

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ AVRASYA YER BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAVUŞBAŞI GRANODİYORİTİ’NİN YAŞI VE PETROJENEZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esen AYANOĞLU

İklim ve Deniz Bilimleri Anabilim Dalı

Yer Sistem Bilimi Programı

MAYIS 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ AVRASYA YER BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAVUŞBAŞI GRANODİYORİTİ’NİN YAŞI VE PETROJENEZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Esen AYANOĞLU
(601991010)**

İklim ve Deniz Bilimleri Anabilim Dalı

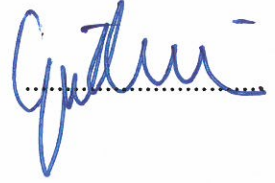
Yer Sistem Bilimi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gültekin TOPUZ

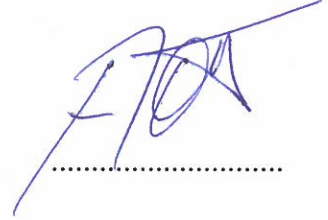
MAYIS 2018

İTÜ, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü'nün 601991010 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Esen AYANOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÇAVUŞBAŞI GRANODİYORİTİ’NİN YAŞI VE PETROJENEZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

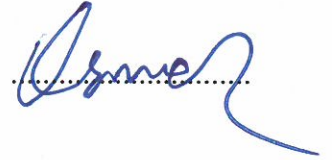
Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Gültekin TOPUZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Aral OKAY**
İstanbul Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Osman CANDAN
Dokuz Eylül Üniversitesi



Teslim Tarihi : 04 Mayıs 2018
Savunma Tarihi : 04 Haziran 2018

Rahmetli annem Rezan Tuncer ve rahmetli babam Sait Teoman Tuncer'e,

ÖNSÖZ

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (İTÜ/BAP) tarafından desteklenmiştir. Tez çalışmasını öneren ve bilgilerini aktaran tez danışmanım Prof. Dr. Gültekin Topuz’a teşekkürlerimi sunarım.

Hocalarım Prof. Dr. Cazibe Sayar, Prof. Dr. A. M. Celal Şengör, Prof. Dr. İzver Özkar Öngen ve Doç. Dr. Fethiye Aylin Sungur’a önerileriyle hayatıma yön verdikleri için minnettarım.

“Awash-Kombolcha-Hara Gebeya Railway” ve “Çanakkale Köprüsü Otoyol ve Bağlantı Yolları Zemin İnceleme” projelerinde çalışmaktan onur duyduğum Bilgi2000 Mühendislik ve İnşaat Ltd. Şti. proje koordinatörleri Erdoğan Savaşkan, Mümin Soyalan, çalışma arkadaşlarım Didem Eser, Mustafa Çorbacı, Münire Dülger, Burak Yolcu, Hakan Polat ve Zeynep Sarnıç’ın verdikleri motivasyonla tezimi hazırladım. Teşekkür ederim.

İnce kesitlerin tayininde yardımcı olan Prof. Dr. Sabah Yılmaz Şahin’e, laboratuvarında birlikte çalıştığım Yard. Doç. Dr. Melek Ural ve Dr. Orhan Yavuz’a, arkadaşım Yard. Doç. Dr. Erkan Bozkurtoğlu’na, Araştırma Görevlisi Gönenç Göçmengil’e, Araştırma Görevlisi Ali Yücel’e, tezin format düzenlemesinde yardımcı olan Dr. Deniz Karataş’a ve ince kesitleri hazırlayan Mahir Altınbağa’ya teşekkür ederim.

Her zaman desteğini aldığım kızım ve oğluma, arazideki yardımlarından dolayı eşim ve kaynıma minnetimi ifade etmek isterim.

Mayıs 2018

Esen Ayanoğlu
(Jeoloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Bölgesel Jeoloji	1
1.1.1 Pontid kuşağı.....	3
1.1.2 İstanbul zonu	3
1.2 Çalışmanın Amacı.....	4
1.3 Çalışma Alanının Konumu.....	4
1.4 Çalışmanın Yöntemi.....	6
1.5 Analitik Yöntemler.....	6
1.5.1 Toplam kaya analizleri için örnek hazırlama.....	6
1.5.2 Ana ve iz elementlerin Acme Analitik Laboratuvarı'nda hazırlanışı	7
1.5.3 Zirkon ayırımının yapılışı	7
1.5.4 Lazer ablasyon (LA) ICP-MS cihazıyla yapılan zirkon yaş tayini	8
1.6 Önceki Çalışmalar	9
2. PETROGRAFİ VE ALAN İLİŞKİSİ.....	11
2.1 İstanbul Paleozoyiği	11
2.1.1 Çavuşbaşı granodiyoriti	13
2.1.2 Aplit ve pegmatit damarları	17
2.1.3 Anklavlar.....	20
2.1.4 Dayklar.....	22
3. JEOKİMYA	27
3.1 Granodiyoritler	32
3.2 Kuvarsdiyorit porfir	36
3.3 Aplit.....	37
3.4 Anklav	38
4. GRANODİYORİTLERİN TEKTONİK AYRIMI	39
5. JEOKRONOLOJİ	41
6. SONUÇLAR.....	45
KAYNAKLAR.....	47
EKLER.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	59

KISALTMALAR

ASI	: Alüminyum Doygunluk İndeksi
İTÜ/BAP	: İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
My	: Milyon yıl
TAS	: Toplam Alkalilere karşı Silis
TTG	: Tonalit, Trondjemit, Granodiyorit

SEMBOLLERİ

Ω	: Özdirenç (Ohm)
σ	: Sigma
$(La/Yb)_{kn}$	: Normalleştirilmiş kondrit oranı
Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
Ba	: Baryum
CaO	: Kalsiyum Oksit
Ce	: Seryum
Co	: Kobart
Cr₂O₃	: Krom (III) Oksit
Cs	: Sezyum
Cu	: Bakır
Dy	: Disprozyum
Er	: Erbiyum
Eu	: Evropiyum
Eu/Eu*	: Evropiyum Anomalisi
Fe₂O₃	: Demir (III) Oksit
Ga	: Galyum
Gd	: Gadolinyum
Hf	: Hafniyum
Ho	: Holmiyum
K₂O	: Potasyum Oksit
La	: Lantan
Lu	: Lutesyum
Mg#	: Magnezyum Numarası
MgO	: Magnezyum Oksit
MnO	: Mangan Oksit
Na₂O	: Sodyum Oksit
Nb	: Niobyum
Nd	: Neodimyum
Ni	: Nikel
P₂O₅	: Fosfor Pentoksit
Pb	: Kurşun
Pr	: Praseodim
Rb	: Rubidyum
Sc	: Skandiyum
SiO₂	: Silisyum dioksit
Sm	: Samaryum
Sr	: Stronsiyum
Ta	: Tantal
Tb	: Terbiyum
Th	: Toryum
TiO₂	: Titanyum dioksit
Tm	: Tulyum

U	: Uranyum
V	: Vanadyum
Y	: İttriyum
Yb	: İterbiyum
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkonyum

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Adakitlerin başlıca jeokimyasal özellikleri (Castillo, 2006).	27
Çizelge 3.2 : Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin toplam kaya kimyası analiz sonuçları. ...	29
Çizelge 5.1 : C1A granodiyorit örneğinden seçilen zirkonlara ilişkin U-Pb izotopik veriler	43

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Türkiye ve çevresinin tektonik birimleri (Okay & Tüysüz, 1999; Tüysüz, 2017).....	2
Şekil 1.2 : Kabakos Körfezi'nde Kretase yaşlı bazalt sütunları ve aglomeralar (A. M. Celal Şengör'ün "İç Süreçler" dersinin arazi gezisi sırasında çekilmiştir).....	4
Şekil 1.3 : (a) Çalışma alanının yer bulduru haritası (Okay & Tüysüz, 1999; Şahin ve diğ., 2012'den Türkçeleştirilmiştir). (b) Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin jeolojik haritası üzerine işlenen toplam kaya analizi için alınan numuneler (Ketin, 1941; Şahin ve diğ., 2012'den değiştirilmiştir).	5
Şekil 2.1 :Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin jeoloji haritası (MTA-2010'dan değiştirilmiştir).	12
Şekil 2.2 : İnceleme alanının stratigrafik sütun kesiti.	13
Şekil 2.3 : Kuvarsdiyorit (C4). Bt: Biyotit, Hbl: Hornblend, Plj: Plajiolklas.	14
Şekil 2.4 : Karanlıkdere'de granodiyorit numunesi (C1).	14
Şekil 2.5 :Granodiyorit (C1A). Bt: Biyotit, Hbl: Hornblend, Kfs: Potasyumfeldspat, Qtz: Kuvars, Plj: Plajiolklas, Sfn: Sfen, Tit: Titan,Zr: Zirkon.	15
Şekil 2.6 :Arenalaşmış arazide bir granodiyorit mostrası (C12A).	15
Şekil 2.7 :Granodiyorit (C12A). Bt: Biyotit, Hbl: Hornblend, Plj: Plajiolklas, Zr: Zirkon.	16
Şekil 2.8 :Dere yatağındaki granodiyorit (C16).	16
Şekil 2.9 :Arenalaşmış granodiyorit içindeki aplit damarları.	17
Şekil 2.10 :Aplit damarları.	18
Şekil 2.11 :Anklavı kesen ayrılmış aplit damarı.	18
Şekil 2.12 :Farklı boyuttaki aplit damarları.	19
Şekil 2.13 :Aplit. Ort: Ortoklas, Qtz: Kuvars.	19
Şeki 2.14 :Altere olmuş granodiyorit içindeki yuvarlağımsı, köşeli ve elips şeklindeki koyu renkli anklavlar.	20
Şekil 2.15 :Granodiyorit mostrasının içindeki anklavlar (C4B).	21
Şekil 2.1 :Anklav (C4B). Apt: Apatit, Bt: Biyotit, Hbl: Hornblend, Plj: Plajiolklas.	21
Şekil 2.17 : Akma bantlarının içinde gözlenen anklavlar.	22
Şekil 2.18 : Granodiyoriti kesen lamprofir daykı.	23
Şekil 2.19 : Ortaç bileşimli dayktaki soğuma kenarları.	23
Şekil2.20 :(a) Dasit daykının etrafındaki pişme zonu (C6A). (b) Dasit daykının soğuma kenarı.	24
Şekil 2.21 : Dasit. Bt: Biyotit, Hbl: Hornblend, Plj: Plajiolklas, Qtz: Kuvars.....	25
Şekil 3.1 : Çavuşbaşı granodiyoritinin toplam alkalilere karşı silika (TAS) diya-gramındaki konumları (Middlemost, 1994).	33
Şekil 3.2 : SiO ₂ -K ₂ O (Peccerillo ve Taylor, 1976) diyagramı.	34
Şekil 3.3 : A/CNK-A/NK diyagramı (Shand, 1943).	34

Şekil 3.4 : İlksel manto normlaştırılmış örümcek diyagramı (McDonough ve Sun, 1995).	35
Şekil 3.5 : Granodiyorit örneklerinin kondrite göre normlaştırılmış örümcek diyagramı (Boynton, 1984).	35
Şekil 3.6 : Kuvarsdiyorit porfir örneğinin kondrite göre normlaştırılmış örümcek diyagramı (Boynton, 1984).	36
Şekil 3.7 : Aplit örneğinin kondrite göre normlaştırılmış örümcek diyagramı (Boynton, 1984).	37
Şekil 3.8 : Anklov örneğinin kondrite göre normlaştırılmış örümcek diyagramı (Boynton, 1984).	38
Şekil 4.1 : Granitin kökensel ayrım diyagramı (Pearce ve diğ., 1984).	39
Şekil 5.1 : U-Pb konkordiya diyagramı	42
Şekil A.1 : (a) Zirkon analizi için inceleme alanından alınan numuneler, (b) Taş kırma makinesi, (c) Kırılan numune.	52
Şekil A.2 : (a) Taş öğütme makinesi, (b) Hava kompresörü, (c) Silindir, (d) Numunenin döküldüğü yer, (e) Anahtarla silindir aralığının daraltılarak sabitlenmesi, (f) İyice daraltılan silindir aralığı, (g) Numunenin alındığı çekmece, (h) Taş öğütme makinesinden alınan numune.	53
Şekil A.3 : (a) Ultrasonik banyo ve distile su, (b) Fırın, (c) Fırında kurutulan elekler.	54
Şekil A.4 : (a) Elek analizi (63 µm, 125 µm ve 180 µm boyutundaki elekler), (b) 63-125 µm, 125-180 µm ve >180 µm boyutundaki granodiyorit beherleri, (c) 63-125 µm boyutundaki granodiyorit numunesi, (d) 125-180 µm boyutundaki granodiyorit numunesi, (e) >180 µm boyutundaki granodiyorit numunesi, (f) Distile su eklenerek yıkanan granodiyorit numunesi.	55
Şekil A.5 : (a) Fırında 89.4 °C’de numuneler kurutulur, (b) Manyetik seperatör, (c) Elekten geçirilmiş 63-125µm boyutundaki C1A numunesi bir kağıda serpilir, (d) C1A numunesi manyetik seperatöre konmadan önce içindeki manyetitler mıknatısla çekilir, (e) Manyetik bandın üzerine yapışmış manyetitler, (f) Solda manyetik olan minerallerin , sağda manyetik olmayan minerallerin geldiği kutu.	56
Şekil A.6 : (a) 125-180 µm boyutundaki C1 numunesi, (b) Zirkon Analizi için Ağır sıvıya eklenen manyetik olmayan mineraller, (c) Karıştırılmış numune (C1A), (d) Çökelen numune (C1A).	57
Şekil A.7 : (a) Ağır sıvıdan alınan çökelen numune (C1A), (b) Fırında kurutulan numuneler, (c) Zirkon analizine hazır numuneler.	58

ÇAVUŞBAŞI GRANODİYORİTİ'NİN YAŞI VE PETROJENEZİ

ÖZET

Çavuşbaşı Granodiyoriti, İstanbul Boğazı'nın doğusunda, Batı Pontidlerde İstanbul Zonu içerisinde bulunur. Üst Kretase yaşlı magmatik sokulum kayası (plüton), İstanbul Zonu'nun paleozoyik birimlerini yer yer kesmektedir. Alt Ordovisiyen yaşlı kumtaşı ve şeyllerin içine sokulum yapar. Etrafında yaklaşık olarak 300-500 m civarında bir dokanak başkalaşım halesi vardır. Bu çalışmanın amacı, bu sokulumun petrojenezini ve yaşını sınırlandırmaktır.

Çavuşbaşı granodiyoriti yaklaşık olarak 25 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. Çavuşbaşı plütonu, çapı yaklaşık olarak 4,5 - 5,6 km arasında değişen dairesel bir granodiyorit sokulumudur. Yüzeysel aşınma nedeniyle tamamen arenalaşmış bir topoğrafya gözlenmesine rağmen dere yataklarında, inşaat ve yol için açılan bölgelerdeki mostralardan alınan numunelerin mikroskobik ve arazi gözlemleriyle jeolojik birimler ayırtlanmıştır.

Dalma-batma ile kıtasal levha kenarına yerleşmiş bu granitik plüton, kalkalkalen özellikte, hornblend içerikli, magmatik bileşimli I-tipi granittir.

Sokulum genel itibarıyla granodiyoritten oluşmakta ve yer yer küçük ölçekte kuvarsdiyorit porfirlere geçiş yapmaktadır. Ana kayayı granodiyorit ve kuvarsdiyorit oluşturmaktadır. Granodiyorit başlıca bileşenleri plajioklas, kuvars, K-feldspat, hornblend ve biyotittir. Kuvarsdiyorit ise aynı minerallerden oluşmakta olup, yalnızca porfirik dokusu ile granodiyoritlerden ayrılmaktadır.

Çavuşbaşı Granodiyoriti ayrıca aplit ve pegmatit damarları, mafik magmatik anklavlar ve dayklar içermektedir.

Aplitler beyaz renkli, ince taneli, feldspat ve kuvars içerikli granit kökenli damar kayaçlarıdır. Aplit damarları mm boyutunda tanelerden oluşmakta ve genişlikleri 0,5 - 40 cm arasında değişmektedir.

Pegmatitler pembe renkli, iri taneli, aplit ile aynı bileşime sahip damar kayaçlarıdır. Pegmatit damarları cm boyutunda tanelerden oluşmakta ve genişlikleri 3 - 8 cm arasında değişir.

Aplit ve pegmatit damarları yatay olarak ayrılmış granodiyoritler içerisinde metrelerce izlenebilmektedir. İnceleme alanında bulunan aplitler Karanlıkdere'de yoğunlaşırken, pegmatitler Çiflik mahallesinde yoğunlaşmaktadır. Aplit ve pegmatitler granit magmatizmasının son evre ürünleridir.

Mafik magmatik anklavlar, ince taneli, koyu renkli ve kesin dokanıklıdır. 0,5 - 30 cm arasında değişen boyutlarda, yer yer yuvarlak, yer yer köşeli, yer yer de elips biçimindedir. Anklav mikrogranüler dokulu olup, ince taneli matriksin (plajioklas, kuvars, hornblend, biyotit) içinde, 2 mm'ye varan hornblend ve plajioklas minerallerinden oluşur. Farklı magma bileşenlerinin magma mingling ile oluşturduğu akma bantları görülmektedir.

Dayklar kırıklı ve çatlaklı; hornblend ve biyotit içeren dasit ve andezit; bazen de koyu yeşil renkli lamprofirler halindedir. Ortaç bileşimli dayklarda ince taneli feldspat grubu matriksin içinde, 6 mm'ye kadar hornblend, ortoklas ve plajyoklas mineralleri görülmektedir. Daykların boyutları 20 cm'den 3,50 m'ye kadar değişmektedir.

Ortaç bileşimli daykların çok az bir kısmında, ana kayayı kesen kenarlarında kısmen soğuma kenarları oluşmuştur; bunlar bazı yerlerde ince dilimlenmeler, bazı yerlerde ise erime şeklinde gözlenmektedir. Ana kaya da ısı transferinden etkilenmiş, bu nedenle oluşan pişme dokanağı, soğuma kenarları boyunca görülen renk değişimi ile farkedilmektedir.

Adakitik kayaçlar kalkalkalendir, dalma batma ile ilişkilidirler. $\text{SiO}_2 \geq \%56$; $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq \%15$; $\text{MgO} < \%3$; $\%3,5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq \%7,5$ $\text{Sr} > 300$ ppm; $\text{Y} < 15$ ppm; Sr/Y oranı > 20 ; $\text{Yb} \leq 1,9$ ppm ve $(\text{La/Yb})_{\text{kn}} > 10$ 'dur. $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ oranları düşüktür ($\sim 0,42$); Mg numarası 51'dir. Zr ve Ti anomalisi çok küçük veya belirgin değildir. Negatif Nb anomalisi vardır. Eu anomalisi yoktur; pozitif Sr anomalisi yani Sr içeriğinin yüksek olması adakitik magmanın tipik özelliğidir.

Jeokimyasal olarak Çavuşbaşı granodiyoriti (ana kaya) dar alanda değişen bir bileşim sunar. Orta K-lu kalkalen niteliklidir. Alüminyum doygunluk indeksi 0,90 ile 1,04 arasında değişmekte olup, bu kayanın metalumin-peralumin nitelikte olduğuna işaret eder.

Çavuşbaşı Granodiyoriti kalkalkalen, $\text{SiO}_2 \geq \%56$ (64,91 – 68,26), $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq \%15$ (16,13 – 16,84), $\text{MgO} < \%3$ (1,52 – 2,04), $\%3,5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq \%7,5$ (4,80 – 5,20), $\text{Sr} > 300$ ppm (578,10 – 900,70 ppm), $\text{Y} < 15$ ppm (5,30 – 10,20 ppm), $\text{Sr/Y} > 20$ (70,2 – 112,49), $\text{Yb} \leq 1,9$ ppm (0,56 – 0,95) ppm ve $(\text{La/Yb})_{\text{kn}} > 10$ (12,64 – 19,98 ppm)'dir.

Adakitik kayaçların aksine $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ oranı 0,42'den küçüktür (0,25 – 0,41); Mg numarası 51'den büyüktür (52,99 - 61,68); pozitif Zr anomalisi and negatif Ti anomalisine sahip olmasına rağmen negatif Nb anomalisi, Eu anomalisinin yok ya da çok az belirgin olması ve belirgin Sr anomalisi ile Çavuşbaşı Granodiyoriti dalma-batma ile oluşmuş, adakitik nitelikli kayaçlara benzemektedir.

