştir. Numuneye ait Stereografik projeksiyonda doğrultu ve eğim değerleri incelendiğinde dağınık halde bulunduğu ve hiçbir tutarlı gruplanma göstermediği görülmektedir. Bununla birlikte Zijderveld Projeksiyonunda benzer bir şekilde sonuç görülmekte ve saçılmış-güvenilmez bir mınatıslanma karakteri görülmektedir. Normalize edilmiş Şiddet-Sıcaklık grafiğinde'de numunenin birincil mıknatıslanmasının birçok kez kuvvetli dış alanlar etkisiyle ikincil mıknatıslanmalar kaydettiği görülmektedir. Bu bilgiler ışığında bu numune güvenilir olmayan bir mıknatıslanmaya sahip olduğu ve değerlendirme dışında tutulması gerektiği yorumu yapılmalıdır.

Şekil 5.2 (d,e)'de yukarıda bahsedilen yanılğı etkilerinin kaldırıldığı Zijderveld ve Stereografik Projeksiyonlara yer verilmiştir. AD15-1B numunesine ait saçılmış verilerin ayıklandığı Stereografik Projeksiyonda 275°C – 550°C arası doğrultu – eğim değerleri gösterilmiştir. Düşük sıcaklıklarda edinilen ikincil mıknatıslanmanın temizlendiği numune'de 550°C sonraki değerlerinde birincil mıknatıslanma zayıflaması nedeniyle ile ikincil mıknatıslanma etkileri belirginleştiği için sonuçlarda saçılmalar görülmeye başlanmıştır. Benzer şekilde, Zijderveld Projeksiyonuna bakıldığında DKM ve düşük sıcaklıklardaki ikincil mıknatıslanmalarla ilişkili veriler kaldırıldığında doğrultu ve eğim değerlerinin tutuarlı yönelimi görülebilmektedir. Bu bilgiler ışığında AD15-1B numunesinin anlamlı bir mıknatıslanmaya sahp olduğu ve güvenilir olduğu söylenebilir.

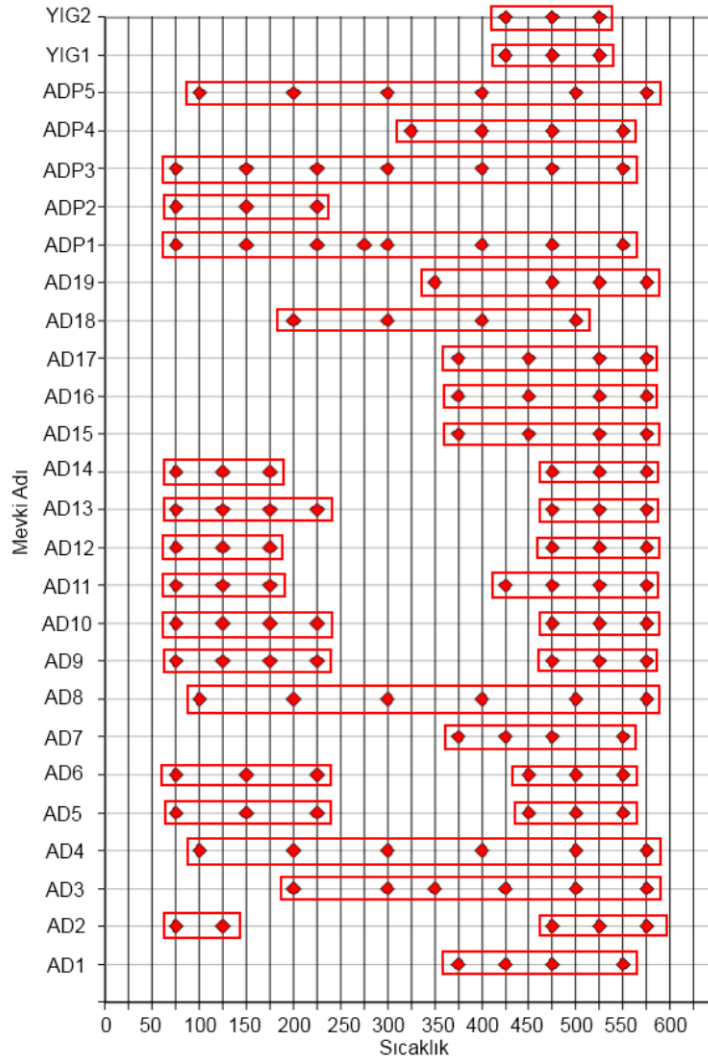


**Şekil 5.2** AD15-1B numunesine ait pilot ölçüm sonuçları. (a,d) Zijderveld, (b-e) Stereografik, (c,f) Normalize edilmiş Şiddet-Sıcaklık grafiğidir. a,b,c yorumlanmamış sonuçlar, d,e,f ikincil mıknatıslanmaların ayıklandığı, birincil mıknatıslanmanın işaretlendiği sonuçlar.

Yapılan bu ölçümler ve değerlendirmeler sonucunda güvenilir mıknatıslanmaya sahip olan ve olmayan numuneler belirlenmiş ve güvenilir mıknatıslanma göstermeyen numunelerin değerlendirme dışında tutulmalarına karar verilmiştir. Almacık Dağı ve çevre bölgelerde yapılan bu Paleomanyetizma çalışması neticesiyle altı tane Almacık Dağı, bir adet Adaparzarı-Serdivan civarında mevkiilerden benzer sonuçlar elde edilmesi nedeniyle değerlendirmelere dahil edilmemişlerdir.

