

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOPUK GRANİTOYİDİ'NİN JEOLJİSİ VE PETROJENEZİ
(KB ANADOLU)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Işıl Nur GÜRASLAN
(505161312)**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şafak ALTUNKAYNAK

TEMMUZ 2018



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505161312 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Işıl Nur GÜRASLAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “TOPUK GRANİTOYİDİ’NİN JEOLJİSİ VE PETROJENEZİ (KB ANADOLU)” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Şafak ALTUNKAYNAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Fahri ESENLİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ercan ALDANMAZ
Kocaeli Üniversitesi

Teslim Tarihi: 20 Haziran 2018
Savunma Tarihi: 6 Temmuz 2018





Dedem Bahri Sever'e,



ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi'ndeki çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olup, ilgisiyle ve rehberliği ile bu tez çalışmasının ve gerçekleştirdiğim birçok çalışmanın var olmasına vesile olan, bir bilim insanı olarak büyümemi sağlayan, olağanüstü sabrı ile her türlü hatamı kabul edip bana elinden gelen her şeyi öğretmeye çalışan değerli tez danışmanım Prof. Dr. Şafak ALTUNKAYNAK'a tüm kalbimle en içten teşekkürlerimi ve sonsuz saygılarımı sunuyorum. Gerek saha çalışmalarında gerekse yazım aşamalarında verdikleri katkılar ile tezimi zenginleştiren ve bana her konuda yardımlarını esirgemeyen abilerim Yük. Müh. Ömer KAMACI ve Arş. Gör. Alp ÜNAL'a da tüm saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım, kendileri olmasa bu tez çalışması sönük ve öksüz kalacaktı.

Örneklerimden yaptığım ince kesitlerin hazırlanmasında bana çok yardımcı olan ince kesit atölyesi sorumlusu Mehmet Ali ORAL'a teşekkür ederim.

Arazi ve petrografi çalışmalarında bana yardımcı olan arkadaşım Yağmur GERZELİ'ye, manevi destekleriyle bu süreçte dik durmamı sağlayan ve elimi hiç bırakmayan yakın arkadaşım Tutku TURGAY'a; sonsuz sevgisi ve desteğiyle beni yüceltip her türlü zorluğa karşı benimle birlikte duran can yoldaşım Hüseyin DEMİR'e teşekkür ederim.

Son olarak, bana her konuda destek olan, hiçbir zaman yanımdan ayrılmayan, yardımı ve sevgiyi benden asla esirgemeyen, benim için ellerinden gelen tüm fedakarlığı yapan ailem Tülay GÜRASLAN, Namık Talat GÜRASLAN, Yasemin GÜRASLAN, Adile SEVER ve Yavuz SEVER'e teşekkür ederim.

Temmuz 2018

Işıl Nur GÜRASLAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
TABLO LİSTESİ	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Yöntemi.....	2
1.3. İnceleme Alanının Tanıtılması	3
1.3.1. Coğrafi konum.....	3
1.3.2. Morfoloji	4
1.3.3. İklim ve bitki örtüsü	4
1.3.4. Nüfus ve yerleşim.....	4
1.4. Önceki Çalışmalar	4
2. STRATİGRAFİK JEOLJİ.....	9
2.1. Temel Kayaları	10
2.1.1. Kocasu formasyonu.....	11
2.1.2. İnönü mermeri	13
2.1.3. Orhaneli ofiyoliti	14
2.2. Magmatik Kayaçlar	16
2.2.1. Topuk granitoyidi	16
2.2.2. Hipabisal kayaçlar (Granodiyorit porfir).....	25
2.3. Çökel Kayaçlar	28
2.4. Alüvyon	31
3. PETROGRAFİ.....	33
3.1. Kocasu Formasyonu	33
3.2. İnönü Mermeri.....	35
3.2. Orhaneli Ofiyoliti	35
3.3. Magmatik Kayaçlar	37
3.3.1. Topuk granitoyidi	38
3.3.2. Mafik mikrogranüler anklavlar	45
3.3.3. Aplit daykları.....	48
3.3.4. Hipabisal kayaçlar	49
3.4. Kontak Metamorfizma.....	52
4. JEOKİMYA.....	57
4.1. Ana ve İz Element Jeokimyası	57