Aplitler yüksek K-lu kalkalen niteliklidir. Alüminyum doygunluk indeksi 1,02 olup, metalumin-peralumin nitelikte olduğuna işaret eder. Düşük Na_2O (%3,26), düşük Sr/Y oranı (7,04), düşük Sr değeri (72,6 ppm) ve negatif Eu anomalisi ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,50$) ile adakitik kayaçlardan ayrılmaktadır.

Magmanın son evresinde oluşan aplitler, granitik bileşimiyle inceleme alanındaki en yüksek SiO_2 (%77,69) ve en yüksek K_2O (%5,18), en düşük Fe_2O_3 (%0,44), en düşük MgO (%0,04) ve en düşük CaO (%0,56) değerlerine sahip olması ile üst kabuktan türemiş magmalara benzemektedir.

Anklavlar orta K-lu kalkalen niteliklidir. Alüminyum Doygunluk İndeksi 0,84 olup, metalümin karakterlidir. Anklav numunesi, SiO_2 (%55,45) oranıyla inceleme alanındaki en mafik üyedir. Ağır nadir toprak elementleri adakitlere göre daha yüksektir: Yb değeri 2,48 ppm; Y değeri 25,7 ppm'dir. Sr/Y oranı (27,99) adakitlere göre düşüktür ve negatif Eu anomalisi ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,62$) ile adakitik kayaçlardan ayrılmaktadır.

Fe_2O_3 (%6,75); MgO (%3,57) ve CaO (%6,06) açısından granodiyorit, kuvarsdiorit ve aplitlerden yüksek olması ile mantodan türemiş mafik magmalara benzemektedir.

Bir granodiyorit örneğinden ayırtlanan zirkonlar üzerinde Lazer ablasyon (LA) ICP-MS cihazıyla yapılan U/Pb yaş tayiniyle $68,32 \pm 0,66$ My (2σ) bulunmuştur. Buna göre Çavuşbaşı granodiyoriti Maastrichtiyen döneminde sokulum yapmıştır ve Üst Kretase’de kuzeye dalan Neo-Tetis okyanus litosferinin yitimiyle ilgilidir. Oluşumu muhtemelen ya İntrapontid ya da İzmir-Ankara- Erzincan Kenedi boyunca okyanusal litosferin kuzeye doğru dalımı ile ilişkilidir.

AGE AND PETROGENESIS OF THE ÇAVUŞBAŞI GRANODIORITE

SUMMARY

The Çavuşbaşı Granodiorite is in the east of the Istanbul Bosphorus. It is located at within The Istanbul Zone in the Western Pontides. It's a Late Cretaceous old magmatic intrusive rock (pluton), intrudes the Paleozoic units of the Istanbul Zone locally. It intrudes into Lower Ordovician sandstones and shales. Its emplacement gave rise to the development approximately 300 - 500 m wide contact metamorphic aureole. Our objective is to constrain the age and petrogenesis of the intrusion.

The Çavuşbaşı granodiorite covers nearly 25 km² area. The Çavuşbaşı pluton is a circular granodiorite sphere with a diameter of approximately 4,5 to 5,6 km. Geological units have been distinguished by microscopic and field observations of the samples taken from stream beds, outcrops in construction and roadside areas, although a topography which is almost entirely observed due to surface alteration is observed.

The granitic pluton, located at the edge of the continental plate with subduction. It was characterized by calc-alkaline, hornblende-containing, magmatic-compound I-type granite.

Mainly consists of granodiorite; become to on a small scale quartzdiorite porphyry. The country rock is composed of granodiorite and quartzdiorite porphyry. Main components of the granodiorite are plagioclase, quartz, K-feldspar, hornblende and biotite. Quartzdiorite consists of the some minerals but displays a marked porphyritic texture.

The Çavuşbaşı Granodiorite includes veins of aplite and pegmatite, mafic magmatic enclaves and dikes.

Aplites are white colored, fine-grained, composed of feldspar and quartz-containing. They are granite-derived vein rocks. Aplite veins are composed of granules in mm size and their width varies between 0,5 - 40 cm.

Pegmatites are pink-colored, coarse-grained veins with the same composition as aplite. Pegmatite veins are composed of granules in cm size and their width varies between 3 – 8 cm.

Aplite and pegmatite veins can be watched horizontally in meters in the weathered granodiorite. The aplites in the study area are concentrated in Karanlıkdere, pegmatites are concentrated in Çiftlik district. Aplites and pegmatites are late stage product of granite magmatism.

Mafic magmatic enclaves are fine-grained, dark colored, monzodioritic in compositions and precisely contacted. Enclaves are locally rounded, locally angular, and locally ellipsoidal in shape with dimensions ranging from 0,5 to 30 cm. Enclaves are microgranular texture and consist of hornblende and plagioclase minerals up to 2

mm in fine grained matrix (plagioclase, quartz, hornblende, biotite). Formation of flow banding by magma mingling of discrete magma compositions are visible.

Dikes are fractured, hornblende and biotite containing dacite and andesite with locally dark green colored lamprophyre. In the matrix of fine grained feldspar group, hornblende, orthoclase and plagioclase minerals up to 6 mm are seen in the intermediate-composition dikes. The size of the dikes varies from 20 cm to 3,50 m.

On very few of the intermediate-composition dikes have partly chill margin which formed at the edges of the hot dikes. The chill margins are thinly sliced in some places and some in melting. The surrounding rock (country rock) is affected by the heat transfer as the country rock heat up, and it has baked contact which is noticed by the color change seen along the chill margin.

Adakitic rocks belong calc-alkaline series, they are related to subduction. $\text{SiO}_2 \geq 56\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$; $\text{MgO} < 3\%$; $3,5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 7,5$; $\text{Sr} > 300 \text{ ppm}$; $\text{Y} < 15 \text{ ppm}$; $\text{Sr}/\text{Y} > 20$; $\text{Yb} \leq 1,9 \text{ ppm}$ ve $(\text{La}/\text{Yb})_N > 10$. $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ rate is low ($\sim 0,42$), Mg number is 51. Zr and Ti anomalies are very small or lacking. They have negative Nb anomalies, negative Eu anomaly and positive Sr anomaly. The high content of Sr is typical of the adakitic magma.

Geochemical composition of the Çavuşbaşı granodiorite (country rock composed of granodiorite and quartzdiorite porphyre) changes rapidly within short limits. The Çavuşbaşı Granodiorite belongs to medium-K calc-alkaline series. Aluminium saturation index ranges from 0,90 to 1,04; indicates metaluminous-peraluminous affinity.

As in adakitic rocks $\text{SiO}_2 \geq 56\%$ (64,91 – 68,26), $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$ (16,13 – 16,84), $\text{MgO} < 3\%$ (1,52 – 2,04), $3,5\% \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 7,5\%$ (4,80 – 5,20), $\text{Sr} > 300 \text{ ppm}$ (578,10 – 900,70 ppm), $\text{Y} < 15 \text{ ppm}$ (5,30 – 10,20 ppm), $\text{Sr}/\text{Y} > 20$ (70,2 – 112,49), $\text{Yb} \leq 1,9 \text{ ppm}$ (0,56 – 0,95) ppm and $(\text{La}/\text{Yb})_N > 10$ (12,64 – 19,98 ppm).

(In contrast to adakitic rocks $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ rate is less than 0,42 (0,25 – 0,41); Mg number is greater than 51 (52,99 - 61,68); it has positive Zr anomaly and negative Ti anomaly).

Çavuşbaşı Granodiorite has negative Nb anomaly; slightly evident no Eu anomaly and positive Sr anomaly. Overall, the Çavuşbaşı Granodiorite has with these geochemical characteristics, the Çavuşbaşı granodiorite formed by subduction, which resembles adakitic rocks.

Aplites belong to high-K calc-alkaline series. Aluminium saturation index is 1,02; indicates metaluminous-peraluminous affinity. It is separated from adakitic rocks with low Na_2O (3,26%), low Sr/Y ratio (7,04), low Sr (72,6 ppm), and negative Eu anomaly ($\text{Eu}/\text{Eu}^*=0,50$).

Aplites are late stage processes of granite magmatism, with granitic composition. Aplites have the highest SiO_2 (77,69%), the highest K_2O (5,18%), the lowest Fe_2O_3 (0,44%), the lowest MgO (0,04%) and the lowest CaO (0,56%) in the study area. Therefore, it is similar to the magma derived from the upper crust.

Enclaves belong to medium-K calc-alkaline series. Aluminium saturation index is 0,84; indicates metaluminous affinity. Enclave sample is the most mafic member in the study area with SiO_2 (55,45%). Heavy Rare Elements are higher than adakitic

rocks: Yb (2,48 ppm) and Y (25,7 ppm). It is separated from adakitic rocks with Sr/Y ratio (27,99) and negative Eu anomaly ($Eu/Eu^*=0,62$).

Enclaves have the highest Fe_2O_3 (6,75%); the highest MgO (3,57%) ve the highest CaO (6,06%) in the study area. Therefore, it is similar to mantle-derived mafic magma.

Dating of zircons by LA-ICP-MS U/Pb dating yielded on age of $68,32 \pm 0,66$ My (2σ) at the granodiorite sample. So, Çavuşbaşı granodiorite intruded during Maastrichtian. It is related with the loss of northwards subduction of The Neotethyan Oceanic Lithosphere at the Late Cretaceous. The formation is probably related to the northward subduction of the oceanic lithosphere along either Intra-pontide or İzmir-Ankara-Erzincan Suture.

1. GİRİŞ

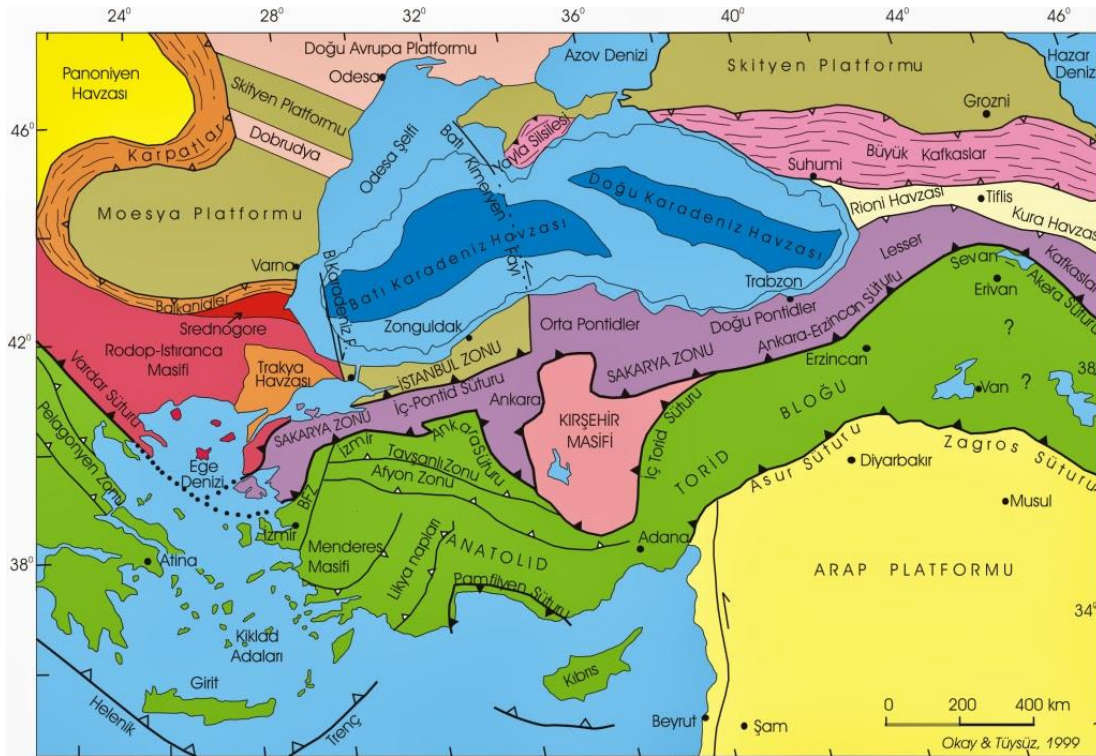
Granitik kayaçlar kıtasal kabuğun ana bileşenlerinden biri olup, en yaygın sokulum kayaçlarıdır (Monroe, 2005). Dalma-batma zonlarında, kıta-kıta çarpışmasına bağlı olarak, gerilen kıta kabuğu alanlarında ve ofiyolit dizilerinde gelişirler (Yılmaz, 2008). Türedikleri malzemeye göre I-tipi granitler (magmatik kökenli), S-tipi granitler (tortul kökenli), A-tipi granitler (anorojenik özellikli) ve M-tipi granitler (manto kökenli) olarak tanımlanırlar.

Magmatik kayaçlar geçmiş dönemlerde oluşan tektonik ortamları anlamada çok önemli bir rol oynar. Jeokimya, jeokronoloji, izotop jeokimyası ve mineral kimyasında modern analitik teknikler kullanılarak araştırmacıların magmatik kayaların jeodinamik ortamları hakkında daha güvenilir yorumlar yapabilmelerine olanak sağlamaktadır (Aysal ve diğ., 2017). Bu çalışmada granit jeokimyası ve çevre jeolojisi kullanılarak granitlerin oluşmuş oldukları ortam sınırlandırılacaktır.

1.1 Bölgesel Jeoloji

Türkiye, kuzeyde aktif kıta kenarı olan Lavrasya (Doğu Avrupa Platformu-Ukrayna Kalkanı ve örtüsü), güneyde Afrika ve Arabistan levhalarını temsil eden eski Gondwana (pasif kıta kenarı) kıtaları arasında yer alır (Url-1). Paleozoyik-Mezozoyik-Erken Tersiyer boyunca Avrasya ile Gondwana arasında yaklaşık olarak doğu-batı uzanımlı Tetis Okyanusu yer almıştır (Şengör & Yılmaz, 1981). Tektonik olayların Türkiye'nin jeolojik evriminde en çok etkili olduğu dönem olan Liyas'ta Paleotetis'in güney sınırını oluşturan Kimmer Kıtası devamlı olarak parçalanmış, gittikçe kapanmakta olan Paleo-Tetis'in güneyinde Neo-Tetis'in kuzey kolu bir kenar havzası olarak açılmaya başlayarak Anatolid-Torid Platformu'nun şekillenmesine neden olmuştur (Şengör & Yılmaz, 1981; Görür ve diğ., 1983; Ercan & Gedik, 1983). Günümüzde Sakarya Kıtası'nın güneybatı sınırını (İzmir-Ankara Süturu) oluşturan İzmir-Eskişehir-Ankara Okyanusu açılmaya başlamış; Neotetis Okyanusu ve Neo-Tetis Okyanusu'nun bir kolu olan İzmir-Eskişehir-Ankara Okyanusu beraber Sakarya Kıtası'nın Anatolid-Torid sınırını oluşturmuş ve Kimmer Kıtası

parçalanmıştır (Şengör & Yılmaz, 1981; Yılmaz ve diğ., 1997). Orta Jura'da Neotetis Okyanusu'nun gelişimi devam etmiş ve Paleotetis Okyanusu'nun dalımı ile kapanma başlamıştır (Şengör & Yılmaz, 1981; Şengör, 1983; Yılmaz ve diğ., 1997; Demir, 2010). Üst Kretase'de Neotetis Okyanusu kuzeye doğru dalma-batma ile yitilerek daralmaya başlamış ve Tersiyer'in başlangıcında Sakarya kıtası ile güneyindeki Anatolid-Torid Bloğu çarpışarak Alpin Orojenezi'ne yol açmıştır (Url-2). Lavrasya ve Gondwana kıtaları arasında bulunan Tetis Okyanusu'nun yok oluşuyla, küçük kıtalar riftleşmiş, Tetis okyanusu'nun kollarının kapanmasıyla suture zonları oluşmuştur (Okay & Tüysüz, 1999).



Şekil 1.1 : Türkiye ve çevresinin tektonik birimleri (Okay & Tüysüz, 1999; Tüysüz, 2017).

Türkiye ve çevresinde bulunan altı adet kıtasal parça: Istranca, İstanbul ve Sakarya Zonları, Anatolid - Torid Bloğu, Kırşehir Masifi ve Arap Plakası'ndan oluşmaktadır. Türkiye ve çevresinin tektonik birimleri Şekil 1'de verilmiştir (Okay & Tüysüz, 1999; Tüysüz, 2017).

İç Pontid Süturu, İstanbul Zonu ile Sakarya Zonu'nu birbirinden ayırır. Anatolid-Torid Platformu batıdan doğuya doğru Menderes Masifi, Likya Napları, Pamfilya Süturu, İzmir-Ankara Süturu, Tavşanlı Zonu, Afyon Zonu, İç Torid Süturu ve Sevan - Akera Süturu; Sakarya Zonu batıdan doğuya İç Pontid Kenedi, Orta Pontidler,

Doğu Pontidler, Ankara-Erzincan Süturu ve doğuda Küçük Kafkaslar olarak ayrılmıştır (Akın & Çiftçi, 2011). İzmir-Ankara Süturu, İç Torid Süturu ve Ankara - Erzincan Süturu ortada bulunan Kırşehir Masifi'ni, Sakarya Zonu'ndan ve Anatolid - Torid Bloğu'ndan ayırarak sınırlandırır. En güneyde kalan Asur - Zagros süturu ise Anatolid - Torid Bloğu ile Arap Platformu'nun arasında bir sınır oluşturur.

1.1.1 Pontid kuşağı

Pontid Kuşağı batıda Yunanistan'dan başlayıp, Romanya, Yugoslavya ve Bulgaristan, Karadeniz kıyılarının tamamı, Küçük Kafkaslar ve İran boyunca Hint platformuna kadar uzanan Alpin dağ oluşumunun devamıdır (Çelebi, 2007). Karadeniz'in güney kıtasal kenarını oluşturan Pontidler, Istranca, İstanbul ve Sakarya zonlarından oluşur (Okay & Tüysüz, 1999; Tüysüz, 2017).

Istranca Zonu, çoğunlukla metamorfizmlerden oluşurken, İstanbul Zonu'nun yalnızca Erken Paleozoyik temelli metamorfizmaya uğramıştır. Sakarya Zonu ise Devoniyen granitleri, Karbonifer yaşlı metamorfizmler ve granitler ile Permo-Triyas yaşlı yeşilist - mavişist fasiyeli metamorfizmlerin genelde gözlemlendiği karmaşık bir temelden oluşur.

1.1.2 İstanbul zonu

Batı Pontidlerde bulunan İstanbul Zonu, Karadeniz'in güneybatı kenarındadır. 400 km uzunluğunda ve 70 km genişliğinde küçük bir kıta parçasıdır (Okay & Tüysüz, 1999). Ordovisiyen - Karbonifer yaşlı pasif kıta kenarı olan Moezya platformuyla bitişik İstanbul Zonu, Geç Kretase - Paleosen'de sağ atımlı Batı Karadeniz ve sol atımlı Batı Kırım transform fayları boyunca Odessa şelfi boyunca güneye kayarak Erken Eosen'de, güneyde bulunan Sakarya kıtasına çarpması sonucu, Karadeniz'deki gerilme rejimi biterek Batı Karadeniz ile Batı Kırım fayları işlevlerini yitirmiştir (Okay, 1994). İstanbul Zonu, Neoproterozoyik yaşlı bir temel ile Ordovisiyen yaşlı kumtaşı ve konglomeralar, Silüriyen yaşlı sığ denizel karbonat ve silttaşları, Devoniyen yaşlı pelajik kireçtaşları ve şeylleri, Alt Karbonifer yaşlı çörtler ile Vizyen yaşlı fliş serisinden oluşan sedimenter Paleozoyik istifinden oluşur (Okay, 2008). Kuzeyde Kretase yaşlı volkanitler ile İstanbul Zonu'ndaki iki sokulum olan Üst Kretase yaşlı Çavuşbaşı Granodiyoriti ve Geç Permiyen yaşlı Sancaktepe Graniti bulunur (Şekil 1.2).