## 5.2 Kalıcı Mıknatıslanma Ölçümleri

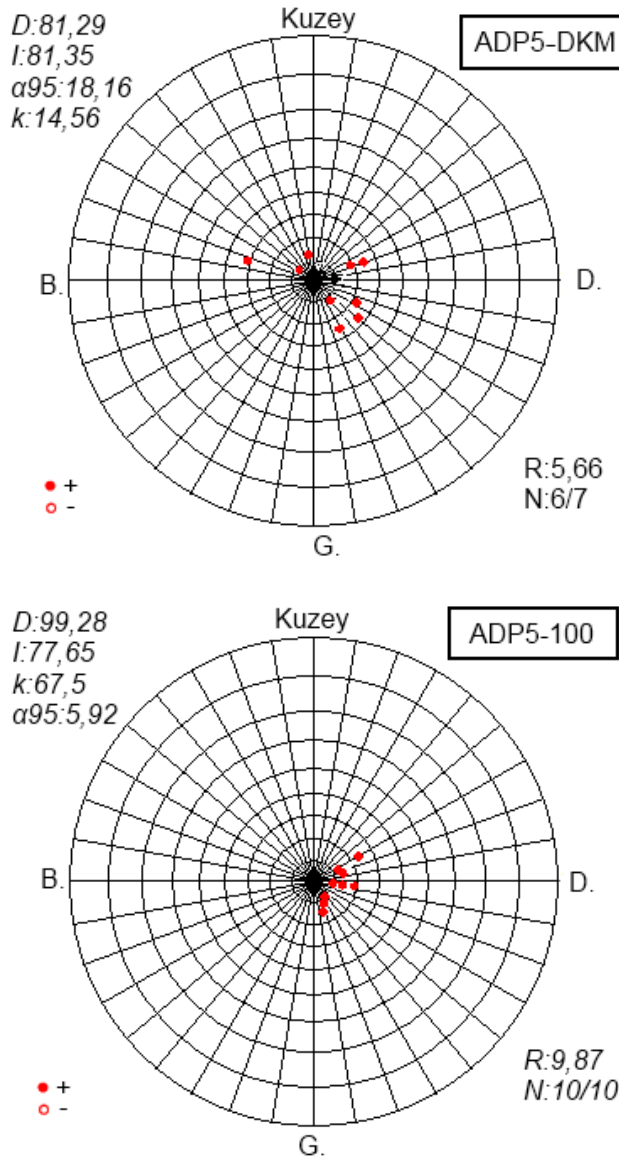
Pilot numunelerin ölçülmesinden sonra yapılan laboratuvar çalışmaları ile 26 mevki'nin mıknatıslanma karakteri ile ilgili bilgiler elde edilmiştir. Bu bilgiler önceki bölümde bahsedildiği gibi Projeksiyonlar ve çizelgeler ile değerlendirilmiş ve her mevki için ayrı ayrı temizleme aralıkları belirlenmiştir.



Şekil 5.3 Laboratuvar çalışmaları sonucunda kararlaştırılan temizleme sıcaklıkları

Şekil 5.3'te mevkii adları ve sıcaklıklardan oluşan bir çizelge üzerinde temizleme aralıkları toplu halde gösterilmektedir. Şekilde her numunenin hangi sıcaklıklarda ısı temizleme işlemi uygulandığı kırmızı noktalar anlamlı bulunan aralıklar ise kırmızı dörtgenler ile gösterilmiştir. İki aralıkta gösterilen mununelerin ölçümleri control amaçlı yapılmıştır.

Şekil 5.4'te normal polariteye sahip ADP5 mevkiisine ait güvenilir mıknatıslanmaya sahip mevkiilerden bir örnek verilmiştir. ADP5 mevkiisinde ölçülen DKM doğrultu ve eğim değerleri için ortalama mıknatıslanma doğrultusu ve güvenilirlik parametreleri hesaplanmış, değerler stereografik projeksiyonda gösterilmiştir.



**Şekil 5.4** ADP5 mevkiisine ait ortalama mıknatıslanma doğrultusu hesaplanmasını gösteren stereografik projeksiyonlar NRM; Doğal Kalıcı Mıknatıslanma değerini, 100: 100°C değerine kadar ısı temizleme adımları gerçekleştirildikten sonraki değerleri göstermektedir.

Değerlendirmeler sonucunda mevkii'de ısıl temizleme adımları sonrasında  $k$ , ve  $\alpha_{95}$  değerlerinde iyileşme meydana gelmektedir. Doğal kalıcı mıknatıslanma değerlerinde 10 numuneden 7 sinin normal polarite gösterdiği ve bunlardan 6 sınıf istatistiksel olarak birbiriyle uyumlu bulunduğu görülmektedir. Isıl Temizleme adımları sonrasında ise ikincil mıknatıslanma etkilerinin temizlenmesi ile 10 numunenin hepsi normal polariteye sahip ve istatistiksel olarak birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak belirlenen ısıl temizleme aralıkları her mevkii'nin bütün numuneleri için uygulanmıştır. Bu temizleme işlemlerinden sonra her mevkii'nin güvenilir mıknatıslanmaya sahip numunelerinin sonuçları ile ortalama mıknatıslanma doğrultuları hesaplanmış ve Projeksiyon ve çizelgeler yardımı ile incelenmiştir (Tablo 5.1).

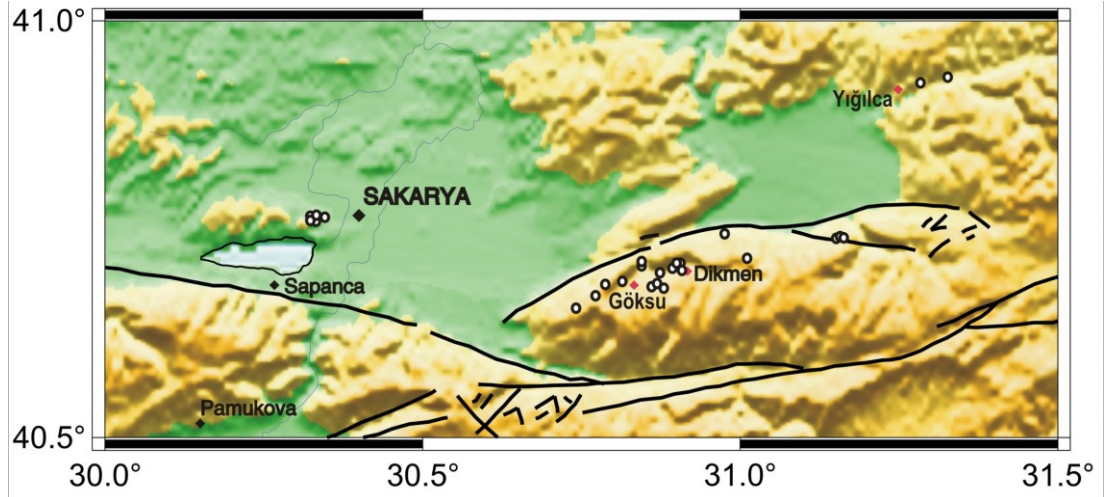
**Tablo 5.1-** Paleomanyetik mevki ortalamaları. N: ortalamaya katılan numune sayısı, n: toplanan numune sayısı; R: bileşke vektör; k: Fisher duyarlık parametresi ( $k=(n-1)/(n-R)$ );  $\alpha_{95}$ : emniyet çemberi ( $^{\circ}$ ). Polarite normal ve ters olarak sınıflandırılmıştır (N, R).