4.2. İzotop Jeokimyası	70
5. TARTIŞMA: TOPUK GRANİTOYIDI VE HIPABİSAL KAYAÇLARI OLUŞTURAN MAGMANIN KÖKENİ VE EVRİMİ.....	71
5.1. Kaynak alanı özellikleri	71
5.2. Magmanın evrimi.....	75
5.3. Topuk Granitoyidi'nin Kristalizasyon Süreçleri.....	78
6. SONUÇLAR	83
KAYNAKLAR.....	85
EKLER.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	91



KISALTMALAR

Plj: Plajiyoklaz

Bi : Biyotit

Plj : Plajiyoklaz

Hbl : Hornblend

Op : Opak mineral

Q : Kuvars

Prx : Piroksen

KF : K-feldispat

Gr : Granat

Amf : Amfibol

Grf: Grafik Doku

MME : Mafik mikrogranüler anklav

TG: Topuk granitoyidi

Ap: Aplit Daykları

Hip: Hipabisal Kayaçlar



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 :	İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	3
Şekil 2.1 :	İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	10
Şekil 2.2 :	Kocasu Formasyonu'na ait yeşil-mavimsi renkli metabazitlerin saha görünümü.....	12
Şekil 2.3 :	İnceleme alanının güneyinde Delice Köyü civarında gözlenen kalkıştillerin saha görünümü.....	12
Şekil 2.4 :	İnönü mermerinin Günörlükırı Sırtı civarında gözlenen mostra görüntüsü.....	14
Şekil 2.5 :	İnönü Mermerine ait mostranın yakından görüntüsü.....	14
Şekil 2.6 :	Orhaneli ofiyoliti içindeki serpantinitlelerin genel saha görüntüsü.....	16
Şekil 2.7 :	Orhaneli ofiyoliti içindeki peridotitlerin saha görüntüsü.....	16
Şekil 2.8 :	Topuk granitoidinin Topuk köyü civarında gözlenen genel saha görüntüsü.....	18
Şekil 2.9 :	Topuk granitoidinin yakından görüntüsü.....	19
Şekil 2.10:	Ana kütlede kopan yuvarlak bloklar halinde Topuk Granitoidi'nin görüntüsü.....	19
Şekil 2.11:	Topuk granitoidi içinde bulunan mafik mikrogranüler anklavın saha görüntüsü.....	21
Şekil 2.12:	Topuk granitoidi içinde bulunan mafik mikrogranüler anklavın saha görüntüsü.....	21
Şekil 2.13:	Topuk granitoidi ile Orhaneli Ofiyoliti dokanağının mostra görüntüsü...	22
Şekil 2.14 :	Topuk granitoidi içindeki Orhaneli Ofiyoliti'ne ait dev ksenolit görüntüsü.....	22
Şekil 2.15 :	Topuk granitoidi ile İnönü mermeri arasında "Roof Pendant" yapıli intrüsil dokanak.....	23
Şekil 2.16 :	Topuk granitoidini kesen aplitik daykların ve gösterdikleri plastik deformasyon yapısının saha görüntüsü.....	24
Şekil 2.17 :	Topuk granitoidini kesen aplit daykları ve kavlanma görüntüsü.....	24
Şekil 2.18 :	Topuk granitoidi'nde gözlenen üçlü eklem takımları ve içlerinde bulunan aplit daykları.....	25
Şekil 2.19 :	İnönü Mermeri içinde Topuk granitoidi'ne ait apofiz yapısı.....	26
Şekil 2.20 :	İnceleme alanında gözlenen hipabisal kayaların genel mostra görüntüsü.....	27
Şekil 2.21 :	İnceleme alanında gözlenen hipabisal kayaların yakından görünümü.....	28
Şekil 2.22 :	Temel kayalarını örten taban konglomerasının ve içindeki granit parçasının yakından görünümü.....	29
Şekil 2.23 :	Çökel topluluk içinde gözlenen konglomeranın saha görüntüsü.....	30
Şekil 2.24 :	Çökel topluluk içinde gözlenen kireçtaşı ve marn ardalanmasının saha görüntüsü.....	30
Şekil 3.1 :	Kocasu formasyonu'nda görülen metatüflerin optik mikroskoptaki görüntüsü.....	32
Şekil 3.2 :	Kocasu formasyonu'nda görülen metapelitlerin optik mikroskoptaki görüntüsü.....	33
Şekil 3.3 :	İnönü mermeri'nde görülen kalsit ve dolomit kristalleri.....	34