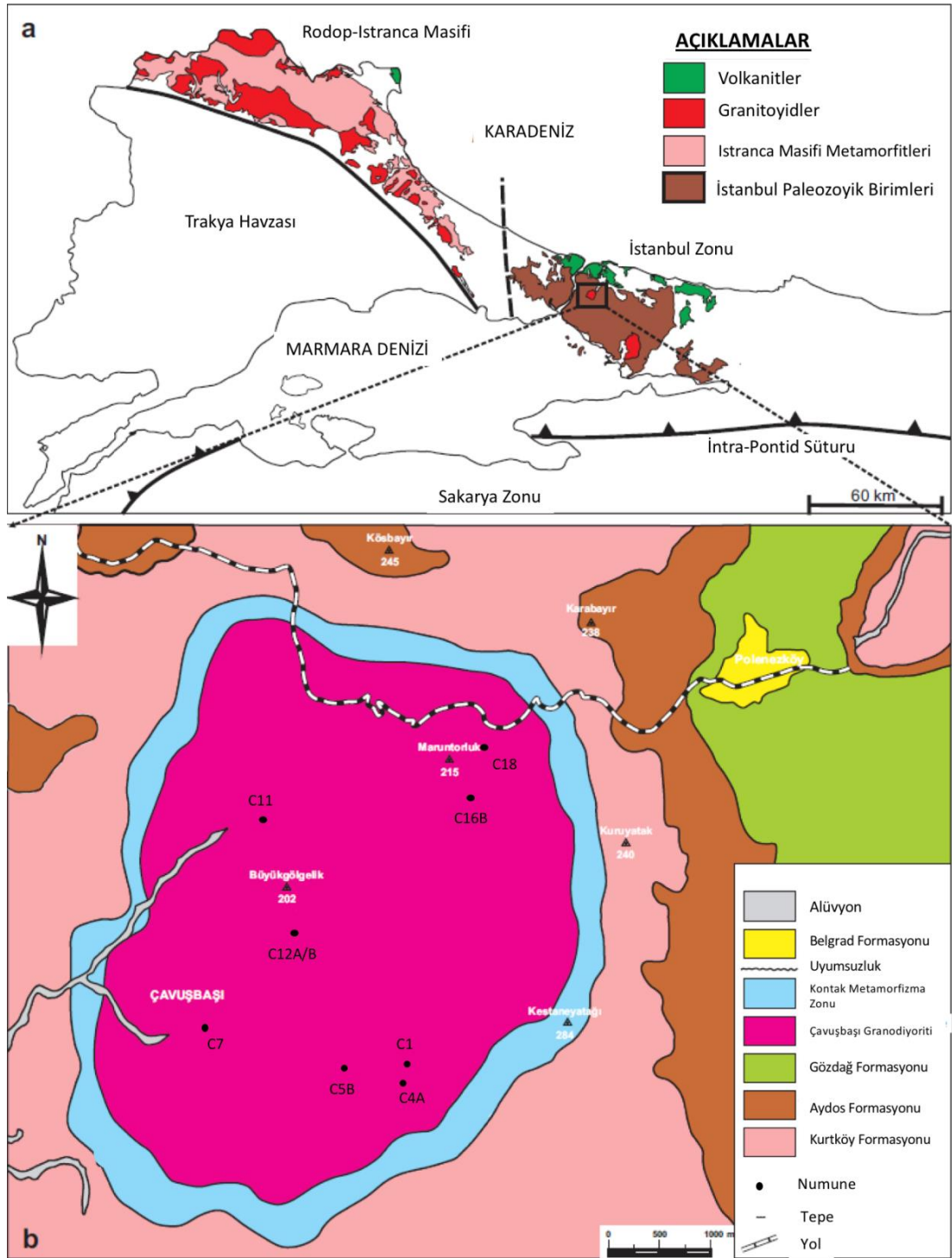
Şekil 1.2 : Kabakos Körfezi’nde Kretase yaşlı bazalt sütunları ve aglomeralar (A. M. Celal Şengör’ün “İç Süreçler’ dersinin arazi gezisi sırasında çekilmiştir).

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, Çavuşbaşı Granodiyoriti’nin yaşını ve petrojenezini belirlemek, dayk, anklav ve apilitlerle olan ilişkisini araştırmaktır. Bu verilerin ışığında nasıl bir jeodinamik ortamda oluştuğu sınırlandırılmaya çalışılacaktır.

1.3 Çalışma Alanının Konumu

Çalışma alanı, İstanbul’un Anadolu yakasında, İstanbul Boğazı’nın doğusunda Beykoz ilçesine bağlı Çavuşbaşı beldesini içermektedir. Batısında Kavacık, kuzeyinde Zerzavatçı, kuzeydoğusunda Polonezköy, doğusunda Reşadiye ve güneyinde Ümraniye bulunmaktadır. Çalışılan alan yaklaşık olarak 25 km²’yi kapsamaktadır. Çamlık, Dutdere, Karanlıkdere, Düzkestane, Yukarı Baklacı ve Eskiçiftlik bu alandır. Topoğrafya genellikle arenalaşmıştır, güneybatısında bulunan Elmalı Barajı Göksu Deresi üzerine kurulmuş olup, bu derenin kolları çalışma alanında mostraların en çok görüldüğü alanlardır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 : (a) Çalışma alanının yer bulduru haritası (Okay & Tüysüz, 1999; Şahin ve diğ., 2012'den Türkçeleştirilmiştir). (b) Çavuşbaşı Granodiyorit'i'nin jeolojik haritası üzerine işlenen toplam kaya analizi için alınan numuneler (Ketin, 1941; Şahin ve diğ., 2012'den değiştirilmiştir).

1.4 Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışma sırasında, aşağıdaki aşamalar takip edildi:

Çavuşbaşı bölgesinde gerçekleştirilen jeolojik haritalama çalışmalarında 1/25.000 ölçekli (F22–d3) topoğrafya haritası, jeolog çekici, jeolog pusulası ve GPS ile granodiyoritlerden numune alabilmek için 5 kg’lık bir balyoz ve koruyucu gözlük kullanıldı. Arazi çalışmaları 2013 ile 2015 yılları arasında yürütüldü ve 2018 yılında tez yazımı aşamasında tekrarlandı.

Saha jeolojisi çalışmaları ile yörede yüzeyleyen kayaç toplulukları, sınır ilişkisi ve granodiyoritin haritası ArcGIS’de numuneler işlenerek çizildi; Google Earth’e aktarılarak Çavuşbaşı Granodiyoriti’nin boyutu ölçüldü.

Toplam kaya analizi için altere olmamış on adet numuneden, sağlam el örnekleri seçildi. Bu el örnekleri İTÜ Motor Binası’nın Örnekleme Laboratuvarı’nda kırma, eleme, manyetik ayırma, ağır sıvı ile ayırma ve elle seçme işlemlerinden geçirildi. Ana ve iz element analizleri, Kanada’da bulunan ACME Laboratuvarı’nda yapıldı.

Bir granodiyorit numunesinden ayırt edilen zirkonların Güteburg Yer Bilimleri Enstitüsü’nde Lazer ablasyon (LA) ICP-MS yöntemiyle U/Pb yaş tayini yapıldı.

Arazi çalışmalarında toplanan 21 örneğin, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü İnce Kesit Yapım Atölyesi’nde ince kesitleri hazırlandı. Bu ince kesitler Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü’nde polarizan mikroskobu ile incelendi.

Elde edilen veriler, bir dizi hazır programlar vasıtasıyla (AutoCAD, ArcGIS, Google Earth, CorelDRAW, Excel ve GCDkit 4.1) değerlendirildi.

1.5 Analitik Yöntemler

1.5.1 Toplam kaya analizleri için örnek hazırlama

İnceleme alanında on farklı yerden alınan altere olmamış sağlam el numunesi, İTÜ Motorlar Binası’nın alt katındaki Örnek Hazırlama Laboratuvarı’nda taş kırma makinesinde birkaç mm olana kadar kırıldıktan sonra agat havanda pudra boyutuna gelene kadar öğütüldü. Her bir numune öğütüldükten sonra agat havan, aseton (C_3H_6O) ile temizlendi ve hava kompresörü ile kurutuldu. Her bir numune bu işlemlerden geçirildikten sonra poşetlenerek toplam kaya analizi için hazır hale getirildi.

1.5.2 Ana ve iz elementlerin Acme Analitik Laboratuvarı'nda hazırlanışı

Ana ve iz elementlerin analizi, Acme Analitik Laboratuvarları Vancouver (Kanada)'da yaptırılmıştır. Analiz için 200 mg. kaya pudrası ile 1,5 gr. LiBO₂ (Lityum Metaborat) eritici maddesi ile karıştırılarak grafit bir kabın içine karıştırılarak fırında 1050 °C'de 15 dakika ısıtılmıştır. Ergimiş numuneler ACS (American Chemical Society) standartlarında damıtılan % 5 HNO₃ (Nitrik Asit) içeren saf su içinde çözülmüştür.

Uluslararası standartlara uygun örnek değerleri ve ölçülerden kaynaklanan hatalar çözelti sonuçlarına eklenerek değerlendirme yapılmıştır. Ana elementlerin ve iz elementlerin analizi için Jarrell Ash Atom Comb 975 ICP emisyon spektrografi cihazı kullanılmıştır. Nadir toprak elementlerinin analizi için Perkin-Elmer Elan 6000 model ICP kütle ICP kütle spektrometresi kullanılmıştır. Kesinlik göreceli olarak ana elementlerin ölçümünde % 2, iz elementlerin ölçümünde % 10 civarındadır.

1.5.3 Zirkon ayrımının yapılışı

İnceleme alanından zirkon analizi yapılacak numuneler toplandı.

Üç farklı yerden granodiyorit ve bir anklav numunesi bu amaçla alınmıştır ve laboratuvarda zirkon ayrımı yapılmıştır.

Laboratuvarda ilk olarak granodiyorit numunesi (C1A), koruyucu gözlük kullanılarak taş kırma makinesinde ufak parçalar haline gelene kadar kırılır (Şekil A.1).

Taş öğütme makinesini kırılan numune dökülmeden önce aseton (C₃H₆O) ile temizlenip, hava kompresörü ile kurutulur. Numune çekmecesinden alındıktan, numuneler istenilen inceliğe gelene kadar silindir aralığı daraltılmaya devam edilir. Diğer numuneler de aynı işlemlerden geçirilmeden önce her seferinde taş öğütme makinesini aseton (C₃H₆O) ile temizlenip, hava kompresörü ile kurutulur (Şekil A.2).

Öğütülen numune “elek analizi” için istenen boyuta getirilir. Daha sonra ultrasonik banyo distile su ile 2/3 oranında doldurulur. Eleklere dokunulmaksızın önce hava ile temizlenir, sonra ultrasonik banyoda ses dalgaları ile yıkanır, daha sonra havayla ve en sonunda fırında 89.4 °C'de kurutulur. Her bir numuneden önce elekler bu

işlemlerden geçirilir (Şekil A.3).Elele analiziyle granodiyorit numunesi 63-125 µm, 125-180 µm ve >180 µm boyutlarına getirilerek, distile su ile yıkanır (Şekil A.4).

Böylece Manyetik Seperatörde manyetik olan minerallerin geldiği kutuya biyotit, ilmenit, epidot ve piroksen; manyetik olmayan minerallerin geldiği kutuya kuvars, feldspat, apatit ve zirkon ayrılır. Burada da manyetik seperatörle yapılan işlem esnasında manyetit minerallerinin seperatörün bandına yapıştığı izlenmiştir (Şekil A.5).

1.5.4 Lazer ablasyon (LA) ICP-MS cihazıyla yapılan zirkon yaş tayini

Zirkonlar, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü'nde çift taraflı banda yerleştirilmiş, binoküler altında elle toplanmıştır. Epoksiye gömüldükten sonra tarihlenmiş zirkonların iç yapılarını ve potansiyel inklüzyonların hem tarihleme hem de eser element ölçümleri için cilalanmıştır. İç yapılar, Ankara Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Departmanı'nda SEM ve CL görüntülemeyle belirlenmiştir. Hem U-Pb tarihleme, hem de zirkonda eser element ölçümleri Götting Üniversitesi'nde yapılmıştır (Topuz ve diğ., 2017). Burada New Wave NWR213 lazer ablasyon sistemiyle donatılmış Agilent 8800 ICP-MS ile yapılmıştır. Ölçümler, TV2 iki – hacimli hücrede, Helyum atmosferinde (0,91/ dak), 4.5 J/cm² lazer akışıyla ve 5 Hz frekansında yapılmıştır (10 Hz frekansında zirkonun eser elementleri için yapılan ölçümler hariç). Lazer spot boyutu her bir ölçüm protokolü için ayarlanmıştır: burada zirkondaki eser elementler için 25 µm ve zirkondaki U-Pb için 20 µm. İşlemden geçirilmiş örnek, aerosol He içinde taşınmış. Daha sonra , ICP-MS' ye erişmeden önce akıntı yönünde 4 ml N₂/dak ve 0.7 l Ar/dak ile karıştırılmıştır. Zirkonun eser element konsantrasyonları, primer standard olarak NIST SRM610'u, R10 ve sırasıyla zirkon için sekonder standard olarak kullanımıyla ölçülmüştür. Zirkon U-Pb tarihleme R10 ve 91500 primer standard olarak kuantifiye edilmiştir. Tüm bu sekonder standartlar aynı şartlarda uyumlu yaşlar vermiştir.

Zirkon analizine gönderilecek numuneler 63-180µm aralığında hazırlanır. Zirkon Analizi için Manyetik Seperatör'den alınan manyetik olmayan mineraller, ağır sıvıya eklenerek karıştırılır ve çökmesi beklenir (Şekil A.6).

Ağır sıvıda çökelen numune alınarak, fırında kurutulur. Zirkon analizi yapılacak numuneler hazırdır (Şekil A.7).

1.6 Önceki Çalışmalar

Çalışma alanında ve yakın çevresinde yapılan daha önceki çalışmaları sıralayalım:

Ketin (1941), “Çavuşbaşı Çiftliği Granodiyorit – Kuvarsdiyorit Plütunu” olarak adlandırdığı Çavuşbaşı Granodiyoriti’ni haritalamış ve iç yapısını incelemiştir.

Okay (1947), çevre jeolojisi ile petrografisini ve mineralojik bileşimini incelemiştir.

Sayar (1960), Chaput, Paeckelmann, Okay, Ketin, Erentöz ile birlikte Erguvanlı ve Sayar (Arınç)’ın etütlerinden faydalanarak Çavuşbaşı Granodiyoriti’nin de dahil olduğu İstanbul Boğazı ve civarının jeolojik haritasını yapmışlardır.

Bürküt (1966), TRÖGER – Cetveline uygulayarak plütunu “Kuvarsdiyorit” olarak tanımlamıştır, masifin mineralojisini, petrografisini ve jeokronolojisini doktora tezinde ayrıntılı olarak araştırmıştır. Plütunun mutlak yaşını, biyotitler üzerinde K / Ar yöntemiyle $87,30 \pm 3$ milyon yıl olarak hesaplamıştır.

Öztunalı ve Satır (1973), “Çavuşbaşı kristalin karmaşığının petrografi ve petrolojisi” ve 1975 yılında “Çavuşbaşı derinliktaşı” adı altında incelemiştir. TRÖGER – Cetveline uygulayarak plütunu “Granodiyorit” olarak tanımlamıştır, masifin petrolojisini ve jeokronolojisini ayrıntılı olarak çalışmış, lamprofirlere “Kuvarslı – Vogesitimsi Spessarit” adını vermişlerdir. Plütunun yaşını biyotitler üzerinde Rb / Sr izotoplarına göre yaptıkları ölçüm ve hesaplarla 60 ± 13 milyon yıl ile 65 ± 10 milyon yıl, Rb / Sr ilksel oranları 0,7027-0,7045 olarak saptamışlardır. Buldukları yaş değerlerini “Alpin metamorfizmanın biyotitler üzerinde bıraktığı iz” olarak yorumlamışlardır (Ketin, 1941).

Şahin ve diğ. (2007), İstanbul’un Granitoyidleri adı altında Çavuşbaşı Granodiyoriti’nin mineralojik, petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özelliklerini incelemiştir. Şahin ve diğ. (2010) jeokimyasal ve petrolojik özellikleriyle birlikte, yaşını SHRIMP zirkon U-Pb yaş tayiniyle $67,75 \pm 0,59$ milyon yıl olarak tespit etmişlerdir. Şahin ve diğ. (2012) Çavuşbaşı Granodiyoriti’nin petrojenezini çalışmışlar; adakitik magmatizmaya sahip olduğunu açıklamışlar, SHRIMP-II zirkon U-Pb yaş tayiniyle $67,59 \pm 0,50$ milyon yıl ve $67,91 \pm 0,63$ milyon yıl olarak yaş tayini yapmışlardır.

Aysal (2017), İstanbul Zonu’nu kesen mafik ve ortaç dayk komplekslerini ve Batı Karadeniz’in evrimi açısından önemini araştırmış; Çavuşbaşı Granodiyoriti’nin petrografi ve jeokimyasını incelemiştir.

2. PETROGRAFİ VE ALAN İLİŞKİSİ

Bu bölümde, Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin saha ilişkileri ve granodiyoriti oluşturan kayaç türlerinin petrografisi ele alınacaktır.

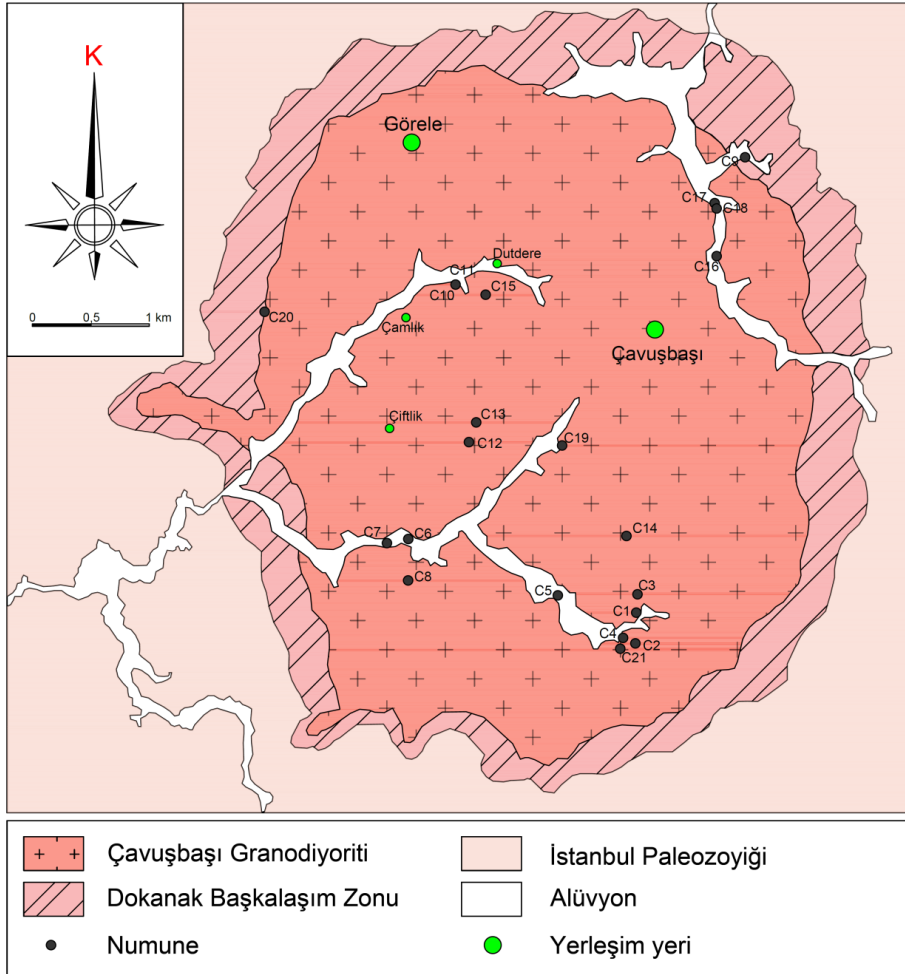
2.1 İstanbul Paleozoyiği

İstanbul Boğazı'nın doğusunda bulunan Çavuşbaşı plütunu, çapı yaklaşık olarak 4,5-5,6 km arasında değişen dairesel bir granodiyorit sokulumudur. Çavuşbaşı Granodiyoriti, genel olarak granodiyoritten oluşmakla birlikte yer yer porfirik kuvarsdiyorit, bol miktarda mafik mikrotaneli anklav, çok sık gözlenen açık renkli ince taneli aplit damarları, andezit ve dasit daykları ile lamprofirler içermektedir. Yüzeysel aşınma nedeniyle tamamen arenalaşmış bir topoğrafya gözlenmesine rağmen dere yataklarından, inşaat ve yol için açılan bölgelerdeki mostralardan alınan numunelerin mikroskobik ve arazi gözlemleriyle jeolojik birimler ayırtlanmıştır.