Mevki Adı	N/n	R	$\alpha_{95}$	K	D (Tek. Düz. Öncesi)	I (Tek. Düz. Öncesi)	D (Tek. Düz. Sonrası)	I (Tek. Düz. Sonrası)	Polarite
AD 1	9 / 11	8.2	16.9	10.3	158	27			
AD 2	7 / 11	6.8	11.1	30.4	155	40	65	54	N
AD 3	8 / 8	7.9	6.6	72.4	124	-60	202	-58	R
AD 4	9 / 9	4.7	54.5	1.9	99	6			
AD 5	7 / 11	6.8	10.9	31.6	336	48	27	50	N
AD 6	7 / 10	6.8	10.9	31.9	359	63	26	46	N
AD 7	10 / 10	5.7	50.2	1.6	301	-60			
AD 8	8 / 8	5.2	44.2	2.5	298	-58			
AD 9	9 / 11	8.8	9.1	32.7	312	65	19	60	N
AD 10	10 / 10	5.3	55.2	1.5	258	27			
AD 11	7 / 10	6.8	9.6	39.3	50	64	56	70	N
AD 12	11 / 11	10.6	9.1	26.3	335	48	33	69	N
AD 13	8 / 8	7.6	12.8	21.9	0	48	23	46	N
AD 14	12 / 12	11.7	7.4	35.8	314	59	329	41	N
AD 15	9 / 9	8.9	5.1	103.6	167	-60	231	-42	R
AD 16	7 / 7	6.9	6.2	96	143	-63	235	-52	R
AD 17	7 / 7	6.8	11.4	29.1	139	-44	215	-68	R
AD 18	8 / 9	7.8	10.6	28.1	10	57	38	70	N
AD 19	10 / 10	6.1	41.7	2.3	145	-16			
YIG1	10 / 10	9.8	7.2	45.9	159	-58	166	-35	R
YIG2	9 / 9	8.7	9.6	29.6	175	-11	178	-25	R
ADP 1	12 / 12	11.8	4.1	122.7	345	51	341	43	N
ADP 2	9 / 9	8.8	7.8	44.1	6	40	357	24	N
ADP 3	9 / 9	8.8	7.9	43.5	39	21	31	20	N
ADP 4	8 / 8	7.2	20.2	8.4	291	19			
ADP 5	10 / 10	9.9	5.9	67.9	99	78	80	54	N



## 6. DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında Almacık dağı ve çevresine ait 26 mevki'den paleomanyetik numuneler toplanmıştır. Yapılan bu arazi çalışmalarından sonra elde edilen karotlar KANTEK laboratuvarı imkanlarıyla ölçüme hazır hale getirilmiş ve DKM değerleri ölçüldükten sonra ısı temizleme işlemi ile ikincil mıknatıslanma etkilerinden temizlenmiştir. Eosen yaşlı mevkiilerden seçilen numunelerden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek bölgenin tektonik yapısıyla ilgili görüşler belirtilmiş, daha önceki çalışmalar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Paleomanyetik sonuçlardan elde edilebilen paleocoğrafik enlem bilgisi ile güncel durumun karşılaştırılması ile enlemsel yer değiştirmeler hakkında fikir üretilmeye çalışılmıştır.

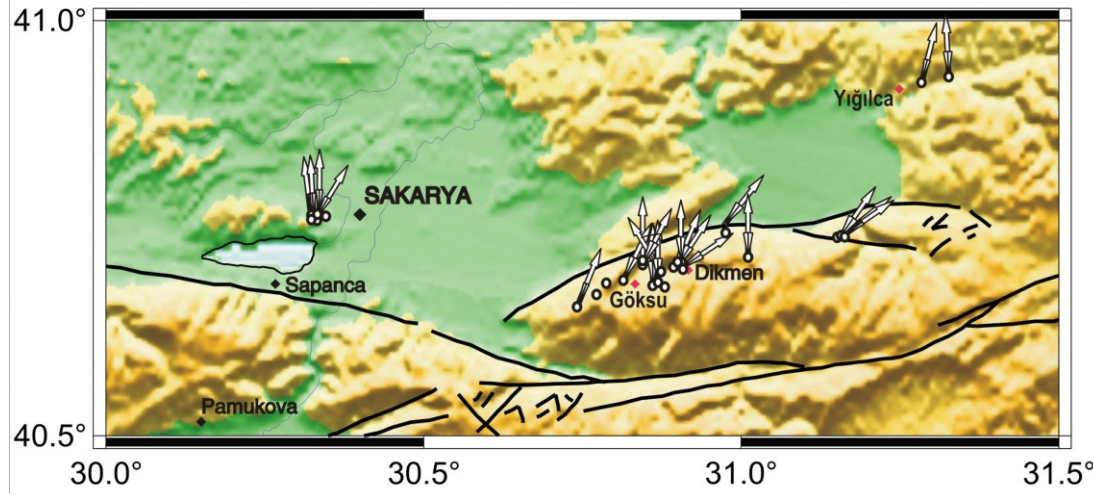


**Şekil 6.1** Almacık Dağı ve çevre mevkiilerin haritası. Almacık Dağı içerisinde 19, Sakarya Serdivan civarında 5 ve Yığılca civarında 2 mevki'nin yerlerini gösteren harita.

### 6.1 Elde Edilen Ortalama Mıknatıslanma Doğrultularının Doğrultu Açılarının Değerlendirilmesi

Önceki bölümlerde anlatılan değerlendirme çalışmaları neticesinde mevkiilere ait ortalama mıknatıslanma doğrultuları, polariteleri ve güvenilirlikleri belirlenmiştir. Mevkiilere ait ortalama mıknatıslanma doğrultu hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamaların toplu sonuçları Tablo 5.1'de sunulmuştur.

Almacık dağı ve çevresine ait 26 mevkiinin 7 tanesi güvenilir bulunmadığı için değerlendirme dışında tutulmuştur. Tablo'dan görülebileceği gibi  $\alpha_{95}$  ve k değerleri için numunelerde beklenen aralıkta yer almamaktadır. Güvenilir mıknatıslanmaya sahip olan 19 mevkiiden ise 13 tanesi normal polariteye sahip iken 6 tanesi ters polariteye sahip bulunmuştur. Elde edilen bu doğrultular  $\alpha_{95}$  hata payı ile gösterilerek harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.2). Haritalama sırasında ters polariteye sahip mevkiiler normal polariteye dönüştürülerek çizdirilmiştir.