Şekil 3.4 :	Orhaneli ofiyolitine ait örneklerin Ultramafik kayaç sınıflaması için kullanılan Olivin-Ortopiroksen-klinoproksen üçgen diyagramındaki konumları.....	34
Şekil 3.5 :	İleri derecede serpantinleşmiş peridotite.....	35
Şekil 3.6 :	Serpantinit kayacında bulunan kromit mineralleri.....	36
Şekil 3.7 :	İnceleme alanındaki magmatik kayaçlara ait Streckeisen diyagramı.....	37
Şekil 3.8 :	Topuk granodiyoritinde holokristalen porfirik doku.....	38
Şekil 3.9 :	Topuk granitoidinde bulunan alkali feldispat ve kuvarsın ötektik kristallenmesi sonucu oluşan grafik doku.....	38
Şekil 3.10 :	Plajiyoklaz kristallerinde gözlenen zonlanma ve ikizlenme.....	40
Şekil 3.11 :	Plajiyoklaz kristalleri içinde gözlenen biyotit ve opak mineral inklüzyonları.....	40
Şekil 3.12 :	Plajiyoklaz kristallerinde gözlenen synensis dokusu.....	41
Şekil 3.13 :	İkizli ve zonlu plajiyoklaz kristallerinde merkezden itibaren gelişim gösteren serizitleşme.....	41
Şekil 3.14 :	Deforme granodiyoritlerde dalgalı sönme gösteren kuvars kristalleri.....	42
Şekil 3.15 :	Topuk granitoidine ait granodiyorit ana kütleinde görülen biyotit minerali ve plajiyoklaz inklüzyonu.....	43
Şekil 3.16 :	Topuk granitoidine ait granodiyorit ana kütleinde kısmen kloritleşmiş hornblend mineralleri.....	43
Şekil 3.17 :	Mafik mikrogranüler anklavların holokristalen mikrogranüler dokusunu gösterir fotoğraf.....	46
Şekil 3.18 :	Mafik mikrogranüler anklavlarda gözlenen biyotit kristalleri.....	46
Şekil 3.19 :	Mafik mikrogranüler anklavlarda gözlenen amfibol fenokristali.....	47
Şekil 3.20 :	Aplit dayklarında gözlenen dokular; a) grafik doku, b) holokristalen mikrogranüler aplitik doku.....	47
Şekil 3.21 :	Hipabisal kayaçlarda görülen a) holokristalen mikrogranüler doku, b) Mikrogranüler porfirik doku.....	49
Şekil 3.22 :	Porfiritik kuvars diyoritlerde holokristalen kriptokristalen porfirik doku..	50
Şekil 3.23 :	Hipabisal kayaçlarda görülen farklı hamur çeşitlerini gösterir fotoğraf. e: Kuvars minerallerinde gözlenen körfez yapısı.....	51
Şekil 3.24 :	İnönü mermeri-Topuk granitoidi kontak zonundan alınmış kontak metamorfik kayaçta gözlenen granet mineralleri.....	53
Şekil 3.25 :	İnönü Mermeri'nde görülen kontak metamorfizmanın etkisi sonucunda oluşan kuvars ve tremolit mineralleri.....	53
Şekil 3.26 :	Kocasu Formasyonuna ait kayaçlarda kontak metamorfizma etkisi ile oluşan albit ve epidot minerallerinin görüntüsü.....	54
Şekil 4.1 :	İnceleme alanındaki magmatik kayaçların Middlemost (1994) diyagramındaki konumu.....	60
Şekil 4.2 :	İnceleme alanındaki magmatik kayaçların Cox vd. (1979) diyagramındaki konumu.....	61
Şekil 4.3 :	İnceleme alanındaki magmatik kayaçların Irvine ve Baragar (1971) diyagramındaki konumları.....	62
Şekil 4.4 :	İnceleme alanındaki magmatik kayaçların Peccerillo ve Taylor (1976) diyagramındaki konumları.....	62
Şekil 4.5 :	A/CNK – A/NK (Shand, 1943) diyagramı üzerinde I-S tipi granit, metalüminyumlu, peralüminyumlu ve peralkalen ayrımı. Hersinyen protolitleri: Pe-piper ve Piper (2006).....	63
Şekil 4.6 :	İnceleme alanındaki magmatik kayaçların ana oksitlere karşı SiO ₂ oranlarının gösterildiği Harker diyagramları.....	64
Şekil 4.7 :	İnceleme alanındaki magmatik kayaçların iz elementlere karşı SiO ₂ oranlarının gösterildiği Harker diyagramları.....	65
Şekil 4.8 :	N-MORB ve kondrite göre normalize edilmiş örümcek diyagramlarında inceleme alanındaki magmatik örneklerin element dağılım paternleri.....	66