İnceleme alanındaki granodiyorit sokulumu, İstanbul Paleozoyiğinin en yaşlı üyelerinden biri olan Alt Ordovisiyen yaşlı sedimenter kayaçlardan oluşan Kurtköy formasyonu içerisinde yüzeilenmektedir. Kurtköy Formasyonu morumsu renkli, konglomera, arkoz, arkoz şisti, kuvarsit, lamine şist gibi kaba klastik tortullardan ibaret olup, litoloji özellikleri ve renkleri ile bazen yanal bazen düşey olarak değişiklik göstermekte, oldukça yaygın olan arkozlardan dolayı "Arkoz Serisi" denilmiştir; Arkoz serisi içinde önemli bir fosil zonu bulunmamıştır (Sayar, 1979). Kurtköy Formasyonu'nu uyumlu olarak Aydos Formasyonu örtmektedir. Aydos Formasyonu'nun gözlendiği Çengelköy'de arkozların üzerinde lamine şeyllerle ara tabakalı şamozitlerde Orta Ordovisiyen'e ait bir Conularid Zonu saptanmıştır (Arıç, 1955; Sayar (Arıç) 1970). Kurtköy Formasyonu'nun yaşı, üzerindeki tabakaların içerdiği fosiller yardımıyla, Orta Ordovisiyen'den daha yaşlı olacağı düşünülerek, Alt Ordovisiyen olarak kabul edilmiştir. Magmatik sokulumun yukarı doğru ilerlemesi esnasında, sıcaklığın etkisiyle çevresindeki kayaçlarda dokanak metamorfizmasıyla takriben 300-500 m genişliğinde başkalaşım halesi meydana gelmiştir (Ketin, 1983).

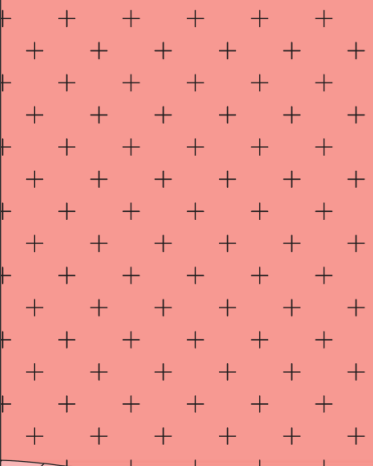
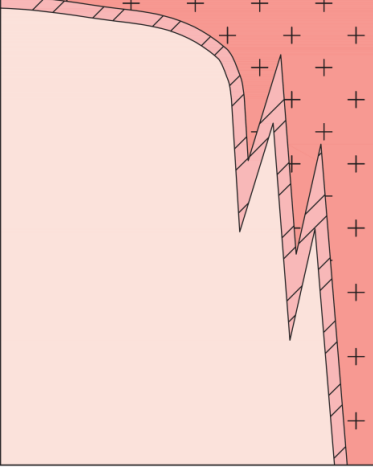
Çavuşbaşı Granodiyoriti, dalma-batma ile kıtasal levha kenarına yerleşmiş, kalkalkalen özellikte, hornblend içerikli, granit-granodiyorit-tonalit bileşimindeki kayalar karakterize eden I-tipi granittir (Erkan, 2013).

Çavuşbaşı granodiyoritinin jeoloji haritasında Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin İstanbul paleozoyiğini kestiği ve genellikle sağlam numunelerin dere yatakları civarında bulunduğu görülüyor, haritada inceleme alanından alınan numunelerin yerleri işaretlenmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin jeoloji haritası (MTA-2010'dan değiştirilmiştir).

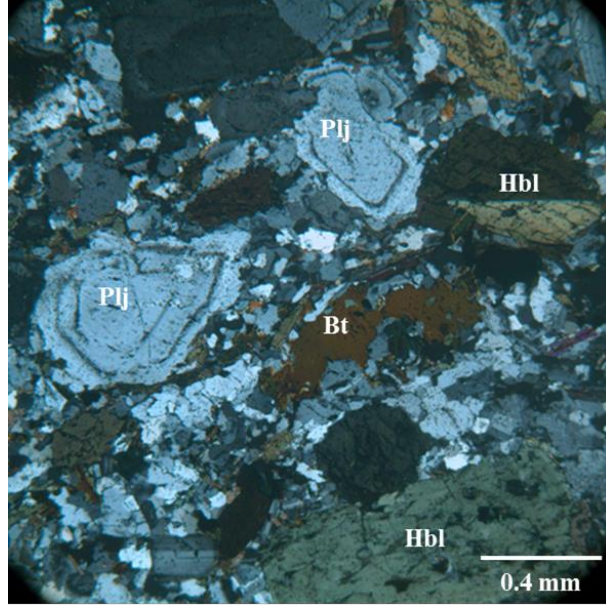
İnceleme alanının stratigrafik sütun kesitinde, mafik magmatik mikrogranüler anklavlar içeren ve aplit damarları ile dayklar tarafından kesilen Üst Kretase (Maastrichtiyen) yaşlı Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin; Alt Ordovisiyen yaşlı, arkoz serisinden oluşan Kurtköy Formasyonu içerisine yaptığı sokulum görülmektedir (Şekil 2.2).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST	ÇAVUŞBAŞI GRANODİYORİTİ		Mafik mikrotaneli anklavlar, aplit damarları ve dayklar içeren granodiyorit sokulumu
PALEOZOYİK	ORDOVİSİYEN	ALT	KURTKÖY FORMASYONU		Arkoz Serisi (Kumtaşı, Çamurtaşı-Şeyl, Çakıtaşı ardalanması)

Şekil 2.2 : İnceleme alanının stratigrafik sütun kesiti.

2.1.1 Çavuşbaşı granodiyoriti

Çavuşbaşı Granodiyoriti açık gri-beyaz renkli, orta-iri tane boyulu, granüler dokulu, genellikle granodiyorit bileşimli olup yer yer kuvarsdiyorit porfirilere geçiş yapmaktadır. Granodiyoritin başlıca bileşenleri plajioklas, kuvars, K-feldspat (ortoklas), hornblend ve biyotittir. Kuvarsdiyorit ise aynı minerallerden oluşmakta, porfirik dokusu ile granodiyoritlerden ayrılmaktadır (Şekil 2.3).



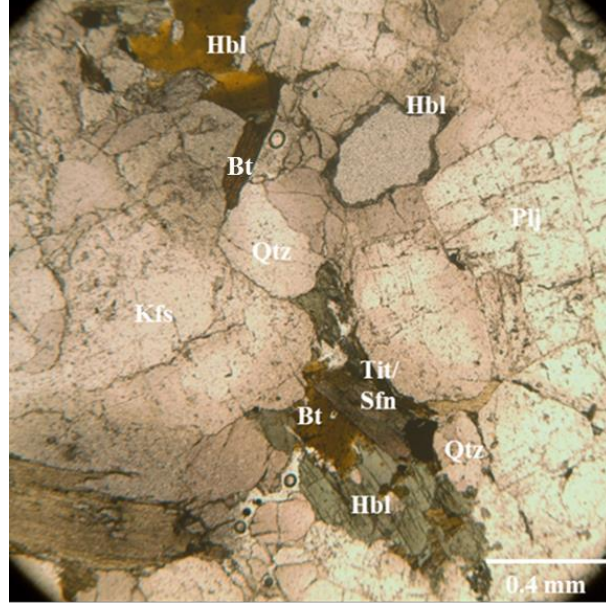
Şekil 2.3 : Kuvarsdiorit (C4). Bt: Biyotit, Hbl: Hornblend, Plj: Plajioklas.

Kristallerin özelliklerine göre hipidiyomorfik holokristalen dokusu ile kayacın bütün mineralleri kristallenmiştir. Tane büyüklüğüne göre faneritik dokuludur yani taneleri gözle görülebilecek büyüklükte, 2–6 mm boyutunda minerallerden oluşmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Karanlıkdere’de granodiorit numunesi (C1).

Ana minerallerini plajioklas (oligoklas, andezin), kuvars, K-feldspat (ortoklas), hornblend ve biyotit oluşturur (şekil 2.5). Tali mineraller apatit, zirkon, titanit, sfen, pirit, manyetit ve piroksendir. İkincil mineraller serisit ve klorittir.



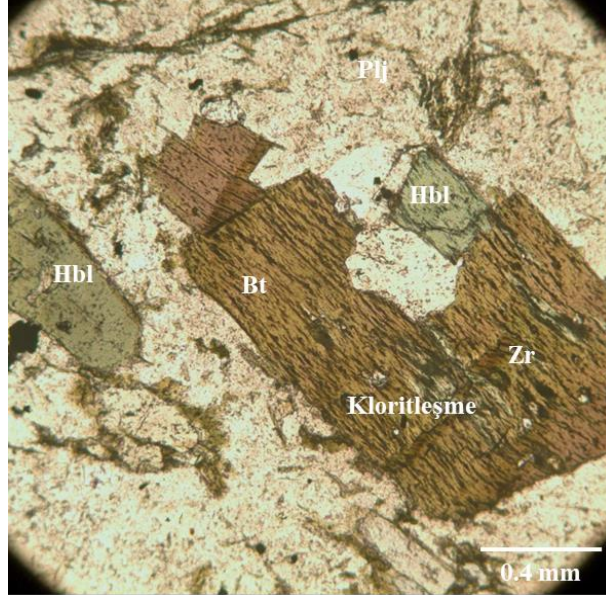
şekil 2.5 : Granodiyorit (C1A). Bt: Biyotit, Hbl: Hornblend, Kfs: Potasyumfeldspat, Qtz: Kuvars, Plj: Plajioklas, Sfn: Sfen, Tit: Titan,Zr: Zirkon.

İri taneli granitler ayrışarak kolaylıkla kum halini alırlar, yağmur sularının çatlaklardan sızması ve feldspatların alterasyonu taşın dağılmasına yardım eder (Sayar, 1960). İnceleme sahasında genellikle granodiyoritler ayrışarak kum boyutuna gelmiştir. Sağlam numunelere çok nadir rastlanmaktadır (şekil 2.6).



şekil 2.6 : Arenalaşmış arazide bir granodiyorit moşstrası (C12A).

Biyotit minerallerinin bozunarak klorite dönüştüğü, Biyotit içindeki Zirkon, hornblend ve opak minerallerin kapanımları Şekil 2.7’de görülmektedir. Granodiyoritleri, dere yataklarında ayrışmamış olarak görmek mümkündür (Şekil 2.8).



Şekil 2.7 : Granodiyorit (C12A). Bt: Biyotit, Hbl: Hornblend, Plj: Plajioas, Zr: Zirkon.



Şekil 2.8 : Dere yatağındaki granodiyorit (C16).

2.1.2 Aplit ve pegmatit damarları

Aplitler beyaz renkli, ince taneli, feldspat ve kuvars içerikli, mm boyutunda tanelerden oluşan, granit kökenli damar kayalarlarıdır. Aplit damarlarının genişlikleri 0,5 - 40 cm arasında değişmektedir. SiO₂ oranı % 77,69 olup, felsik magmadan türemiştir.

Pegmatitler pembe renkli, iri taneli, aplit ile aynı bileşime sahip, cm boyutunda tanelerden oluşan damar kayalarlarıdır. Pegmatit damarlarının genişlikleri 3 - 8 cm arasında değişir.

Aplit ve pegmatitler yatay olarak metrelerce izlenebilmektedir.

İnceleme alanında bulunan pegmatitler Çiflik mahallesinde yoğunlaşırken, aplitler Karanlıkdere'de yoğunlaşmaktadır.

Aplitler genellikle birbirine paralel konumdadır (Şekil 2.9).

Aplit ve pegmatitler ayrıışmış, kum boyutundaki granodiyorit içinde genellikle kırıklı, nadiren ayrıışmış olarak bulunur. Sağlam mostralarda damarlar halinde izlenir (Şekil 2.10).



Şekil 2.9 : Arenalaşmış granodiyorit içindeki aplit damarları.



Şekil 2.10 : Aplit damarları.

Çavuşbaşı Granodiyoriti’ni ve yer yer anklavları kesen aplit damarları, inceleme alanındaki magmatizmanın en son ürünüdür (Şekil 2.11). Farklı boyuttaki aplit damarları, kalın aplit damarlarını da kesebilir (Şekil 2.12).

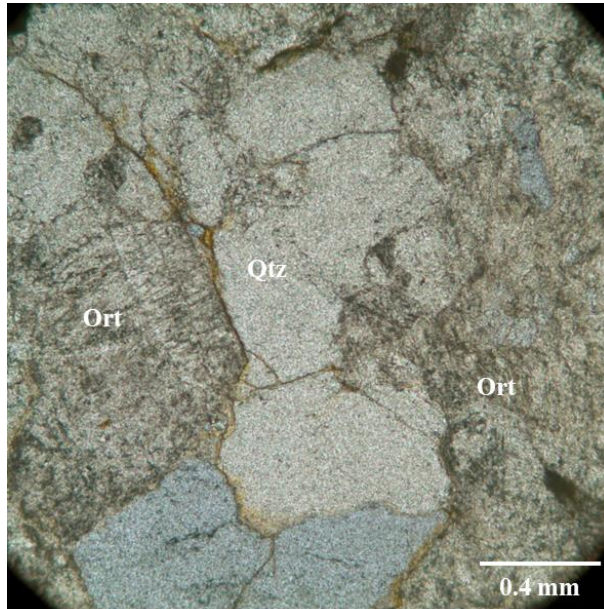


Şekil 2.11 : Anklavı kesen ayrılmış aplit damarı.



Şekil 2.12 : Farklı boyuttaki aplit damarları.

Aplitin ana mineralleri K- feldspat (ortoklas) ve kuvarstır. Feldspatlarda serisitleşme görülür. Tali mineralleri apatit ve ilmenittir. (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 : Aplit. Ort: Ortoklas, Qtz: Kuvars.

2.1.3 Anklavlar

Anklavlar, plütonik kayaçlarda yaygın olarak görülür. Magmanın yukarı doğru yükselirken yan kayaçları kopararak özümlemesi sonucu oluşan anklavlar, bölümsel ergime ile magma içine karışan yan kayaç parçalarıdır (Url3). Mikrogranüler anklavlar kalkalkalen granitik plütonların yaygın bir özelliğidir (Jerram & Petford, 2011). Granodiyorit içindeki mafik magmatik anklavlar, ince taneli, koyu renkli, monzodiyorit bileşimli, mikrogranüler dokulu ve kesin dokanaklıdır. 0,5 - 30 cm arasında değişen boyutlarda, yer yer yuvarlak, yer yer köşeli, yer yer de elips biçimindedir (Şekil 2.14).

Magma mingling, felsik granitoidler içerisine hapsedilmiş, boyutları ve şekilleri birbirinden farklı mikrogranüler dokulu mafik magmatik anklavlar ile karakterize edilir (Şahin & Boztuğ, 1994). Çavuşbaşı Granodiyoriti'ndeki mafik magmatik anklavlar, magma mingling olayı ile meydana gelmiştir.



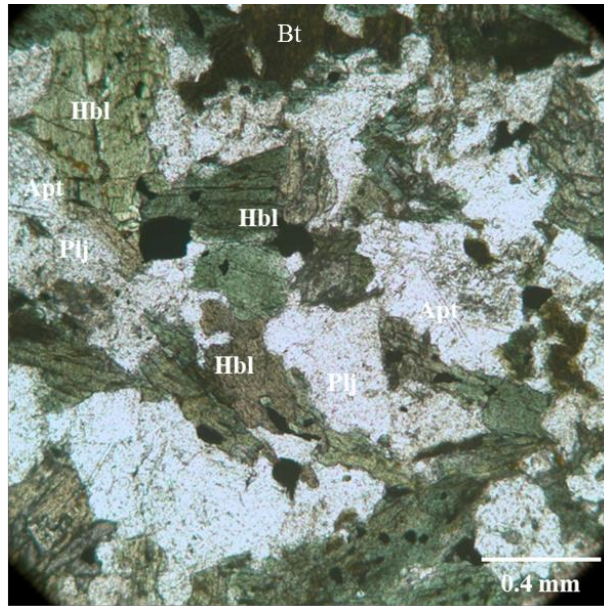
Şekil 2.14 : Altere olmuş granodiyorit içindeki yuvarlağımsı, köşeli ve elips şeklindeki koyu renkli anklavlar.

Anklavlar altere olmuş granodiyotın içinde gözlenebildiği gibi, altere olmamış sağlam mostralarda da yer yer yuvarlak, yer yer köşeli, yer yer de elips şekillerinde gözlenir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 : Granodiyorit mostrasının içindeki anklavlar (C4B).

Anklav mikrogranüler dokulu olup, ince taneli matriksin (plajiolklas, kuvars, hornblend, biyotit) içinde, 2 mm'ye varan hornblend ve plajiolklas minerallerinden oluşur. Tali mineral olarak iğnemsî apatit ve zirkon bulundurulur (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 : Anklav (C4B). Apt: Apatit, Bt: Biyotit, Hbl: Hornblend, Plj: Plajiolklas.

Farklı magma bileşenlerinin magma mingling ile oluşturduğu akma bantları Şekil 2.17’de görülmektedir. Fenokristallerin de bulunduğu akma bantları, viskoz magmanın fiziksel ve kimyasal heterojenlik gruplarını ince tabakalar halinde sergilemektedir (Gill, 2010).



Şekil 2.17 : Akma bantlarının içinde gözlenen anklavlar.

2.1.4 Dayklar

Çavuşbaşı Granodiyoriti’ni kesen dayklar kahverengi, kırıklı ve çatlaklı; hornblend ve biyotit içeren dasit ve andezit; bazen de koyu yeşil renkli lamprofirler halindedir. . İnce taneli feldspat grubu matriksin içinde, 6 mm’ye kadar honblend, ortoklas ve plajioklas mineralleri görülmektedir. Daykların boyutları 20 cm’den 3,50 m’ye kadar değişmektedir.

Lamprofir koyu yeşil renkli, hornblend ve plajioklas içeren bir damar kayacıdır (Şekil 2.18).

Sıcak magma, soğuk katı kayayla temas ettiği zaman magmadan ısı akışı nedeniyle “soğuma kenarı” oluşur, ancak soğuma kenarı her zaman gelişmeyebilir, kısmen eriyebilir hatta tamamen ortadan kalkabilir (Huppert & Sparks, 1989). Aynı zamanda magmanın etrafındaki kayada, ısı transferinden etkilenir ve magmanın etrafındaki ana kayada “pişme dokanağı” meydana gelir.

İnceleme alanındaki iki dayкта soğuma kenarları (Şekil 2.19) ve pişme dokanağı kısmen gözlenmiştir (Şekil 2.20).



Şekil 2.18 : Granodiyoriti kesen lamprofir dayk.



Şekil 2.19 : Ortaç bileşimli dayktaki soğuma kenarları.

Sıcak ortaç dayk soğuk Çavuşbaşı Granodiyoriti'ni kestiğinde, dasit daykının kenarında kısmen soğuma kenarları oluşmuştur; bunlar bazı yerlerde ince dilimlenmeler, bazı yerlerde ise erime şeklinde gözlenmektedir (Şekil 2.20(b)).

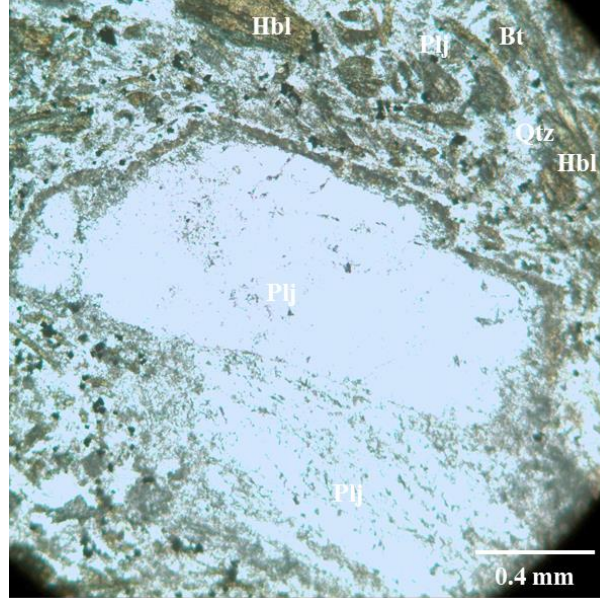
Sıcak daykın kestiği granodiyorit ısı transferinden etkilenmiştir, bu nedenle oluşan pişme dokanağı, soğuma kenarları boyunca görülen renk değişimi ile farkedilmektedir (Şekil 2.20 (a)).