**Şekil 6.2** Almacık Dağı ve çevre mevkiilere ait paleomanyetik doğrultular ve tektonik yapıyı gösteren harita.

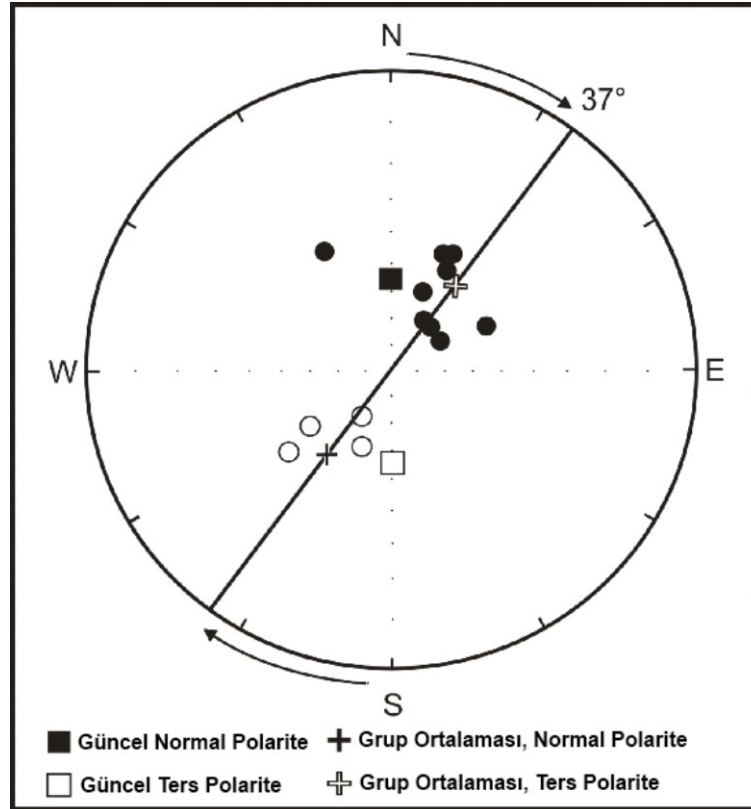
Ortalama mıknatıslanma doğrultuları incelendiğinde Almacık Dağı içerisinde kalan rotasyonların ağırlıklı olarak saat yönlü olduğu görülmektedir. Almacık Dağı'na ait mevkiilerden AD2, AD5, AD6, AD9, AD11, AD12, AD13, AD14 ve AD18 normal polariteye sahip, AD3, AD15, AD16 ve AD17 ters polariteye sahip mevkiiler olarak belirlenmiştir.

Ters polariteye sahip güvenilir mevkiileri incelediğimizde AD3, AD15, AD16 ve AD17 mevkiilerine ait hassaslık parametresi (k) değerlerinin 20'den büyük değerler aldığı görülmektedir. Aynı mevkiilerin güvenilirlik aralığı ( $\alpha_{95}$ ) değerlerine bakıldığında 0-10 arası değerler aldığı görülmektedir. Değerlendirme aşamasında hassaslık parametresi  $k \geq 20$  ve  $\alpha_{95}$  güvenilirlik aralığının küçük değerlerinin arandığını hatırlarsak mevkiilerin örneklenmesinin ve mıknatıslanmasının güvenilir olduğu görülmektedir.



Normal polariteye sahip güvenilir mevkiiler incelendiğinde 9 mevkiinin hassaslık parametreleri sırasıyla 28-40 arası değerler işaret etmektedir. Güvenilirlik aralığına bakıldığında 9-13 arası değerler elde edilmiştir. Hassaslık parametresi ve güvenilirlik aralığı koşullarının sağlandığı mevkiilerde sapma açıları AD14  $-31^\circ$ , diğer mevkiilerde en küçük  $19^\circ$ , en büyük  $65^\circ$  olarak bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde AD14 haricinde bütün mevkiilerin saat yönlü sapma açısına sahip olduğu görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında Almacık Dağı Eosen yaşlı volkanikleri ile eş yaşlı olan ve bölgenin dışarısında kalan Serdivan ve Yığılca mevkiilerinden de numuneler toplanmıştır. Böylece rotasyona uğradığı düşünülen blok ile bu alanın dışarısında kalan bu bölgelerle karşılaştırılabileceği düşünülmüştür.

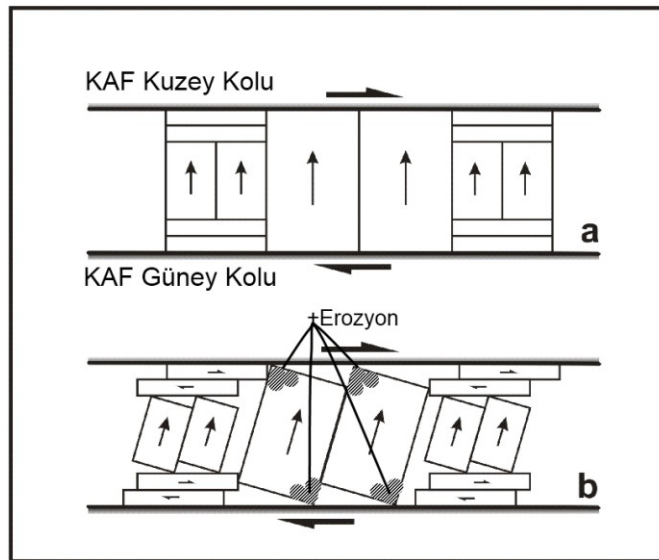


**Şekil 6.3** Almacık Dağı Eosen yaşlı volkaniklerden oluşan mevkiilerin ortalama mıknatıslanma doğrultularını gösteren stereografik projeksiyon. Ortalama mıknatıslanma ortalamaları; D:  $37,0$ ; I:  $57,53$ ;  $\alpha_{95}$ :  $11,16$ ; k:  $36,97$ .

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen mevkiilerin ortalama miktislanma değerleri, Almacık Dağı'nın ortalama miktislanma değeri bulunması için stereografik projeksiyonda çizdirilmiş ve Fisher istatistiği ile verinin bütünlüğü ve güvenilirlik parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda ortalama miktislanma doğrultusunun (mevkii ortalamalarının) ortalaması;  $D: 37,0^\circ$ ;  $I: 57,53^\circ$ ;  $\alpha_{95}: 11,16$ ;  $k: 36,97$  olarak elde edilmiştir (Şekil 6.3). Görüldüğü gibi Almacık Bloğu'nun ortalama doğrultusu saat yönünde  $37,0^\circ$  olup söz konusu rotasyon günümüz kutup rotasyonuna göre gelişmiş olan rotasyonu göstermektedir.