Şekil 2.20 : (a) Dasit daykının etrafındaki pişme zonu (C6A).
(b) Dasit daykının soğuma kenarı.

Çavuşbaşı Granodiyoriti ile aynı zamanda İstanbul Paleozoyik istifini de kesen, andezit ve dasit bileşimli ortaç daykların yaşı N. Aysal ve diğ. (2017) tarafından (LA-ICP-MS) yöntemiyle zirkon taneleri üzerinde yapılan U-Pb yaş tayiniyle $65,44 \pm 0,93$ My (Alt Paleosen (Danian)) olarak tespit edilmiştir, oluşumları Üst Kretase – Paleosen döneminde Karadeniz’in açılımı sırasında volkanik yayın riftleşmesinin bir sonucudur (Aysal, 2017).

Dasit porfirik dokulu, yeşilimsi gri renklidir. Ana mineralleri plajioklas, hornblend, biyotit, kuvars ve ortoklastır. Plajioklas ve hornblend mikrolitlerinden oluşan bir matriks içinde, 6 mm’ye kadar plajioklas, honblend ve ortoklas mineralleri fenokristaller halinde bulunmaktadır (Şekil 2.21).



Şekil 2.21 : Dasit. Bt: Biyotit, Hbl: Hornblend, Plj: Plajioklas, Qtz: Kuvars.

3. JEOKİMYA

Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin jeokimyasal ve petrolojik özelliklerini belirlemek için on adet numuneden (yedi granodiyorit, bir kuvarsdiorit, bir anklav ve bir aplit) ana ve iz element analizi yapıldı (Çizelge 3.2). Örnekler mümkün olduğunca yüzeysel aşınmaya uğramamış yüzleklerden alındı. Jeokimyasal incelemeler sonucunda Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin adakitik kayalara benzediği görüldü.

Daha sonra farklı oluşum modelleri sunulmuş olmasına rağmen “adakit” terimi, ortaçtan felsiğe, yüksek Sr/Y ve La/Yb değerlerine sahip, volkanik yay altına dalmış okyanusal kabuğun bazaltik kesimlerinin erimesinden türeyen volkanik ve plütonik kayaları temsil eden bir terim olarak önerilmiştir (Castillo, 2012).

Çizelge 3.1’de adakitlerin başlıca jeokimyasal özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.1 : Adakitlerin başlıca jeokimyasal özellikleri (Castillo, 2006).

Karakteristikler	Ergiyen Dalan Dilimle Olan Bağlantısı
Yüksek SiO ₂ ($\geq$ %56)	Eklojit/granat amfibolitinin yüksek basınçta ergimesi
Yüksel Al ₂ O ₃ ($\geq$ %15)	$\sim$ % 70 SiO ₂ ’de eklojit veya amfibolitinin yüksek basınçta kısmi ergimesi
Düşük MgO (< %3)	Düşük Ni ile Co, eğer ilksel ergiyik, manto peridotitten türemiyorsa
Yüksek Sr (>300 ppm)	Plajioklasların ergimesi veya kalıntıda plajioklasın bulunmaması
Eu anomalisi yok	Ya çok az plajioklas kalıntısı ya da Eu’ca tüketilmiş kaynak basalt
Düşük Y (<15 ppm)	Kalıntı veya likit fazda granat indikatörü (hornblend veya klinopiroksenin daha az miktarı)
Yüksek Sr/Y (>20)	Normal kristal fraksiyonlanması tarafından üretilenden daha çok, kalıntı faz veya likit faz olarak garnet ve amfibol indikatörü
Düşük Yb (<1,9 ppm)	Düşük Ağır Nadir Toprak Elementi’nin anlamı; kalıntı veya likit faz olarak granat indikatörü

Adakitler kalkalkalendir, SiO₂ $\geq$ %56; Al₂O₃ $\geq$ %15; MgO < %3; Sr > 300 ppm; Y < 15 ppm; Sr/Y oranı > 20; Yb $\leq$ 1,9 ppm ve (La/Yb)_{kn} > 10’dur. Na₂O içeriği yüksektir (%3,5 $\leq$ Na₂O $\leq$ %7,5) ve K₂O/Na₂O oranları düşüktür ($\sim$ 0,42); Mg numarası 51’dir; Eu anomalisi yoktur; pozitif Sr anomalisi ; negatif Nb anomalisi; Zr ve Ti anomalisi çok küçük veya belirgin değildir; Sr içeriğinin yüksek olması adakitik magmanın tipik özelliğidir (Defant & Drummond, 1990; Martin, 1999; Castillo, 2006).

Jeokimyasal modelleme adakitlerin kaynağının ultramafik olamayacağını aksine bazaltik bileşimli olduğunu gösterir (Martin, 1986; Defant & Drummond, 1990; Knowles, 1995; Sajona, 1995; Maury ve diğ., 1996; Samaniego, 1997; Martin, 1999). Bu belirtiler adakitik magmaların bazaltik kaynağın erimesiyle garnet içeren amfibolit veya eklojite dönüştürmesiyle üretilir, öyle ki garnet $\pm$ hornblend kalıntı evre olabilir (Martin, 1999).

Adakitik magma, sadece dalma-batma zonlarında bulunur; erken kıtasal kabuk göstermiştir ki Arkeen genç kıtasal kabuğun kimyasal bileşimleri günümüzdeki eşitliğinden farklıdır: başlıca TTG (Tonalit, Trondjemit ve Granodiyorit) bileşimindedir; modern adakitler ile Arkeen tonalit, trondjemit ve granodiyoriti arasında çok güçlü benzerlikler vardır: aynı kaynak ve petrojenezle sahip olmakla birlikte Arkeen tonalit, trondjemit ve granodiyoritlerinde Mg, Ni ve Cr adakitlerden daha fakirdir, pozitif Sr ve Eu anomalisi yoktur (Martin, 1999).

Mg numaraları (3.1) no'lu denklem, Alüminyum doygunluk indeksi (3.2) numaralı denklem, $(La/Yb)_{kn}$ normalleştirilmiş kondrit oranı (3.3) numaralı denklem, Eu/Eu^* negatif Eu anomalisi (3.4) numaralı denklem Çizelge 3.2'deki değerler kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.2 : Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin toplam kaya kimyası analiz sonuçları.

Örnekler	C4a	C1b-ank	C1b-gd	C5b	C7	C11	C12a	C12b	C16b	C18
Kaya Tipi	Kuvarsdiyorit Porfir	Anklav	Granodiyorit	Granodiyorit	Granodiyorit	Aplit	Granodiyorit	Granodiyorit	Granodiyorit	Granodiyorit
SiO ₂	62,85	55,45	64,91	66,45	67,24	77,69	67,97	67,58	68,26	68,10
TiO ₂	0,57	1,19	0,51	0,44	0,41	0,12	0,42	0,37	0,42	0,45
Al ₂ O ₃	17,75	18,36	16,84	16,36	16,55	12,07	16,38	16,13	16,23	16,20
Fe ₂ O ₃	3,79	6,75	3,58	3,26	2,69	0,44	2,15	2,12	2,37	2,28
MnO	0,07	0,13	0,06	0,06	0,05	<0,01	0,03	0,04	0,04	0,03
MgO	2,52	3,57	2,04	1,93	1,58	0,04	1,75	1,57	1,52	1,60
CaO	5,25	6,06	4,51	4,26	3,94	0,56	3,60	3,69	3,02	3,14
Na ₂ O	5,28	5,68	5,15	4,80	5,14	3,26	5,12	5,20	4,92	5,00
K ₂ O	1,30	1,43	1,28	1,62	1,37	5,18	1,61	1,79	2,02	1,78
P ₂ O ₅	0,19	0,52	0,20	0,15	0,14	<0,01	0,12	0,12	0,10	0,15
LOI	0,2	0,6	0,7	0,5	0,7	0,5	0,6	1,2	0,9	1,1
Toplam	99,77	99,74	99,78	99,83	99,81	<99,88	99,75	99,81	99,80	99,83
Sc	8	14	7	7	5	1	4	5	5	5
Ni	20	<20	<20	<20	<20	<20	25	<20	<20	<20
Co	10,6	15,6	10,1	9,1	6,6	0,7	7,4	7,1	7,1	6,3
V	84	153	77	70	52	11	41	58	54	47
Cu	1,5	5,9	1,0	1,5	1,3	1,1	1,0	6,6	62,6	190,6
Zn	22	26	20	20	22	3	13	9	23	23
Cs	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	1,9	1,2	0,6	0,9	1,0
Rb	24,8	27,8	27,2	32,2	25,7	70,9	33,3	35,9	43,7	43,1
Ba	341	434	421	349	351	290	301	315	426	323
U	0,8	1,7	0,7	1,2	0,9	11,9	1,6	1,7	1,1	1,6
Th	2,9	4,0	4,1	4,7	3,0	19,6	5,7	4,8	5,2	7,0

Çizelge 3.2 (devam): Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin toplam kaya kimyası analiz sonuçları.

Örnekler	C4a	C1b-ank	C1b-gd	C5b	C7	C11	C12a	C12b	C16b	C18
Kaya Tipi	Kuvarsdiyorit Porfir	Anklav	Granodiyorit	Granodiyorit	Granodiyorit	Aplit	Granodiyorit	Granodiyorit	Granodiyorit	Granodiyorit
Pb	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4	1,5	0,9	1,5	0,7	0,6
Sr	822,1	719,4	900,7	632,5	632,7	72,6	702,6	578,1	596,2	780,1
Nb	9,0	25,0	10,1	9,5	9,5	22,8	10,7	9,4	12,5	13,1
Ta	0,5	1,4	0,6	0,7	0,7	4,6	0,9	1,0	1,1	0,9
Zr	125,4	189,2	139,5	101,8	112,7	171,9	331,0	103,4	128,9	185,6
Hf	3	4,6	3,5	2,5	2,8	6,6	8,1	2,8	3,3	4,8
Y	9,6	25,7	10,2	9	8,3	10,3	8,4	7,7	5,3	7,3
Ga	17,1	18,6	15,6	15,4	15,3	11,8	15,2	15,3	15,1	15,5
Cr ₂ O ₃	0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	0,004	<0,002	0,002	0,004
La	17,6	44	23,3	20,7	17,7	13,4	20,4	15	16,6	20,6
Ce	30,9	84,3	40,9	32,4	30,9	24,2	34,1	27,8	26,2	35,5
Pr	3,67	10,75	4,59	3,65	3,62	2,64	3,83	3,42	2,91	3,98
Nd	13,8	41,2	17,7	13,2	13,5	8,9	14,7	12,7	10,6	14,1
Sm	2,56	7,8	3,05	2,28	2,38	1,56	2,4	2,18	1,73	2,58
Eu	0,78	1,45	0,8	0,71	0,69	0,24	0,62	0,62	0,63	0,64
Gd	2,37	6,5	2,63	2,01	1,92	1,37	2	1,85	1,4	1,94
Tb	0,33	0,92	0,34	0,26	0,28	0,24	0,29	0,27	0,19	0,27
Dy	1,77	4,93	1,91	1,53	1,41	1,52	1,52	1,37	1,07	1,37
Ho	0,34	0,92	0,36	0,27	0,28	0,33	0,31	0,28	0,21	0,24
Er	0,95	2,48	1,05	0,86	0,76	1,04	0,84	0,8	0,59	0,66
Tm	0,14	0,37	0,14	0,13	0,12	0,18	0,13	0,11	0,09	0,1
K ₂ O/Na ₂ O	0,25	0,25	0,25	0,34	0,27	1,59	0,31	0,34	0,41	0,36

Çizelge 3.2 (devam): Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin toplam kaya kimyası analiz sonuçları.

Örnekler	C4a	C1b-ank	C1b-gd	C5b	C7	C11	C12a	C12b	C16b	C18
Kaya Tipi	Kuvarsdiyorit Porfir	Anklav	Granodiyorit	Granodiyorit	Granodiyorit	Aplit	Granodiyorit	Granodiyorit	Granodiyorit	Granodiyorit
Yb	0,91	2,48	0,95	0,79	0,76	1,54	0,9	0,8	0,56	0,73
Lu	0,14	0,36	0,14	0,12	0,12	0,23	0,15	0,12	0,09	0,1
Mg#	56,81	51,14	52,99	53,90	53,75	15,23	61,68	59,46	55,92	58,14
ASI	0,90	0,84	0,93	0,94	0,97	1,02	0,98	0,94	1,04	1,02
(La/Yb) _{kn}	13,03	11,96	16,53	17,67	15,70	10,05	15,28	12,64	19,98	19,02
Eu/Eu*	0,97	0,62	0,86	1,01	0,99	0,50	0,87	0,94	1,24	0,87

Mg# = $100 * (\text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO}_{\text{tot}}))$ molar oranlar, ASI : Alüminyum Doygunluk İndeksi = $\text{Molar Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$,
 (La/Yb)_{kn} = Normalleştirilmiş kondrit oranı, ana oksitler yüzde ağırlık yüzdesi, iz elementler ise ppm cinsinden ifade edilmektedir.

$$Mg\# = 100 * \frac{\frac{(MgO \text{ Ağırlık Yüzdesi})}{(MgO \text{ Molekül Ağırlığı})}}{\frac{(MgO \text{ Ağırlık Yüzdesi})}{(MgO \text{ Molekül Ağırlığı})} + \frac{(Fe_2O_3 / 1,11)}{(FeO \text{ Molekül Ağırlığı})}} \quad (3.1)$$

MgO Molekül Ağırlığı = 40,3044

FeO Molekül Ağırlığı = 71,8444

$$ASI \text{ İndeksi} = \frac{\frac{(Al_2O_3 \text{ Ağırlık Yüzdesi})}{(Al_2O_3 \text{ Molekül Ağırlığı})}}{\frac{(K_2O \text{ Ağırlık Yüzdesi})}{(K_2O \text{ Molekül Ağırlığı})} + \frac{(Na_2O \text{ Ağırlık Yüzdesi})}{(Na_2O \text{ Molekül Ağırlığı})} + \frac{(CaO \text{ Ağırlık Yüzdesi})}{(CaO \text{ Molekül Ağırlığı})}} \quad (3.2)$$

Al₂O₃ Molekül Ağırlığı = 101,9613

K₂O Molekül Ağırlığı = 94,196

Na₂O Molekül Ağırlığı = 61,9789

CaO Molekül Ağırlığı = 56,0774

$$\left(\frac{La}{Yb}\right)_{kn} = \frac{\frac{(La \text{ ppm örnek})}{(La \text{ ppm kondrit})}}{\frac{(Yb \text{ ppm örnek})}{(Yb \text{ ppm kondrit})}} \quad (3.3)$$

La ppm kondrit = 0,310 (Boynton, 1984)

Yb ppm kondrit = 0,209 (Boynton, 1984)

$$\frac{Eu}{Eu^*} = \frac{EuN}{\sqrt{SmN * GdN}} = \frac{\frac{Eu}{Eu \text{ kondrit}}}{\sqrt{\frac{Sm \text{ örnek} * Gd \text{ örnek}}{Sm \text{ kondrit} * Gd \text{ kondrit}}}} \quad (3.4)$$

Eu kondrit = 0,0735 (Boynton, 1984)

Sm kondrit = 0,195 (Boynton, 1984)

Gd kondrit = 0,259 (Boynton, 1984)

3.1 Granodiyoritler

Granodiyoritler dar aralıkta, değişen bir kimyasal bileşime sahiptir:

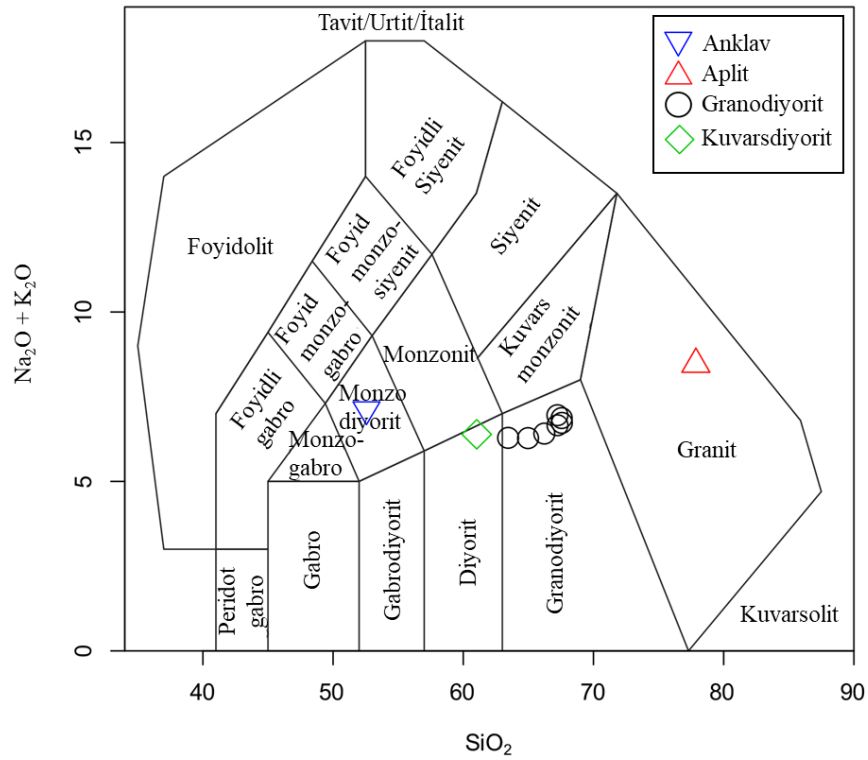
Granodiyorit kalkalkalen, SiO₂ ≥ %56 (64,91 – 68,26), Al₂O₃ ≥ %15 (16,13 – 16,84),

MgO < %3 (1,52 – 2,04), %3,5 ≤ Na₂O ≤ %7,5 (4,80 – 5,20), Sr > 300 ppm (578,10 – 900,70 ppm), Y < 15 ppm (5,30 – 10,20 ppm), Sr/Y > 20 (70,2 – 112,49),

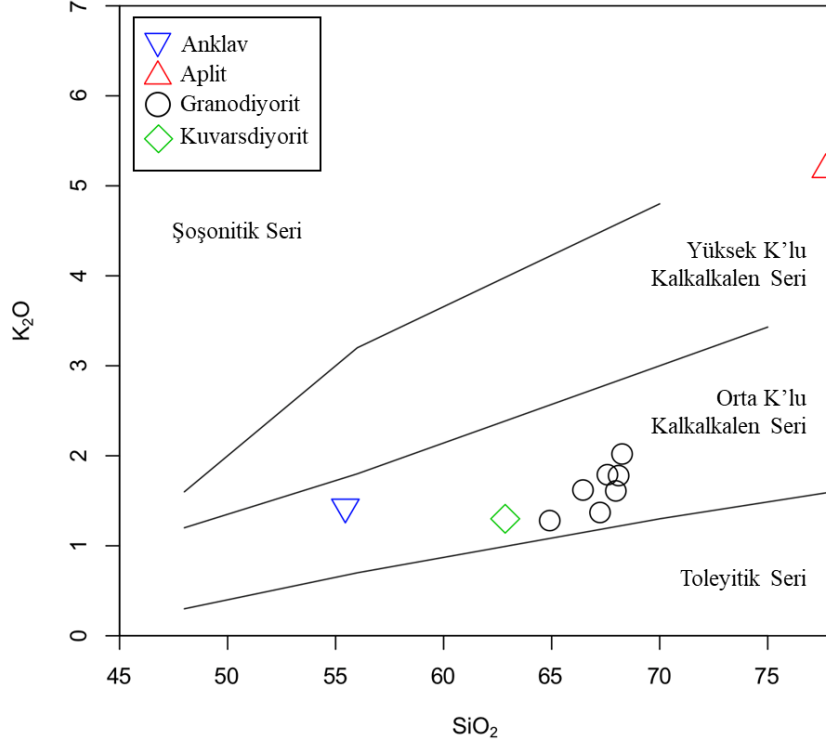
$(La/Yb)_{kn} > 10$ (12,64 – 19,98 ppm) ve $Yb \leq 1,9$ ppm (0,56 – 0,95) ppm'dir. Belirgin pozitif Sr anomalisi, negatif Nb anomalisi ve Eu anomalisinin belirgin olmamasıyla adakitik kayalarla benzer.

Adakitik kayaların aksine granodiyoritlerde Mg numarası 51'den büyüktür (52,99 - 61,68); K_2O/Na_2O oranı 0,42'den küçüktür (0,25 – 0,41); pozitif Zr ve negatif Ti anomalisi görülür.