Güvenilir mevkiilerin sonuçları incelendiğinde AD14 ( $-31^\circ$ ) mevkiisi dışında bütün mevkiiler en düşük  $19^\circ$  ve en yüksek  $65^\circ$  olacak şekilde ortalaması  $37,0^\circ$  olan saat yönlü sapma işaret etmektedir. Mevkiilerin tamamının Eosen yaşlı volkaniklerden oluşması nedeniyle bu sapmanın bölgede etkinliğinin Eosen sonrasında başladığı bilinen KAF ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Sağ yönlü atım karakterine sahip olan KAF'nın bu tür rotasyonlara neden olabildiği daha önce çeşitli çalışmalar ile de ortaya konulmuş durumdadır (Tatar ve diğ. 1995; İşseven ve Tüysüz, 2006, Avşar ve İşseven 2009;).

KAF kolları arasında yer alan çalışma alanında beklenen bu rotasyonun temsili bir çizimi (Şekil 6.4)'de bulunmaktadır. KAF'nın etkilerinin henüz oluşmadığı zamanlarda doğrultuları Kuzey'i gösteren bloklarda (Şekil 6.4(a)) daha sonar fayın etkileri sonucunda rotasyona uğradığı ve doğrultularında (Şekil 6.4(b)) sapma meydana geldiği düşünülmektedir.



**Şekil 6.4** Sağ yönlü doğrultu atımlı iki fay kolu arasında kalan blokların hareketi; a) Blokların ilk konumları, b) blokların rotasyona uğradıktan sonraki durumları.

Michel ve diğ. (1995) tarafından Almacık Dağı ve çevresinde yapılan çalışmada 20, 27 ve 30 numaralı mevkiilerden saatin tersi yönlü küçük rotasyonlar bulunmuştur. Birbirlerine yakın yerlerde bulunan 32-33 numaralı mevkiilerinden yaklaşık 70 ve 250 derece olarak birbirlerinin tam tersi sonuçlar elde etmiştir. Faya yakın mevkiilerden aldığı 34 ve 36 numaralı mevkiilerinden 5-15 derece saatin tersi yönlü rotasyonlar bulmuştur. Sonuç olarak Michel ve diğ. (1995) tarafından yapılan çalışmada Almacık dağı içerisinde 7 mevkiide ölçü aldığı çalışmada saatin tersi yönlü çok küçük rotasyonlar tespit etmiştir. Bu sonuçların bölgede rotasyon olmadığı veya çok küçük saatin tersi yönlü rotasyonu işaret ettiğini dile getirmiştir.

Etki alanının genişliği birkaç km'yi aştığı zonlarda doğrudan atımlı fayların rotasyonlara yol açması çeşitli çalışmalar ile daha önceden dile getirilmiştir (McKenzie ve Jackson 1983; Şengör ve diğ. 1985; Tatar ve diğ. 1996). Almacık bloku üzerinde ise Şengör ve diğ. (1985) yapısal rotasyon izlerinden ve Sarıbudak ve diğ. (1990) paleomanyetik çalışmalar ile, Ayhan ve diğ.(2002) tarafından GPS çalışmaları ile, Beyhan ve diğ.(2004) tarafından yapılan gravite ve havadan manyetik çalışmalar ile, Yıldırım (2008) tarafından akarsu şebekelerinin incelenmesi ve ilişkilerinin değerlendirilmesine dayanan jeomorfik çalışmalar ile rotasyonun tanımlanması için çeşitli yaklaşımlar ile çalışmalar yapmışlardır.

Bölgede daha önceden yapılan rotasyonu işaret eden çalışmalarda elde edilen değerlerin birbirlerinden farklılıklar göstermesi ve Sarıbudak ve diğ. (1990) tarafından bulunan paleomanyetik çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçların KAF'ın atım miktarı ele alındığında araştırmacılar tarafından da belirtilen bir uyumsuzluk bulunmaktadır. Diğer çalışmalarda elde edilen  $112^{\circ}$  (Şengör ve diğ. 1985),  $212^{\circ}$  Sarıbudak ve diğ. (1990),  $175^{\circ}$ - $185^{\circ}$  Tatar ve diğ(1998),  $45^{\circ}$  Beyhan ve diğ.(2004) saat yönlü rotasyonlar ile farklılıklar görülmektedir. Ancak çalışma alanının hemen batı kesiminde kalan benzer yapıdaki Armutlu Yarımadasında Avşar (2004) tarafından gerçekleştirilen paleomanyetik çalışmalar neticesiyle bulunan  $\sim 26^{\circ}$  lik ortalama rotasyon değeri ile Yıldırım (2008) tarafından gerçekleştirilen jeomorfik indisler ile elde edilen  $20$ - $25^{\circ}$  lik rotasyon sonuçları ile yakınlık göstermektedir. Bu bilgiler ile birlikte bu çalışma kapsamında yapılan arazi çalışmalarında çalışma kapsamında daha önceden (Bölüm 4) açıklanan nedenlerle ilişkili olarak daha güvenilir bulunduğu için karot numune alınması nedeniyle sonuçların daha az yanılğı payı içerdiği düşünülmektedir.

Güvenilir bulunmayan mevkiiler incelendiğinde AD1, AD4, AD7, AD8, AD10 ve AD19 mevkiileri  $k \geq 20$  ve  $\alpha_{95}$ 'in küçük değerlere sahip olması koşuluna uyumsuz olduğu görülmektedir. Hassaslık parametresi için mevkiiler 1,5-10,5 arasında değişen değerlere sahiptir. Hassaslık parametresi için değerlerin 20'den büyük olması şartı ile uyumsuzluk görülmektedir. Güvenilirlik aralığı hesaplarında da mevkiilerden 16,9-55,2 arasında değişen göreceli olarak yüksek değerler bulunmuştur. Bu mevkiilere ait numunelerinin Fisher istatistiği hesaplamaları sonucunda verdiği bu değerler sonucunda elde edilen değerlerin güvenilirliğinin düşük olduğu ve verilerin bütünlük içermediği söylenebilmektedir.

## **6.2 Elde Edilen Ortalama Mıknatıslanma Doğrultularının Eğim Açılarının Değerlendirilmesi**

Paleomanyetizma çalışmaları sonucunda levha tektoniği teorisine önemli katkılar sağlandığı bilinmektedir. Kayaçalarda saklanan manyetik kayıtların kökeni olarak en önemli neden olan yer manyetik alanının hangi enlem değerlerinde nasıl eğim değerleri meydana getirdiği bilinmektedir. Doğrultu değerlerinin boylamları takip ederek  $0^\circ$  doğrultu açısına sahip olduğu gibi enlem değerleri de aynı enlem değerleri üzerinde aynı eğim değerlerini alacaktır. Bu bilgiler sayesinde enlem açısı bilinen bir noktadan elde edilen eğim açısı ve güncel eğim açısı karşılaştırılması ile mevkiinin geçmişteki enlemsel (K-G) hareketleri hakkında bilgi edinilir.

$$\tan(I) = 2 * \tan(\lambda)$$

$I$ ; eğim açısı olmak üzere  $\lambda$ ; manyetik enlem değerini temsil edecek şekilde yukarıda yer alan eşitlikten eğim açısı bilinen mevkiinin manyetik enlemini hesaplamak mümkündür. Yapılan laboratuvar çalışmaları neticesinde elde edilen  $I$ :  $57,23^\circ$  değerine karşılık güncel enlem değerinden faydalanarak  $I$ :  $59,83^\circ$  olarak hesaplanabilir.