Alüminyum Doygunluk İndeksi (ASI) 0,93 ile 1,04 arasındadır, 1,1'den küçük olduğu için I-tipi granittir (Yılmaz ve diğ., 2007). Eu/Eu^* değerleri 0,86 ile 1,24 arasındadır. Granodiyorit numuneleri, $Na_2O + SiO_2$ TAS diyagramında granodiyorit bölgesinde konumlanmıştır (Şekil 3.1). SiO_2 ve K_2O içeriklerine göre orta K'lu kalkalkalen seriye aittir (Şekil 3.2). Kalkalkalen seri, dalma-batma zonlarında görülür.

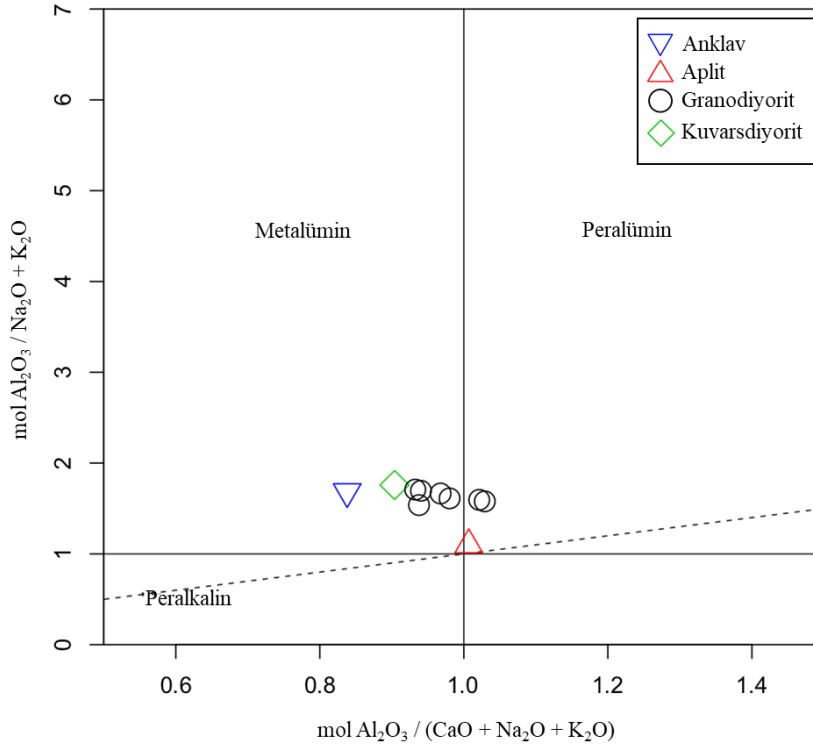


Şekil 3.1 : Çavuşbaşı granodiyoritinin toplam alkalilere karşı silika (TAS) diyagramındaki konumları (Middlemost, 1994).



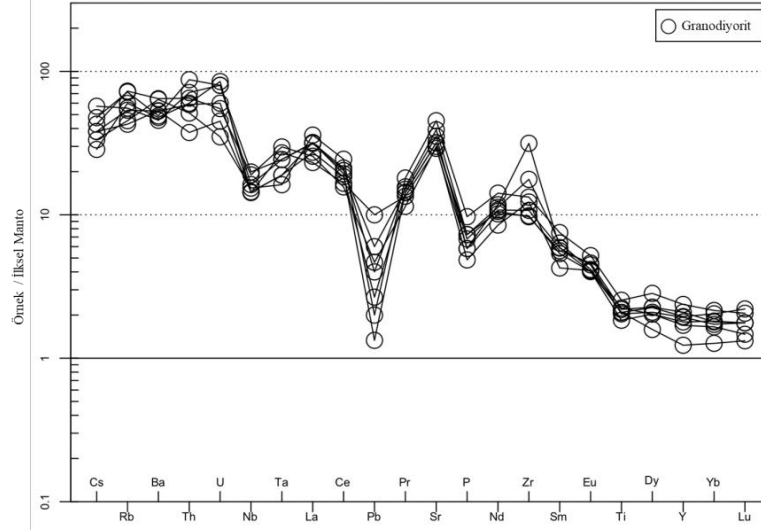
Şekil 3.2 : SiO₂-K₂O (Peccerillo ve Taylor, 1976) diyagramı.

Moleküler ($\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Na}_2\text{O} + \text{Ca}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 0,8 ile 1,03 arasındadır. Buna göre granodiyorit örnekleri metaluminden peralümine geçişli özellikler sunar (Şekil 3.3).



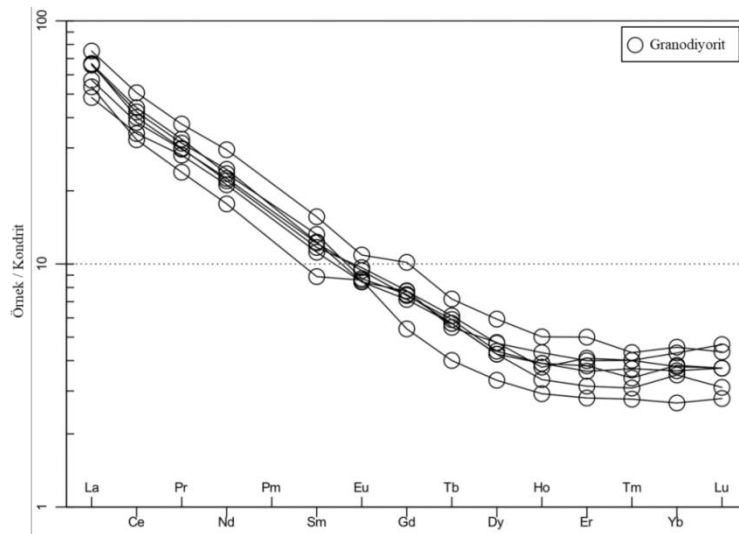
Şekil 3.3 : A/CNK-A/NK diyagramı (Shand, 1943).

Normlaştırma değerleri (McDonough ve Sun, 1995)'ten alınmıştır. İlkse mantoya göre normlaştırılmış örümcek diyagramlarında, granodiyorit örnekleri negatif Nb, Pb, P ve Ti anomalileri sunarlar. Buna karşılık U, Sr ve Zr pozitif anomali sunarlar (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : İlkse manto normlaştırılmış örümcek diyagramı (McDonough ve Sun, 1995).

Granodiyorit örneklerinin kondrite göre normlaştırılmış nadir toprak element desenleri Boynton (1984)'e göre (Şekil 3.5). Eu anomalisi yok veya hafif belirgindir. Orta nadir toprak elementleri ağır nadir toprak elementlerine göre çok az kesirlenme sunarlar. Bu özellikler, kaynak alanda granat ve hornblend varlığına işaret eder.



Şekil 3.5 : Granodiyorit örneklerinin kondrite göre normlaştırılmış örümcek diyagramı (Boynton, 1984).

3.2 Kuvarsdiyorit Porfir

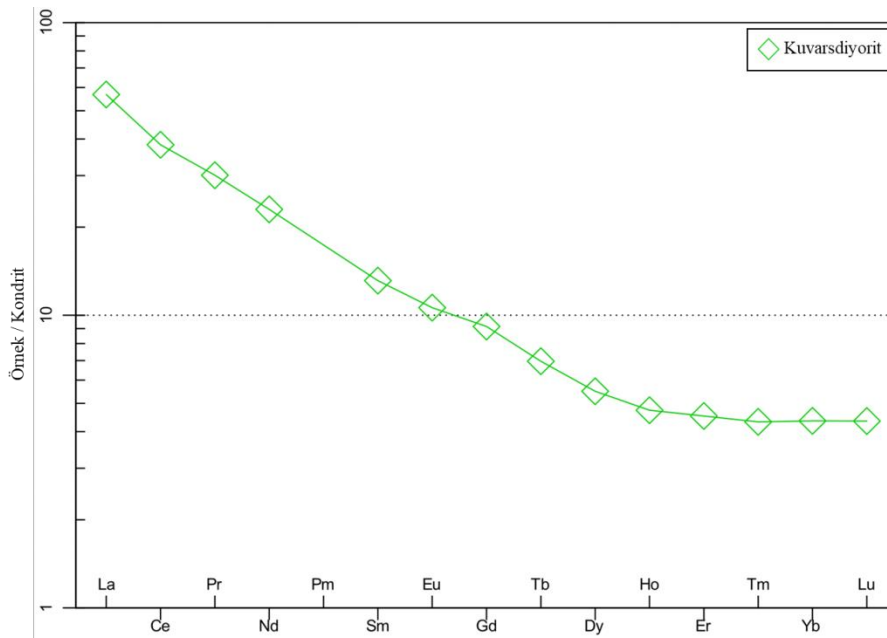
Kuvarsdiyorit porfir kalkalkalen, $\text{SiO}_2 \geq \%56$ (62,85); $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq \%15$ (17,75); $\text{MgO} < \%3$ (2,52); $\%3,5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq \%7,5$ (5,28); $\text{Sr} > 300$ ppm (822,10 ppm), $\text{Y} < 15$ ppm (9,60 ppm), $\text{Sr}/\text{Y} > 20$ (85,60), $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{kn}} > 10$ (13,03 ppm) ve $\text{Yb} \leq 1,9$ ppm (0,91) ppm'dir (Çizelge 4.1), bu özellikleriyle birlikte Eu anomalisinin belirgin olmamasıyla adakitik kayalara benzer. Nadir toprak element desenleri birlikte bulundukları granodiyoritlere benzemektedir.

Adakitik kayaların aksine kuvarsdiyoritte Mg numarası 51'den büyüktür (56,81); $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ oranı 0,42'den küçüktür (0,25).

Alüminyum doygunluk indeksi (ASI) 0,90'dır. Eu/Eu^* değeri 0,97'dir.

Kuvarsdiyorit porfir, TAS diyagramında diyorit bölgesinde konumlanmaktadır (Şekil 3.1), SiO_2 'ye göre ve K_2O içeriklerine göre kuvarsdiyorit porfire ait örnek, orta K'lu kalkalkalen seriyeye aittir (Şekil 3.2). Metalümin karakterlidir (Şekil 3.3).

İngilizce'de örümcek ağından esinlenerek spider diyagramı denilen diyagramlarla iz element analizi yapılırken, iz elementler apsiste; normalize değerler (örnekteki değer ile kondrit değerinin oranı) ordinatta yer alır (Url-4). Eu anomali hemen hemen belirgin değildir (Şekil.3.6).



Şekil 3.6 : Kuvarsdiyorit porfir örneğinin kondrite göre normlaştırılmış örümcek diyagramı (Boynton, 1984).

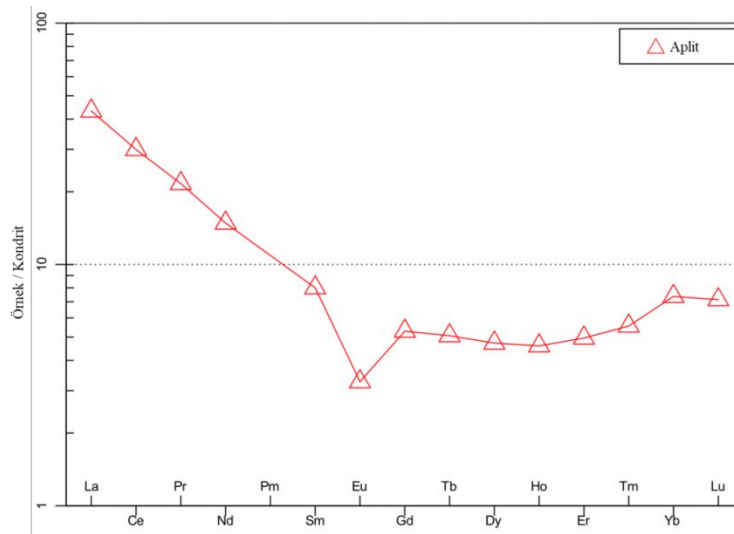
3.3 Aplrit

Aplrit numunesinde SiO_2 içeriğinin % 77,69 olması lökokrat (açık renkli) bir damar kayacı olduğunu göstermektedir.

Aplrit kalkalkalen, $\text{SiO}_2 \geq \%56$ (77,69), $\text{MgO} < \%3$ (0,04), $\text{Y} < 15$ ppm (10,30 ppm), $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{kn}} > 10$ (10,05 ppm) ve $\text{Yb} \leq 1,9$ ppm (1,54) değerleriyle adakitik kayalara benzese de $\text{Al}_2\text{O}_3 < \%15$ (12,07); $\text{Na}_2\text{O} < \%3,5$ (3,26); $\text{Sr} < 300$ ppm (72,60 ppm), $\text{Sr}/\text{Y} < 20$ (7,04), Mg numarası 51'den küçüktür (15,23); $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ oranı 0,42'den büyüktür (1,59) (Çizelge 4.1) ve negatif Eu anomalisi adakitik kayalardan ayrılır.

Alüminyum doygunluk indeksi (ASI) 1,02'dir. Eu/Eu^* değeri 0,50'dir.

Aplrit numunesi, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ TAS (Middlemost, 1994) diyagramında granit bölgesinde konumlandı (Şekil 3.1). SiO_2 'ye göre ve K_2O içeriklerine göre aplite ait örnek, yüksek K'lu kalkalkalen seriye aittir (Şekil 3.2). Metalümin-peralümin karakterlidir (Şekil3.3). Negatif Eu anomalisi göstermektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.7 : Aplrit örneğinin kondrite göre normlaştırılmış örümcek diyagramı (Boynton, 1984).

Magmanın son evresinde oluşan aplrit numunesi, granitik bileşimiyle inceleme alanındaki en yüksek (%77,69) SiO_2 ve en yüksek K_2O (%5,18) değerlerine sahiptir. Aynı zamanda inceleme alanındaki en düşük Fe_2O_3 (%0,44), en düşük MgO (%0,04) ve en düşük CaO (0,56) değerlerine sahip olması ile üst kabuktan türemiş magmalara benzemektedir. Düşük Na_2O (%3,26), düşük Sr değeri (72,6 ppm), düşük Sr/Y oranı (7,04) ve negatif Eu anomalisi ile adakitik kayalardan ayrılmaktadır.

3.4 Anklav

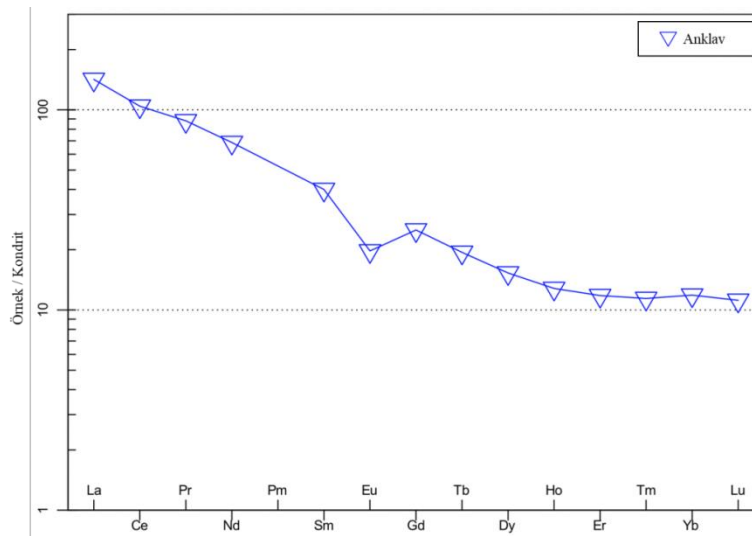
Anklav kalkalkalen, $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq \%15$ (18,36), $\%3,5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq \%7,5$ (5,68), $\text{Sr} > 300$ ppm (719,40 ppm), $\text{Sr}/\text{Y} > 20$ (27,99), $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{kn}} > 10$ (11,96 ppm), Mg numarası 51,14 değerleriyle adakitik kayalara benzerken, $\text{SiO}_2 < \%56$ (55,45); $\text{Al}_2\text{O}_3 > 15$ (18,36); $\text{MgO} > \%3$ (3,57); $\text{Y} > 15$ ppm (25,7); $\text{Yb} > 1,9$ ppm (2,48); $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ oranı 0,42'den küçüktür (0,25) (Çizelge 4.2) ve negatif Eu anomalisi adakitik kayalardan ayrılır.

Alüminyum Doygunluk İndeksi (ASI) 0,84; Eu/Eu^* değeri 0,62'dir.

Aplit numunesi, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ TAS (Middlemost, 1994) diyagramında monzodiyorit bölgesinde konumlanmıştır (Şekil 3.1).

SiO_2 'ye göre ve K_2O içeriklerine göre anklav örneği, orta K'lu kalkalkalen seriye aittir (Şekil 3.2). Metalümin karakterlidir (Şekil3.3).

Anklav örneğinin kondrite göre normlaştırılmış örümcek diyagramında negatif Eu anomalisi görülmektedir (Şekil 3.8).

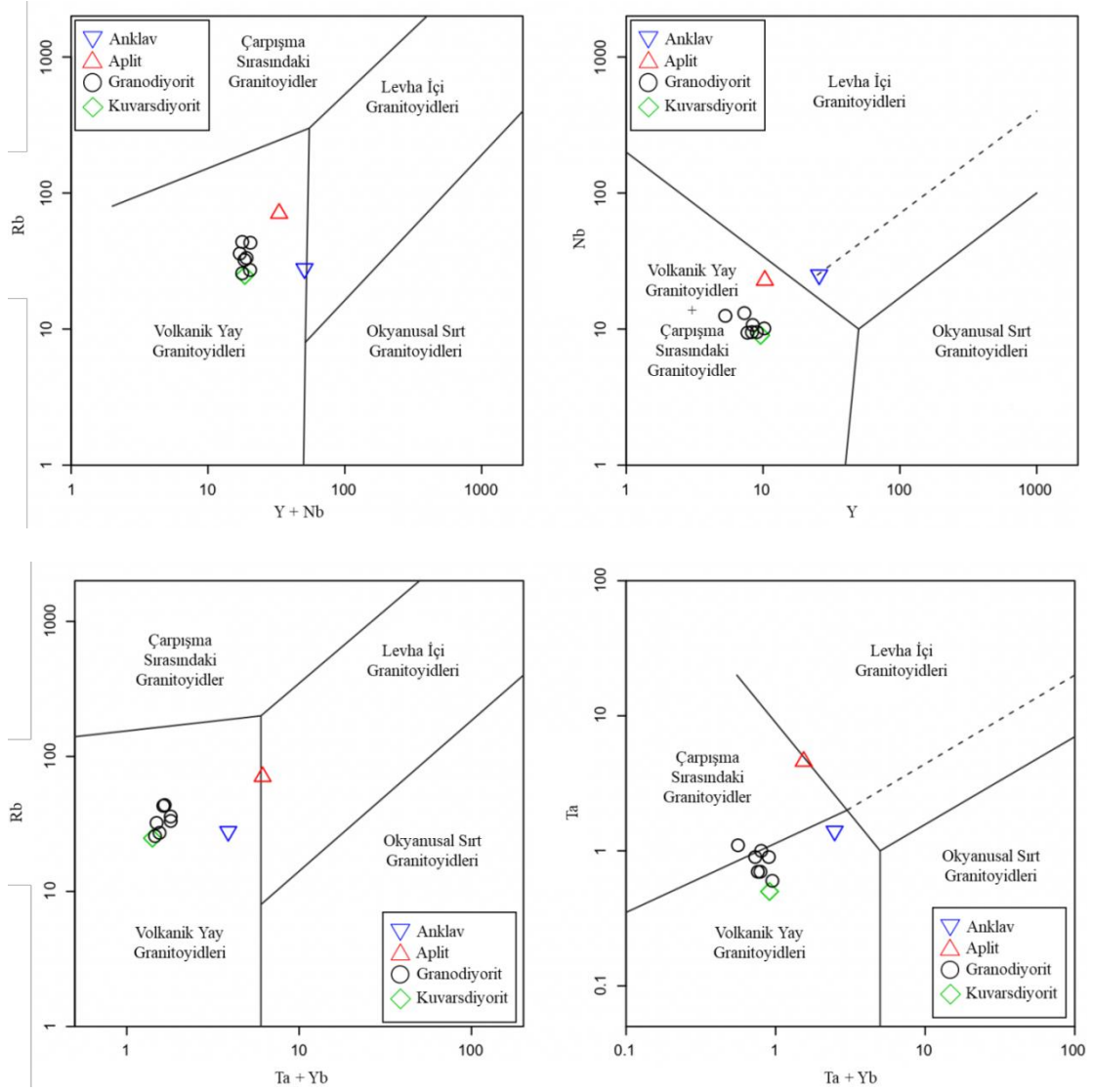


Şekil 3.8 : Anklav örneğinin kondrite göre normlaştırılmış örümcek diyagramı (Boynton, 1984).