Çalışma sonucunda elde edilen eğim değeri ile teorik denklemden elde edilen eğim değeri arasında  $2,3^\circ$  lik fark bulunduğu görülmektedir. Bu değer çalışma sonucunda elde edilen enlem değerinin hata payı göz önünde bulundurulur ise oldukça küçük olduğu görülmektedir. Bu bilgiler ışığında örnekleme yapılan mevkiilerin güney-kuzey doğrultusunda (enlemsel) bir hareketi hakkında yorum yapılamayacağı görülmektedir.

## 7. SONUÇLAR

Almacık Dağı Eosen yaşlı volkaniklerinin paleomanyetik çalışmalarla incelenmesi konulu bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar özet şekilde aşağıda sıralanmıştır.

- Almacık Bloğu Eosen Volkaniklerinden elde edilen rotasyon miktarı yapılan çalışmalar neticesinde  $37^{\circ} \pm 9,5^{\circ}$  dir.
- Blok dışında yer alan ve Kuzey Anadolu Fayı'ndan etkilenmemiş tektonik açıdan sakin bölgelerde (Sakarya - Yığılca) rotasyonun olmadığı saptanmıştır.
- Bölgenin batısında yer alan ve benzer özellikte (yaş, petrolojik) volkanik kayalara sahip Armutlu Yarımadası'nın rotasyonu ile uygun bir şekilde ve basit makaslama zonu içerisinde gelişen saat yönlü blok rotasyonunu olduğu saptanmıştır.
- Bu çalışma ile, bölge için önceleri elde edilmiş olan ve tartışmalı paleomanyetik sonuçlara bir açıklık getirilmiştir.



## KAYNAKLAR

- Abdüselamoğlu, M.Ş.**, 1959. Almacık Dağı ile Mudurnu ve Göynük civarının jeolojisi, İ.Ü.F.F. Monografileri, Tabii İlimler kısmı, Sayı 14 İstanbul.
- Avşar, Ü.**, 2004. Armutlu Yarımadası Eosen Volkaniklerinin Paleomanyetizması. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 62s Yüksek Lisans Tezi, Danışman: T. İşseven.
- Avşar, Ü., ve İşseven, T.**, 2009. Regional clockwise rotation of the Armutlu Peninsula, Western Turkey, resolved from palaeomagnetic study of Eocene volcanics. *Tectonophysics* 475, 415-422.
- Aydın, M., Serdar, H.S., Şahintürk, Ö., Yazman, M., Çokuğraş, R., Demir, O. ve Özçelik, Y.**, 1987. Çamdağ(Sakarya) – Sünnice(Bolu) yöresinin jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*. 30,1. 1-14.
- Ayhan, M. A., Demir, C., Lenk, O., Kilicoglu, A., Altuner, Y., Barka, A.A., Ergintav, S., Özener, H.**, 2002. Interseismic strain accumulation in the Marmara Sea region, *BSSA*, 92. 216-230.
- Barka, A.A. ve Gülen, L.**, 1989. Complex evolution of the Erzincan Basin (eastern Turkey), *J. Struct. Geol.*, 11, 275–83.
- Barka, A.A.**, 1996. Slip distribution along the North Anatolian fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, 1238-1254.
- Beyhan. M.**, 2004. 12 Kasım 1999 Düzce-Kaynaşlı Depremi birleşik odak mekanizması çözümü ve bölgenin sismotektoniği Basılmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi
- Biberoğlu, S.**, 1984. Yığılca(Bolu) güneydoğusunun jeolojisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 104s.
- Bingöl, E., Akyürek, B. and Korkmazer, B.**, 1973. Biga yarımadasının jeolojisi ve Karakaya For-masyonunun bazı özellikleri, Cumhuriyetin 50. yılı Yer Bilimleri Kongresi, MTA, Ankara s70-71.
- Buttler, R.F.**, 1992. *Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geological Terranes*. Blackwell, Oxford.
- Cerit, O.**, 1990. Bolu Masifinin Jeolojik ve Tektonik incelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 217s.
- Chen, F., Siebel, W., Satır, M. ve Terzioğlu, M.N.**, 2000. Geochronology of the Karadere basement (NW Turkey) and implications for the geological evolution of the İstanbul Zone. *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch)*. 91,3. 469-481.

- Collinson, DW**, 1983. *Methods in Rock Magnetism and Palaeomagnetism: Techniques and Instrumentation*, 503 pp., Chapman and Hall, New York, 1983.
- Creer, K.M. and Sanver, M.**, 1967. The use of the sun compass in *Methods in Palaeomagnetism*, Elsevier, Amsterdam, Eds. Collinson, D.W., Creer, K.M. and Runcorn, S.K.
- Elmas, A., Yiğitbaş, E.**, 2001. Ophiolite emplacement by strike slip tectonics between the Pontide Zone and the Sakarya Zone, in northwestern Anatolia, Turkey, *Int. J. Earth Science*, 90: 257-256.
- Fisher, R.A.**, 1953. Dispersion on a Sphere, *Proc. Roy. Soc. London*, A217, 295-305.
- Genç, Ş.C.**, 1993. İznik-İnegöl (Bursa) arasındaki tektonik birliklerin jeolojik ve petrolojik incelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enst.
- Genç, Ş.C., Yılmaz, Y.**, 1997. An example of post-collisional magmatism in northwestern Anatolia; the Kızderbent volcanics, *Turkish Journal of Earth Sci*, 6, 33-42
- Gökaşan, E., Ustaömer, T., Gazioğlu, C., Yücel, Y. Z., Öztürk, K., Tur, H., Ecevitöglu, B., Tok, B.**, 2003. Morpho-tectonic evolution of the Marmara Sea inferred from multi-beam bathymetric and seismic data, *Geo-Mar Lett.*, 23, 19-33.
- Gözübol, A., M.**, 1978. Mudurnu-Dokurcun-Abant (Bolu ili) alanının jeoloji incelemesi, Doktora tezi, İÜ Fen Fak. Uygulamalı Jeoloji Kürsüsü, 116 s.
- Gülmez, F.**, 2009. Almacık dağı eosen volkanizmasının petrografik ve petrolojik olarak incelenmesi, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Danışman: Ş.C. Genç.
- Hubert-Ferrari, A., Armijo, R., King, G.**, 2002. Morphology, displacement, and slip rates along the North Anatolian Fault, Turkey. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 107 (B10) (Art. No. 2235 Oct 2002).
- Ikeda, Y., Suzuki, Y., Herece, E., Şaroğlu, F., Işıkara, A.M., 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.
- İşseven, T.**, 2001. Batı Anadolu'nun Neotektonik Rejiminin Paleomanyetik Çalışmalarla İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bil. Enst.
- İşseven, T. ve Tüysüz, O.**, 2006. Paleomagnetically defined rotations of fault-bounded continental blocks in the North Anatolian Shear Zone, Central Anatolia. *Journal of Asian Earth Sciences* xx, 1-11.
- Kerey, E.**, 1984. Facies and tectonic settings of the Upper Carboniferous rocks of northwestern Turkey. In Dixon J.E. and Robertson A.H.F.(Eds.) *The Geological Evolution of Eastern Mediterranean*. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 17, 123-128.