Anklav numunesi, (%55,45) SiO_2 oranıyla inceleme alanındaki en mafik üyedir. Ağır nadir toprak elementleri adakitlere göre daha yüksektir: Yb değeri 2,48 ppm; Y değeri 25,7 ppm'dir. Sr/Y oranı (27,99) adakitlere göre düşüktür ve negatif Eu anomalisi ile adakitik kayalardan ayrılmaktadır. Fe_2O_3 (%6,75); MgO (%3,57) ve CaO (%6,06) açısından granodiyorit, kuvarsdiyorit ve aplitlerden yüksek olması ile mantodan türemiş mafik magmalara benzemektedir.

4. GRANODİYORİTLERİN TEKTONİK AYRIMI

Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin jeotektonik ortamını belirleyebilmek için “Granitin Kökensel Ayrım Diyagramı” kullanılmıştır (Pearce ve diğ., 1984) (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Granitin kökensel ayrım diyagramı (Pearce ve diğ., 1984).

Rb'un, Y ve Nb toplamına oranlandığı ve Rb'un, Ta ve Yb toplamına oranlandığı diyagramda diyagramda, granodiyorit ve kuvarsdiyorit numuneleri volkanik yay granitoidleri bölgesinde bulunmaktadır.

Nb'un Y'a oranını gösteren diyagramda, granodiyorit ve kuvarsdiyorit numuneleri volkanik yay granitoyidleri ile çarpışma ile eş yaşı granitoyidler bölgesinde kalmaktadır.

Ta'ın Ta ile Yb toplamına oranına bakıldığında granodiyorit numunelerinin birden fazlası çarpışma ile eş yaşı granitoyidlere dahilken; diğer granodiyorit ve kuvarsdiyorit numuneleri volkanik yay granitoyidleri bölgesinde yer almaktadır.

Diyagramlar granodiyorit ve kuvarsdiyoritin çarpışma ile eş yaşı, volkanik ada yayı granitoyidleri olduğunu göstermektedir. Üst Kretase yaşındaki Granodiyorit sokulumu, kuzeye dalan Neo-Tetis okyanus litosferi üzerinde gelişmiş Pontid ada yayının bir parçasıdır (Şengör & Yılmaz, 1981; Okay & Tüysüz, 1999; Özgörüş & Okay, 2005).

5. JEOKRONOLOJİ

İzotop verileriyle yapılan çalışmalar, granit minerallerinin katılma yaşı ve granitin oluşum plato yaşını vermektedir (Yılmaz, 2008). Çavuşbaşı granodiyoritinin yerleşim yaşını saptamak için, Karanlıkdere'den zirkon analizi için sağlam bir granodiyorit numunesi (C1A) alınıp zirkonlar ayırtlandı. Göteborg Üniversitesi Yer Bilimleri Enstitüsü'nde, Lazer ablasyon (LA) ICP-MS cihazıyla U-Pb yaş tayini yapıldı. Yapılan uygulama "Analitik Yöntemler" bölümünde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

C1A örneği orta tane boylu bir granodiyorit olup, başlıca plajiolas, kuvars, K-feldspat, biyotit ve hornblendden oluşmaktadır. Zirkon ve apatit tali mineralleri oluşturmaktadır. Zirkonlar genel itibarı ile prizmatiktir. Yapılarından salınımlı zonlanma sunmaktadır. U ve Th içerikleri sırasıyla 346-1257 ve 244-1170 arasındadır. Th/U oranları ise 0,39-1,05 arasındadır. Bu oranlar ise magmatik zirkonlar için karakteristiktir.

Toplam 9 zirkon tanesi incelenmiştir ve 328 - 347 My (Paleozoyik) yaşları arasında bir kalıntı zirkon tanesine rastlanmıştır.

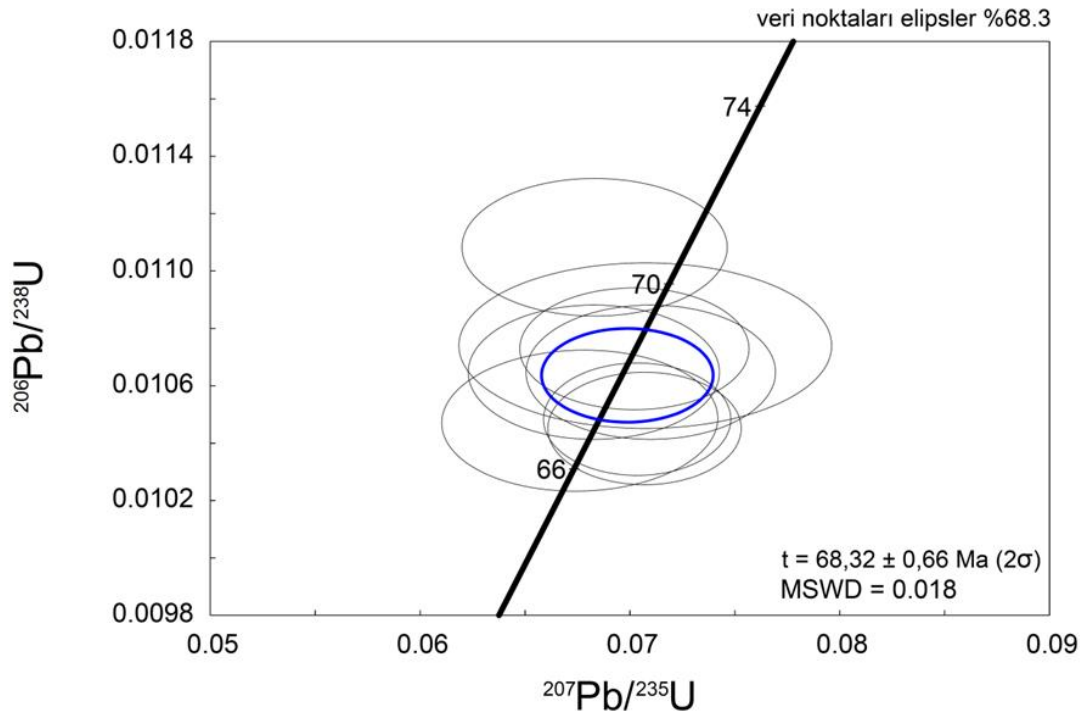
Sekiz zirkon tanesi konkordiya diyagramında ortalama $68,32 \pm 0,66$ My (2σ) yaş değerindedir. Bu değer, granit minerallerinin kristallenme ve magmanın katılma yaşlarını verir; bulunan mineral yaşları, granitin evrimi konusunda ayrıntılı bilgiler sağlar (Jung, 2005, Jung ve diğ., 2006; Yılmaz, 2008). Zirkonların magmadan büyümüş olmalarını dikkate alarak bu yaş değeri Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin oluşum yaşı olarak yorumlandı. Bu yaş değeri, Şahin ve diğ. (2012) tarafından 2 farklı granodiyorit numunesinin zirkon taneleri üzerinde yapılan U-Pb yaş tayininde bulunan $67,59 \pm 0,5$ My (2σ) ve $67,91 \pm 0,63$ My (2σ) yaş değerleri ile örtüşmektedir. Dolayısıyla Çavuşbaşı Granodiyoriti Üst Kretase'nin sonuna doğru, Maastrichtiyen'de yerleşmiştir.

Daha önce yapılan jeokronolojik yaş tayinleri:

Bürküt (1966), Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin mutlak yaşını, biyotitler üzerinde K / Ar yöntemiyle $87,30 \pm 3$ milyon yıl olarak; Öztunalı ve Satır (1975), biyotitler üzerinde

Rb / Sr izotoplarına göre yaptıkları ölçüm ve hesaplarla 60 ± 13 milyon yıl ile 65 ± 10 milyon yıl olarak hesaplamışlardır.

Şahin ve diğ., (2010) Çavuşbaşı Granodiyoriti'nin yaşını SHRIMP zirkon U-Pb yaş tayiniyle $67,75 \pm 0,59$ milyon yıl; Şahin ve diğ. (2012) SHRIMP-II zirkon U-Pb yaş tayiniyle $67,59 \pm 0,50$ milyon yıl ve $67,91 \pm 0,63$ milyon yıl olarak tespit etmişlerdir. Çizelge 5.1'de C1A granodiyorit örneğinden seçilen zirkonlara ait U-Pb izotopik verileri görülmektedir. Bu veriler kullanılarak Şekil 5.1'de bulunan U-Pb konkordiya diyagramı elde edilmiştir.



Şekil 5.1 : U-Pb konkordiya diyagramı.

Çizelge 5.1 : C1A granodiyorit örneğinden seçilen zirkonlara ilişkin U-Pb izotopik veriler.

Örnek	Örnek No	Lazer Işın Çapı (µm)	U ppm	Th ppm	Th/U	Oran			Oran			Özdirenç, Ω	Oran			Yaş		Yaş	
						206/204	207/235	1σ	206/238	1σ			207/206	1σ		207/235	1σ	206/238	1σ
C1A	1	30	556	414	0,74	38,33500	0,07317	0,00256	0,01108	0,00043	0,62177	0,0479	0,0016	72	2	71	3		
C1A	2	30	620	433	0,70	51,80889	0,07104	0,00252	0,01085	0,00045	0,59571	0,0475	0,0017	70	2	70	3		
C1A	3	30	346	244	0,70	29,57890	0,06643	0,00298	0,01102	0,00050	0,49005	0,0437	0,0020	65	3	71	3		
C1A	4	30	663	502	0,76	58,10608	0,07242	0,00223	0,01084	0,00041	0,70113	0,0484	0,0013	71	2	69	3		
C1A	5	30	1119	1041	0,93	80,19459	0,06804	0,00219	0,01016	0,00040	0,67534	0,0485	0,0014	67	2	65	3		
C1A	6	30	1115	1170	1,05	81,87676	0,06751	0,00221	0,01050	0,00042	0,66481	0,0466	0,0014	66	2	67	3		
C1A	7	30	1246	1155	0,93	98,39096	0,07012	0,00296	0,01052	0,00051	0,58298	0,0483	0,0020	69	3	67	3		
C1A	8	30	552	388	0,70	37,58045	0,06737	0,00240	0,01034	0,00042	0,60833	0,0472	0,0016	66	2	66	3		
C1A	9	30	1257	490	0,39	438,76983	0,40720	0,01212	0,05216	0,00218	0,76375	0,0566	0,0015	347	9	328	13		

6. SONUÇLAR

Çavuşbaşı Granodiyoriti, bir granodiyorit sokulumu olup yer yer kuvarsdiyorit porfirlere geçiş yapmaktadır. Mafik magmatik anklavlar içermekte, aplit ve pegmatit damarları ile dayklar tarafından kesilmektedir.

Bu plüton, sedimenter kayalardan oluşan İstanbul Paleozoyiğinin en yaşlı üyelerinden biri olan Kurtköy Formasyonu içerisine Maastrichtiyen'de ($68,32 \pm 0,66$ My) sokulum yapmıştır.

Orta K'lu, kalkalkalen, genellikle metalümin az oranda peralümin nitelikte olup I-tipi bir granittir.

Granodiyorit numuneleri belirgin adakitik magma özellikleri taşımaktadır: Kalkalkalen, SiO_2 oranı %56'dan fazla ($64,91 - 68,26$); $\%3,5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq \%7,5$ ($4,80 - 5,20$); yüksek Sr oranı ($578,10 - 900,70$ ppm); yüksek Sr/Y oranı ($70,2 - 112,49$); karakteristik hafif nadir toprak element modeli, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{kn}} > 10$ 'dur ($12,64 - 19,98$ ppm). Ağır nadir toprak elementleri çok düşüktür: $\text{Yb} \leq 1,9$ ppm'dir ($0,56 - 0,95$ ppm), $\text{Y} \leq 15$ ppm ($5,30 - 10,20$ ppm). Negatif Nb anomalisi, belirgin pozitif Sr anomalisi ve Eu anomalisinin belirgin olmamasıyla karakteristiktir.

Kuvarsdiyorit numuneleri belirgin adakitik magma özellikleri taşımaktadır: Kalkalkalen, SiO_2 oranı %56'dan fazla ($\%62,85$); Na_2O oranı $\%3,5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq \%7,5$ ($\%5,28$); $822,10$ ppm olan yüksek Sr değeri; yüksek Sr/Y oranı ($\%85,6$); karakteristik hafif nadir toprak element modeli; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{kn}} > 10$ 'dur ($13,03$ ppm). Ağır nadir toprak elementleri çok düşüktür: $\text{Yb} \leq 1,9$ ppm'dir ($0,91$ ppm) ve $\text{Y} \leq 15$ ppm'dir ($9,6$ ppm). Eu anomalisinin belirgin olmamasıyla karakteristiktir.

Çavuşbaşı granodiyoritinin ana gövdesini oluşturan granodiyorit ve kuvarsdiyorit bileşimli adakitik magma, batan okyanusal levhanın kısmi ergimesi ile yani Üst Kretase'de İntrapontid ya da İzmir-Ankara- Erzincan Kenedi boyunca kuzeye dalan Neotetis okyanusal diliminin kısmi ergimesi ile oluşmuştur.

Magmanın son evresinde oluşan aplit numunesi, düşük Na_2O ($\%3,26$), düşük Sr değeri ($72,6$ ppm), düşük Sr/Y oranı ($7,04$) ve negatif Eu anomalisi ile adakitik

kayaçlardan ayrılmaktadır. Granitik bileşimiyle inceleme alanındaki en yüksek SiO₂ (%77,69) ve en yüksek K₂O (%5,18) değerlerine sahiptir. Aynı zamanda inceleme alanındaki en düşük FeO (%0,44), en düşük MgO (%0,04) ve en düşük CaO (0,56) değerlerine sahip olması üst kabuktan türemiş magmalara benzemektedir.

Anklav numunesi, SiO₂ (%55,45) oranıyla inceleme alanındaki en mafik üyedir. Ağır nadir toprak elementleri adakitlere göre daha yüksektir: Yb değeri 2,48 ppm; Y değeri 25,7 ppm'dir. Sr/Y oranı (27,99) adakitlere göre düşüktür ve negatif Eu anomalisi ile adakitik kayaçlardan ayrılmaktadır. Fe₂O₃ (%6,75); MgO (%3,57) ve CaO (%6,06) açısından granodiyorit, kuvarsdiyorit ve aplitlerden yüksek olması ile mantodan türemiş mafik magmalara benzemektedir.

Farklı magma bileşenlerinin magma mingling ile oluşturduğu akma bantları ile felsik granitoidler içerisinde bulunan mafik magmatik anklavlar bulunmaktadır.

Daykların bir kısmında kısmen soğuma kenarı ve pişme dokanağı görülmektedir. Çavuşbaşı Granodiyoriti'ni kesen dayklar Üst Kretase – Paleosen döneminde Karadeniz'in açılımı sırasında volkanik yayın riftleşmesi ile oluşmuştur (Aysal ve diğ., 2017).

Sonuç olarak, Çavuşbaşı Granodiyoriti Üst Kretase'de, Neotetis Okyanusu'nun İntrapontid ya da İzmir-Ankara- Erzincan Kenedi boyunca kuzeye doğru dalma-batması ile yitilerek kısmi ergimesiyle Pontid ada yayında, farklı magma kaynaklarından türeyerek gelişmiştir.

KAYNAKLAR

- Akın, U., Çiftçi, Y.** (2011). Türkiye'nin Yapısal Süreksizlikleri: Jeolojik-Jeofizik (Gravite ve Manyetik) Analiz. *MTA-Ankara*.
- Arıç (Sayar), C.,** (1955). İstanbul Paleozoik arazisinde bulunan oolitli ve fosilli demir madeni. *İTÜ Derg. 11, 3-4, 67, 68. L. T, İstanbul*.
- Aysal, N., Keskin, M., Peytcheva, I., & Duru, O.** (2017). Geochronology, geochemistry and isotope systematics of a mafic–intermediate dyke complex in the İstanbul Zone. New constraints on the evolution of the Black Sea in NW Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 464. doi:10.1144/sp464.4
- Aysal, N., Keskin, M., Peytcheva, I., Duru, O.** (2017). İstanbul Zonu'nu kesen Mafik - Ortaç dayk kompleksinin Jeokronolojisi, Jeokimyası, izotop sistematığı ve Batı Karadeniz'in evrimi açısından önemi. *İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu V.ss.138-140*
- Boynton, W. V.** (1984). Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: *Henderson, P., (Ed.), REE Geochemistry, Elsevier, Amsterdam, pp. 63-114.*
- Bürküt, Y.** (1966). Kuzey Batı Anadolu'da Yeralan Plütonların Mukayeseli Jenetik Etüdü. *İTÜ Maden Fakültesi Doktora Tezi. İSTANBUL Teknik Üniversite Matbaası Gümüşsuyu - 1966.*
- Castillo, P. R., Janney, P. E., Solidum, R. U.** (1999). Petrology and geo-chemistry of Camiguin Island, southern Philippines: Insights to the source of adakites and other lavas in a complex arc setting. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v 39, p. 204-222.
- Castillo, P. R.,** (2006). An Overview of adakite petrogenesis. *Chinese Science Bulletin* p. 257-268.
- Castillo, P. R.,** (2012). Adakite petrogenesis. *Lithos 134-135 (2012) 304-316.*
- Çelebi, D., Köprübaşı, N.** (2007). Kefken-Kerpe dolayında (Kocaeli) yüzeylenen volkanik kayaların jeokimyasal karakteristikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 50(1), 17-26.
- Defant, M. J., Drummond, M. S.,** (1990). Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature* 347, 662-665.
- Demir, T.** (2010). Almacık Dağı Eosen yaşlı volkaniklerin paleomanyetik çalışmalarla incelenmesi. *İTÜ Avrasya yer bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 2010 Haziran.*
- Erkan, Y.,** (2013). *Magmatik Petrografi. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: Yayın No:93.*
- Görür, N., Şengör, A. M. C., Akkök, R., Yılmaz, Y.** (1983). Pontidler'de Neo-Tetis'in kuzey kolunun açılmasına ilişkin sedimentolojik veriler. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, V. 26, 11-20, Şubat 1983.*
- Gill, R.,** (2010). IGNEOUS ROCKS AND PROCESSES a practical guide. *WILEY-BLACKWELL.*
- Huppert, H. E., Sparks, R. S. J.** (1989). Chilled margins in igneous rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 92 (1989) 397-405.

- Jerram, D. & Petford, N.** (2011). The Field Description of Igneous Rocks. *Wiley-Blackwell. A John Wiley&Sons, Ltd, Publicationı*
- Jung, S.** (2005). Isotopic equilibrium/disequilibrium in granites, metasedimentary rocks and migmatites (damara orogen, namibia)—a consequence of polymetamorphism and melting. *Lithos*, 84(3-4), 168-184. doi:10.1016/j.lithos.2005.03.013
- Ketin, İ.** (1941). Das granitmassiv westlich von alemdağ [the granite massif west of alemdağ]. *İstanbul University Institute of Geology Publications*, 7.
- Ketin, İ.** (1983). Türkiye jeolojisine genel bir bakış. İTÜ Vakfı.
- Martin, H.,** (1986). Effect of steeper Archaean geothermal gradient on geochemistry of subduction-zone magmas. *Geology* 14, 753-756.
- Martin, H.,** (1999). Adakitic magmas: Modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos*, v. 46, p. 411-429.
- McDonough, W. F., Sun, S.** (1995). Composition of The Earth. *Chemical Geology* 120: 223-253. doi: 10.1016/0009-2541(94)00140-04.
- Middlemost, E. A. K.** (1994). Naming Materials in the Magma/Igneous Rock System. *Earth-Science Review*, 37, 215-244.
- Monroe, J. S., Vicander, R., Hazlett, R.** (2005). *Fiziksel jeoloji: Yeryuvarı'nın araştırılması* (Beşinci Baskı ed. Vol. 1): TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Çevirisi Serisi.
- Okay, A. I., Şengör, A.M.C., Görür, N.** (1994). Karadeniz'in açılması ve bunun çevre bölgeler üzerindeki etkisi. *Jeofizik*, 9(10), 83-89.
- Okay, A. I., Tüysüz, O.** (1999). Tethyan sutures of Northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156(1), 475-515. doi:10.1144/gsl.sp.1999.156.01.22.
- Okay, A.** (2008). Geology of Turkey: A Synopsis. *Anschnitt*, 21, 19-42.
- Okay, A. C.,** (1947). Alemdağ, Karlıdağ ve Kayışdağ arasındaki bölgenin Jeolojisi ve Petrografisi, *Fen Fak. Mec. B - XII*.
- Özgörüş, Z., Okay, A. I.** (2005). İstanbul bölgesindeki andezitik dayklarının konumları: Kretasede gerilme dağılımına bir yaklaşım. *MTA Dergisi* 130, 17-27, 2005.
- Öztunalı, Ö., Satır M.,** (1973). Çavuşbaşı kristalin karmaşığının petrografisi ve petrolojisi. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilim Kongresi, Tebliğler, 17 - 19 Aralık, ss.445-454, Ankara.
- Öztunalı, Ö., Satır M.,** (1975), Rubidium - Strontium - Altersbestimmungen an Tiefengesteinen aus Çavuşbaşı (İstanbul). İst. Üniv. Fen Fak. Mecm., Seri B, C.XXXX, S. 1-4, ss. 1-7, İstanbul.
- Peccerillo, A., Taylor, S. R.** (1976). Geochemistyr of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.* 58, 63-81.
- Richards, Jeremy P., Kreeich Robert** (2007). Special paper: Their diverse origins and questionable role in metallogenesis. *Economic Geology Bulletin of The Society of Economic Geologists Vol. 102 June-July 2007 No. 4*
- Shand, S. J.** (1943). Eruptive rocks: their genesis, composition and classification, and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorites.
- Sayar, M.** (1960). Mineraloji ve Jeoloji (Üçüncü Baskı): İstanbul Teknik Üniversite Matbaası Gümüşsuyu.
- Sayar, C.** (1970). Boğaziçi arazisinde Ordovisien Conulariaları. *Türkiye Jeol. Kur. Bült. XII*, 1-2, s. 140-156, Lev. I-XIV, Ankara

- Sayar, C.** (1979). İstanbul Boğazı ve Çevresinde Ordovisiyen-Silüriyen Sınırı. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, c. 22, 161-167, Ağustos 1979.
- Şahin, S. Y., Güngör, Y., Aysal, N.** (2007). İstanbul'un granitoidleri. *İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu III*, 100-129.
- Şahin, S. Y., Aysal, N., Güngör, Y.** (2010). Petrogenesis and SHRIMP zircon U-Pb dating of some granitoids within the Western Pontides, Southeastern Balkans, NW Turkey. *XIX Congress of The Carpathian-Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23-26 September 2010*.
- Şahin, S. Y., Aysal, N., Güngör, Y.** (2012). Petrogenesis of Late Cretaceous adakitic magmatism in the İstanbul Zone (Çavuşbaşı Granodiorite, NW Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, 1029-1045.
- Şengör, A. M. C., Yılmaz, Y.** (1981). Tethyan evolution of Turkey, a plate tectonic approach: *Tectonophysics*, v. 75, p. 181-241.
- Şengör, A. M. C., Yılmaz, Y.** (1983). Türkiye'de Tetis'in Evrimi: Levha tektoniği açısından bir yaklaşım. *Türkiye Jeoloji Kurumu, Yer Bilimleri Özel Dizisi, No:1*, 75.
- Tuncay, E., Gedik, A.** (1983). Pontid'lerdeki volkanizma.
- Topuz, G., Candan, O., Zack, T., Yılmaz, A.** (2017). East Anatolian plateau constructed over a continental basement: No evidence for the East Anatolian accretionary complex. *Geological Society of America* doi: 10.1130/G39111.1
- Tüysüz, O.** (2017). Cretaceous geological evolution of the pontides. *Geological Society, London, Special Publications*, SP464.469. doi:10.1144/sp464.9
- Walther, John V.** (2005). Essentials of Geochemistry. *Jones and Bartlett Publishers* pg. 256.
- Yılmaz, Y.** (2008). Düünden bugüne granit. *Türkiye Bilimler Akademisi*, 1, 76-97.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş. C., Şengör, A. M. C.** (1997). Geology and tectonic evolution of the Pontides. *Regional and petroleum geology of the black sea and surrounding region*, AAPG Memoir, 68, 183-226.
- Ur11**<http://web.itu.edu.tr/~okay/geology_turkey_notes/lecture_notes_geology_turkey.pdf, erişim tarihi 01.04.2018
- Ur12**< <https://web.itu.edu.tr/~okay/dersler/bursagezi.pdf>, erişim tarihi 01.04.2018
- Ur13**< <http://sinanongen.blogspot.com.tr/>, erişim tarihi 04.11.2015

EKLER

EK A: Analitik Yöntemler

EK A:



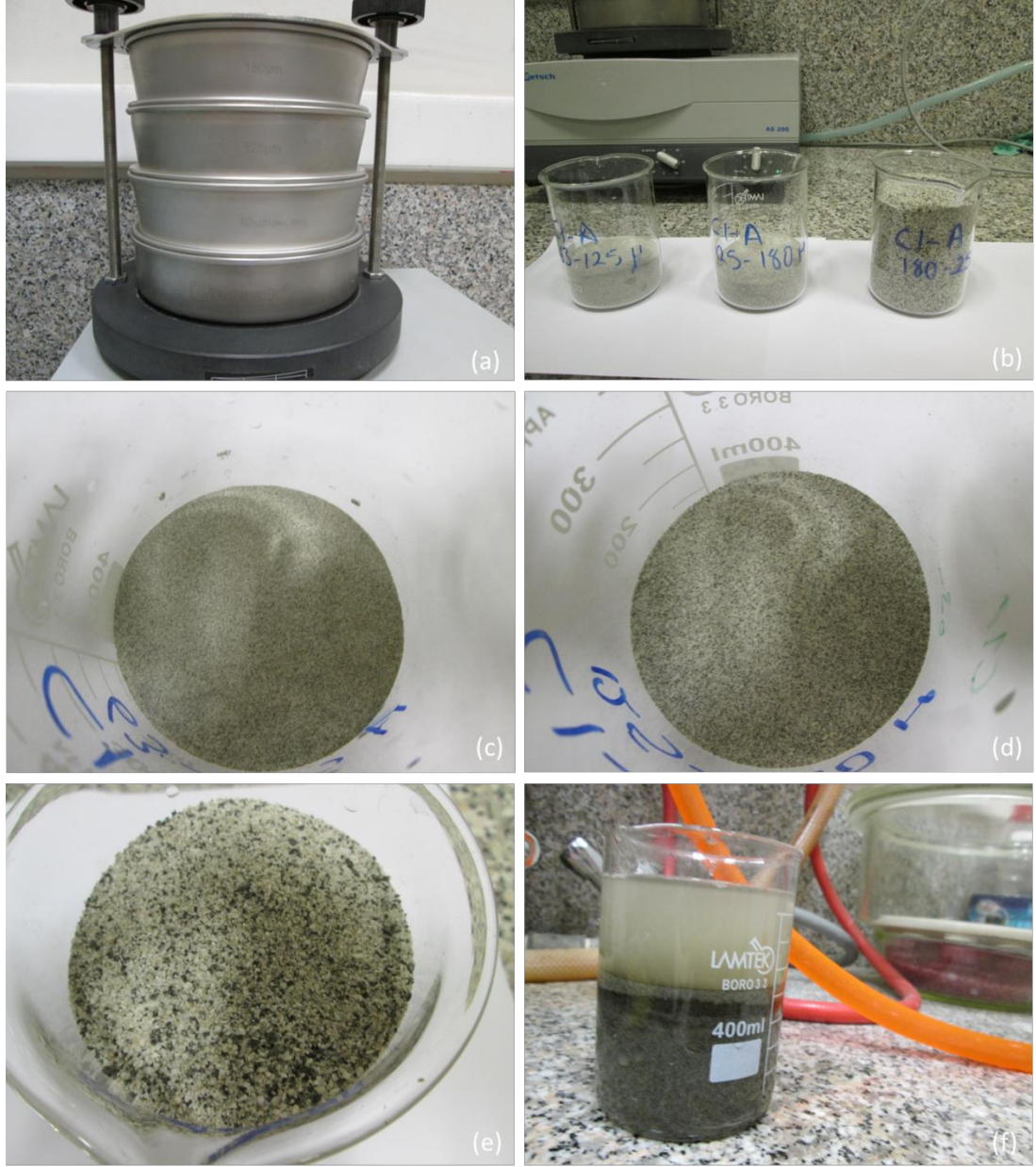
Şekil A.1 : (a) Zirkon analizi için inceleme alanından alınan numuneler, (b) Taş kırma makinesi, (c) Kırılan numune.



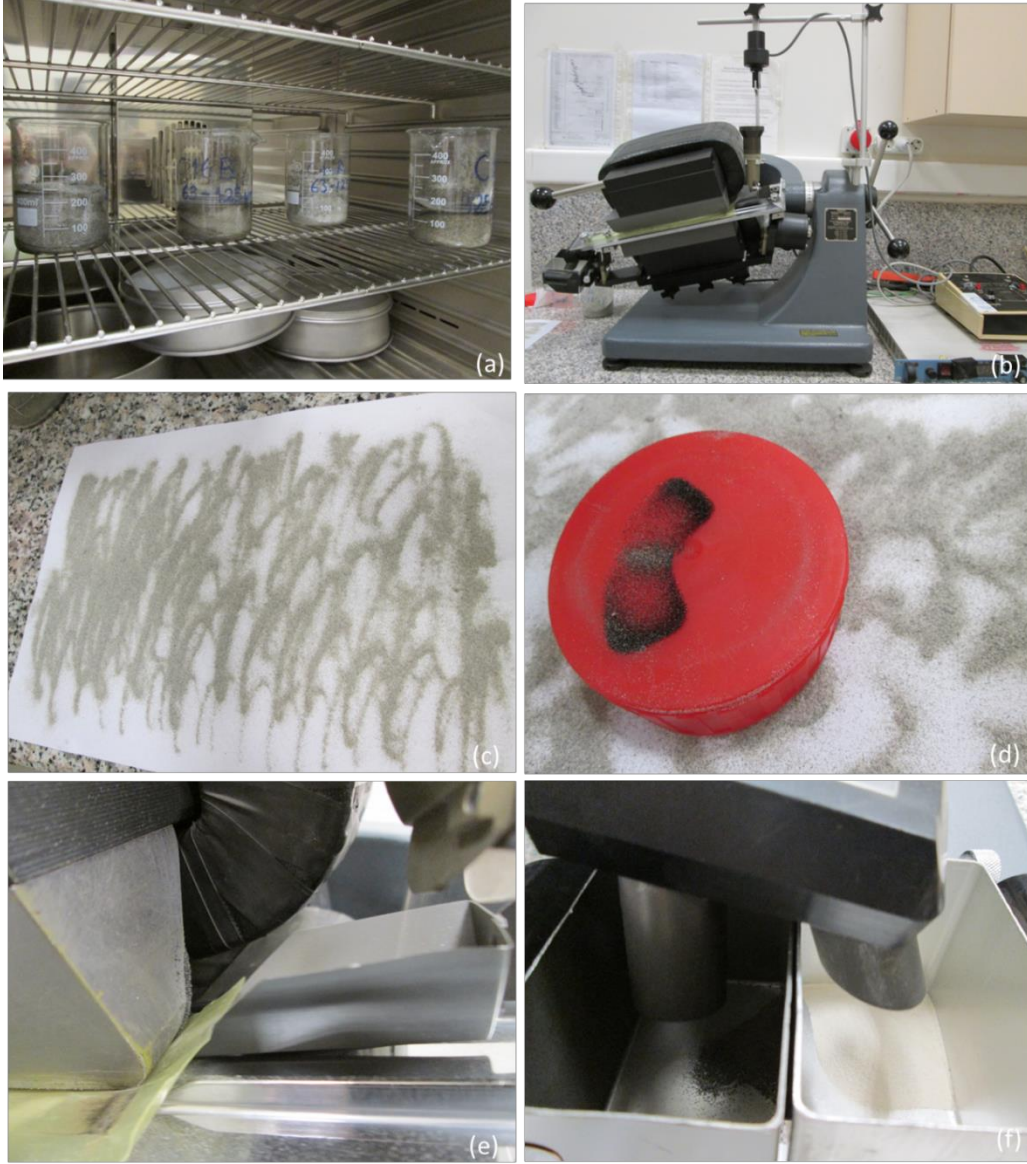
Şekil A.2 : (a) Taş öğütme makinesi, (b) Hava kompresörü, (c) Silindir, (d) Numunenin döküldüğü yer, (e) Anahtarla silindir aralığının daraltılarak sabitlenmesi, (f) İyice daraltılan silindir aralığı, (g) Numunenin alındığı çekmece, (h) Taş öğütme makinesinden alınan numune.



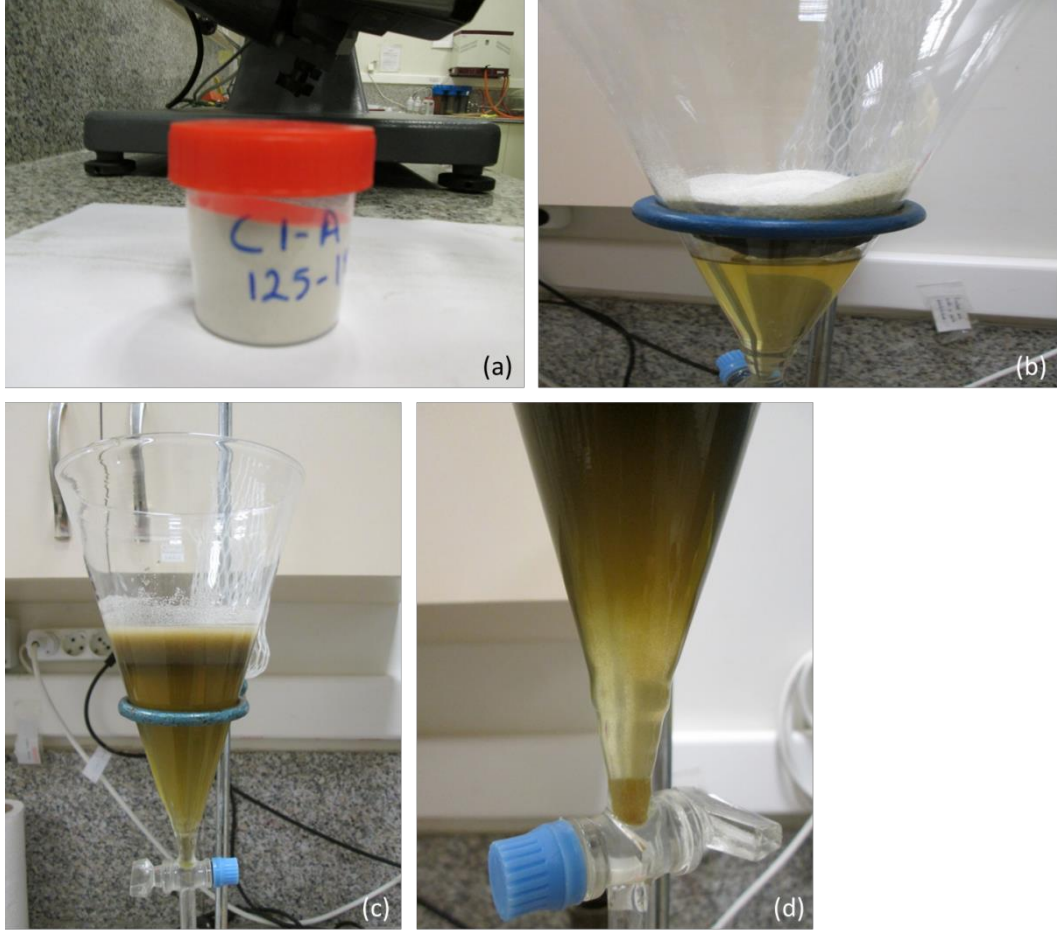
Şekil A.3 : (a) Ultrasonik banyo ve distile su, (b) Fırın, (c) Fırında kurutulan elekler.



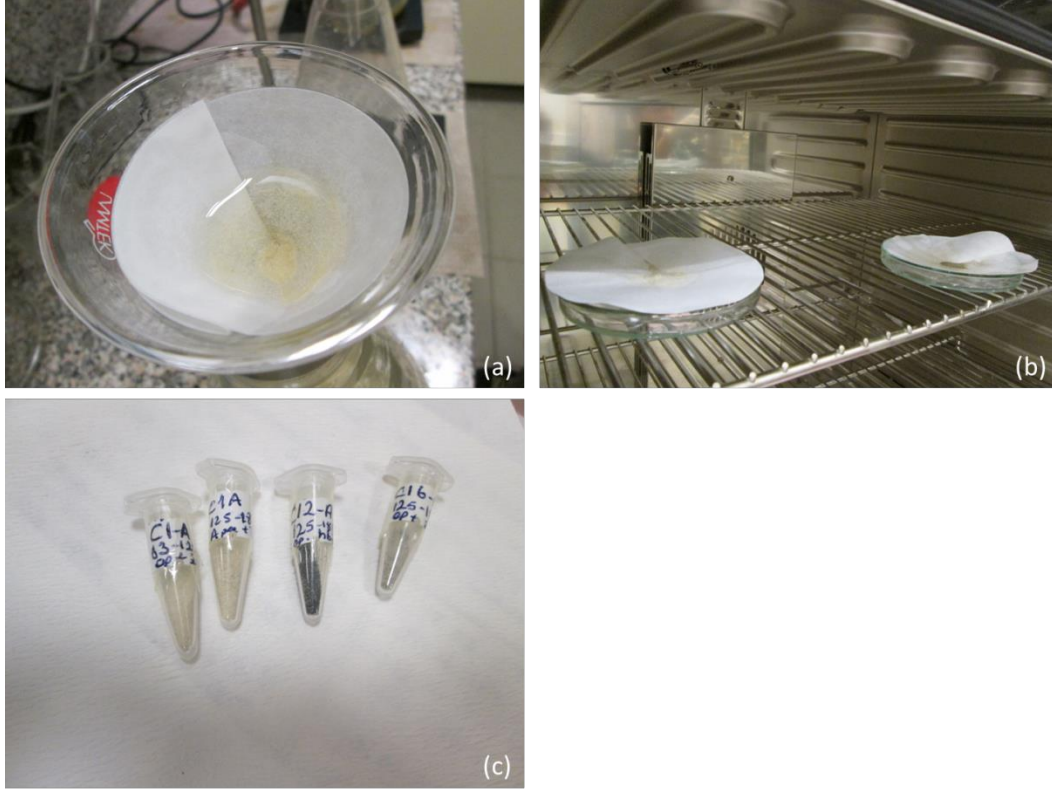
Şekil A.4 : (a) Elek analizi (63 μm , 125 μm ve 180 μm boyutundaki elekler), (b) 63-125 μm , 125-180 μm ve >180 μm boyutundaki granodiyorit beherleri, (c) 63-125 μm boyutundaki granodiyorit numunesi, (d) 125-180 μm boyutundaki granodiyorit numunesi, (e) >180 μm boyutundaki granodiyorit numunesi, (f) Distile su eklenerek yıkanan granodiyorit numunesi.



Şekil A.5 : (a) Fırında 89.4 °C’de numuneler kurutulur, (b) Manyetik seperatör, (c) Elekten geçirilmiş 63-125µm boyutundaki C1A numunesi bir kağıda serpilir, (d) C1A numunesi manyetik seperatöre konmadan önce içindeki manyetitler mıknatısla çekilir, (e) Manyetik bandın üzerine yapışmış manyetitler, (f) Solda manyetik olan minerallerin , sağda manyetik olmayan minerallerin geldiği kutu.



Şekil A.6 : (a) 125-180 μm boyutundaki C1 numunesi, (b) Zirkon Analizi için Ağır sıvıya eklenen manyetik olmayan mineraller, (c) Karıştırılmış numune (C1A), (d) Çökelen numune (C1A).



Şekil A.7 : (a) Ağır sıvıdan alınan çökelen numune (C1A), (b) Fırında kurutulan numuneler, (c) Zirkon analizine hazır numuneler.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Esen Ayanoğlu
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.06.1971 Ankara
E-posta : esenayanoglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1993, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

2015-2018 yılları arasında, Bilgi2000 Mühendislik ve İnşaat Ltd. Şti'nde "Awash-Kombolcha-Hara Gebeya Railway" ve "Çanakkale Köprüsü Otoyol ve Bağlantı Yolları Zemin İnceleme" projelerinde çalıştı.