- Ketin, İ.**, 1983. Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış: I.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 1259, 595 s.
- Kırağası, F.**, 1980. Saçmalı-Bektemurlar (Bolu İli) yöresinin jeolojisi, İÜ Yerbilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü. Diploma çalışması.
- Kissel, C., Laj, C., Poisson, A., Görür, N.**, 2003. Paleomagnetic reconstruction of the Cenozoic evolution of the eastern Mediterranean. *Tectonophysics* 362, 199-217.
- Kozacı, Ö., Dolan, J.F., Finkel, R.**, 2006. Towards and understanding of the constancy (or non-constancy) of slip rates on the North Anatolian Fault. International workshop on comparative studies of the North Anatolian Fault (Northwest Turkey) and the San Andreas Fault (Southern California). Özetler Kitapçığı. s 62.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, 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., Şanlı, İ., 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, *Journ.Geophys.Res.*, 105, 5695-5719.
- McKenzie, D.P., and Jackson, J.**, 1983. The relationship between strain rates, crustal thickening, paleomagnetism, finite strain and fault movements within a deforming zone, *Earth and Planetary Science Letters*, 65, 182-202.
- Neel, K.**, 1949. Theorie du trainage magnetique des ferromagnetiques en grains fins avec applications aux terres cuites, *Ann. Geophys.*, 5, 99-136
- Michel, G.W., Waldhör, M., Neugebauer, J., Appel, E.**, 1995. Sequential rotation of stretching axes, and block rotations: a structural and paleomagnetic study along the North Anatolian Fault. *Tectonophysics* 243, 97-118.
- Okay, A.I., Tüysüz, O.**, 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In "Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen", Geological Society of London, Special Publication 156, pp. 475-515, Eds. Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F., Seranne, M.
- Okay, A., Zatin, M., Cavazza, W.**, 2006. Kuzey Anadolu Fayı'nın Trakya'da Oligosen'de ve Orta Miyosen'de Aktif Olduğuna Dair. 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı. Bildiri Özleri Kitabı, 74-76. Ankara,
- Ozima, M., Ozima, M., Nagata, T.**, 1964. Low Temperature Treatment as an Effective Means of "Magnetic Cleaning" of Natural Remanent Magnetization. *JGG Vol 16*.
- Özaltın, M.**, 1984. Yığılca (Bolu) güneydoğusunun jeolojisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 75s.

- Özden, S., Over, S., Kavak, K.S., Inal, S.S.,** 2008. Late Cenozoic stress states around the Bolu Basin along the North Anatolian Fault, NW Turkey. *Jour. of Geodynamics* 46, 48-62.
- Pucci, S., De Martini, P.M., Pantossi, D.,** 2008. Preliminary slip rate estimates for the Düzce segment of the North Anatolian Fault Zone from offset geomorphic markers. *Geomorphology* 97, 538-554.
- Reilinger, R.E., McClusky, S.C., Oral, M.B., King, R.W. ve Toksoz, M.N.,** 1997. Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone, *Journ. Geophys. Res.*, 102, 9983-9999.
- Robertson, A.H.F., and Dixon, J.E.,** 1984. Introduction: aspects of the geology of the Eastern Mediterranean, in J.E. Dixon and A.H.F. Robertson, eds., *The geological evolution of the Eastern Mediterranean*, Geological Society of London Special Publication, 17, 1-74.
- Sanver, M.,** 1992. Paleomanyetizma, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, (Gümüşsuyu) İstanbul, Türkiye.
- Sarıbudak, M., Sanver, M., Şengör, A.M.C., Görür, N.,** 1990. Palaeomagnetic evidence for substantial rotation of the Almacık flake within the North Anatolian Fault Zone, NW Turkey. *Geophys. J. Int.* 102, 563–568.
- Schmidt, V.A.,** 1974. On the use of orthogonal transformations in the reduction of paleomagnetic data. *J. Geomagn. Geoelectr.*, 26: 475-486.
- Scotese, C. R., and Golonka, J.** 1979. Paleogeographic Atlas. PALEOMAP Project. Department of Geology, University of Texas Arlington.
- Seymen, İ.,** 1975. Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği: Doktora Tezi., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, 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. J. Int.*, 128, 594–604
- Syono, Y. ve Ishikawa, Y.** 1963. Magnetocrystalline anisotropy of  $x\text{Fe}_2\text{TiO}_4(1-x)\text{Fe}_3\text{O}_4$ . *J.Phys.Soc.Jpn*, 18, 1230-31.
- Şengör, A.M.C., and Kidd, W.S.F.,** 1979. Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a comparison with Tibet, *Tectonophysics*, 55, 361-376
- Şengör, A.M.C.,** 1980. Türkiyenin Neotektoniğinin esasları, T. J. K. Konf., Ser no 2, s40.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., Ketin, I.** 1980. Remnants of a pre-late Jurassic ocean in northern Turkey, *Fragments of Permo-Triassic Paleo-Tethys?* Geological Society of America, Bulletin 91, 599-607.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y.,** 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y.,** 1983. Türkiye’de Tetis’in evrimi: Levha tektoniği açısından bir yaklaşım. *Türkiye Jeoloji Kurumu, Yerbilimler Özel Dizisi*, No: 1, 75.

- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., and Sungurlu, O.,** 1984. Tectonics of the Mediterranean Cimmerids: nature and evolution of the western termination of Paleotethys, in J.E. Dixon and A.H.F. Robertson, eds., The geological evolution of the Eastern Mediterranean, Geological Society of London Special Publication, 17, 77-112
- Şengör, A.M.C., Görür, N. and Şaroğlu, F.,** 1985. Strike-Slip Faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, The Society of Economic Paleontologist and mineralogist, 227-262.
- Şengör, A.M.C.,** 1987. Tectonics of the Tethysides: orogenic collage development in a collisional setting. Ann. Rev. Earth Planet Sci. 15, 213-244.
- Şengör, A.M.C.,** 1990. A new model for the late Paleozoic-Mesozoic tectonic evolution in Iran and implications for Oman, Geological Society of London Special Publications, 49, 799-883.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., Rangin, C.,** 2005. The North Anatolian Fault: a new look. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 33, 37-112.
- Tatar, O., Piper, J.D.A., Gürsoy, H., Temiz, H.,** 1996. Regional significance of Neotectonic counterclockwise rotation in central Turkey, International Geology Review, 38, 692-700.
- Tatar, V., Ponat, E., Işıkara, A. M.,** 1995. Armutlu Yarımadası ve Almacık Dağı'ndaki volkanik kayaların paleomanyetizması, Jeofizik, 9, 10, 219-228.
- Tauxe, L.,** 1998. Paleomagnetic principles and practice. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Tüysüz, O.,** 1990. Tectonic evolution of a part of the Tethyside orogenic collage: the Kargı Massif, Northern Turkey. Tectonics. 9, 141-160.
- Tüysüz, O., Barka, A., Yiğitbaş, E.,** 1998. Geology of the Saros Graben: its implications on the evolution of the North Anatolian Fault in the Ganos-Saros region, NW Turkey, Tectonophysics, 293, 105-126.
- Tüysüz, O., Aksay, A., ve Yiğitbaş, E.,** 2004. Batı Karadeniz Bölgesi Litostratigrafi Birimleri, MTA – Stratigrafi Komitesi Litostratigrafi Birimleri Serisi - 1, Ankara.
- Ustaömer, P. A.,** 1996. Bolu – Yedigöller granitik kayalarının petrojenezi ve metalojenezi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.
- Ustaömer, P. A., Mundil, R., Renne, P. R. ve Whitney, D.L.,** 2003. Time constraints on the tectono-magmatic evolution of the Western Pontides (N Turkey): New U/Pb Zircon ages. European Geophysical Society, Geophysical Research Abstracts. 5, 11717.
- Yıldırım, C.,** 2008. Almacık Dağı ve yakın çevresinin morfolojisi. İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 120s Doktora Tezi, Danışman: O. Tüysüz .
- Yılmaz, Y.,** 1980. Sakarya Kıtası Güney Kenarının Tektonik Evrimi; İstanbul Yerbilimleri, c.1(1-2), İstanbul Üniversitesi. s.35-52.

- Yılmaz, Y., Gözübol, A.M., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E.,** 1981. Abant (Bolu) Dokurcun (Sakarya) arasında Kuzey Anadolu Fay Zonunun Kuzey ve Güneyinde Kalan Tektonik Birliklerin Jeolojik Evrimi, İ.Ü. Yerbilimleri 1., 243-261.
- Yılmaz, Y., Gözübol, A.M. ve Tüysüz, O.,** 1981. Geology of an area in and around the Northern Anatolian Transform fault zone between Bolu and Akyazı. In Işıkara, A.M. And Vogel, A.(Eds). Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction, Earthquake Prediction Research, Friedr. Vieweg and Soh. Braunschweig/Wiesbaden, 2, 45-66.
- Yılmaz, Y.,** 1990. Allochthonous terranes in the Tethyan Middle East: Anatolia and the surrounding regions, Phil. Trans. R. Soc. London, A 331, 611-624.
- Yılmaz, Y., Gürpınar, O., Genç, Ş.C., Bozcu, M., Yılmaz, K., Şeker, H., Yiğitbaş, E. ve Keskin, M.,** 1990. Armutlu yarımadasının ve dolayının jeolojisi. TPAO Rap. No 2796.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Yiğitbaş, E., Bozcu, M. ve Yılmaz, K.,** 1994. Geological evolution of the Late Mesozoic continental margin of northwestern Anatolia. Tectonophysics, 243, 155-171.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Yiğitbaş, E., Bozcu, M., Yılmaz, K.,** 1995. Geological evolution of the late Mesozoic continental margin of Northwestern Anatolia, Tectonophysics, 243, 155-171
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş.C., Şengör, A.M.C.,** 1997. Geology and Tectonic evolution of the Pontides, in A.G. Robinson, ed., Regional and petroleum geology of the black sea and surrounding region, AAPG Memoir, 68, 183-226
- Yiğitbaş, E. ve Elmas. A.,** 1997. Bolu – Eskipazar – Devrek – Çaycuma dolayının jeolojisi. TPAO Raporu.
- Yiğitbaş, E., Elmas, E. ve Yılmaz, Y.,** 1999. Pre-Cenozoic tectono-stratigraphic components of the Western Pontides and their geological evolution. Geological Journal 34, 55-74.
- Yiğitbaş. E., Kerrich, R., Yılmaz, Y. ve Elmas, A.,** 2002. Kuzeybatı Anadolu metamorfik masiflerinin (Sünnice – Almacık – Armutlu) mukayeseli jeolojik incelemesi. Tübitak Rap No. YDABAG 199Y065.
- Yoshioka, T., Okumura, K., Kuşçu, İ.,** 1991. Trench excavation of the North Anatolian Fault, Turkey. Chishitsu News 4 (440), 60–66.
- Zijderveld, J.D.A.,** 1967. AC Demagnetization of Rocks: Analysis of Results. In Methods in Paleomagnetism, ed. S. K. Runcorn, K. M. Creer & D. W. Collinson, pp. 254-286.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad: Tunç DEMİR**

**Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar 1983**

**Lisans Üniversite/Bölüm: İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği**

### **Yayın Listesi:**

- İşseven, T., Demir, T., Genç, Ş.C.; Gülmez, F., Kuzey Anadolu fayı Almacık blokunu kaç derece döndürmüştür? 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara 2009, 13-17 Nisan.
- Ersan Turkoglu, Martyn Unsworth, Ilyas Caglar, Volkan Tuncer, Umit Avsar, Bulent Tank, Eylem Turkoglu, **Tunc Demir** and Ahmet Sener. Electrical Resistivity Structure of the Arabia-Eurasia Collision Zone in Eastern Anatolia AGU, 2005 Fall Meeting, San Francisco.[POSTER]