Şekil 4.9 :	Tüm kaya gruplarının N-MORB ve Kondrite normalize edilmiş örümcek diyagramlarındaki iz element dağılımları	67
Şekil 5.1 :	Epsilon Nd-Sr/Sr(48) diyagramında Topuk granitoyidi, mafik magmatik anklavlar ve Hipabisal kayaçların konumu.....	70
Şekil 5.2 :	Topuk granitoyidi, magmatik anklavlar ve hipabisal kayaçların 87Sr/86Sr'a 206Pb/204Pb diyagramındaki konumu.....	71
Şekil 5.3 :	Topuk granitoyidi, magmatik anklavlar ve hipabisal kayaçların ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb'a ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb diyagramındaki konumu.....	72
Şekil 5.4 :	Topuk granitoyidi ve hipabisal kayaçlara ait örneklerin Nb/La – La/Yb diyagramındaki konumları.....	73
Şekil 5.5 :	Topuk granitoyidi ve Hipabisal kayaçlara ait örneklerin Th/Yb-Ta/Yb diyagramındaki konumları.....	75
Şekil 5.6 :	Topuk granitoyidi ve hipabisal kayaçlara ait örneklerin ¹⁴⁴ Nd/ ¹⁴⁴ Nd ₍₄₈₎ 'e karşı Th diyagramındaki konumları.....	76
Şekil 5.7 :	Topuk granitoyidi'ne ait kayaçların farklı minerallere göre teorik fraksiyonlama trendlerinin görüldüğü Rb-Th ve Sr-Th diyagramları.....	78
Şekil 5.8 :	Topuk granitoyidi'ne ait kayaçların farklı minerallere göre teorik fraksiyonlama trendlerinin görüldüğü Y-Th ve Cs-Th diyagramları.....	79
Şekil 5.9 :	Sr izotop değerlerinin 1/Sr değerine karşı iki bileşenli basit karışma modellemesi ile AFC süreçlerinin oranlarına göre teorik trendler ile gösterildiği diyagram ve üzerine izdüşürülen Topuk granitoyidi'ne ait veriler.....	79



TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 :	İnceleme alanındaki magmatik kayaçların ana oksit analiz sonuçları....	56
Tablo 4.2 :	İnceleme alanındaki magmatik kayaçların iz element analiz sonuçları...	57
Tablo 4.3 :	İnceleme alanındaki magmatik kayaçlardan elde edilen izotop değerler.	68





TOPUK GRANİTOYİDİ'NİN JEOLJİSİ VE PETROJENEZİ (KB ANADOLU)

ÖZET

Bu çalışmada Bursa iline bağlı Orhaneli ilçesinin güneyinde bulunan Topuk köyü ve çevresinde yüzeyleyen Topuk granitoyidi ve onunla ilişkili olan magmatik kayaçların jeolojik, petrografik ve petrolojik özellikleri incelenmiştir. İnceleme alanı, yaklaşık 180 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Bu alanda temel kayaları, magmatik kayaçlar, çökel topluluk ve alüvyon mostra vermektedir. Gerek saha çalışmaları gerekse petrografik incelemelere göre temel kayalarının ofiyolitik ve metamorfik kayalardan oluştuğu belirlenmiştir. Bu kayalar Tavşanlı Zonu'na ait Orhaneli Grubuna dahil edilip; Kocasu Formasyonu, İnönü Mermeri ve Orhaneli Ofiyoliti olarak belirlenmiştir. Kocasu formasyonu temel kayalarının görünür tabanını oluşturmakta olup mavişist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış metapelit ve metavolkanitlerden oluşmaktadır. İnönü mermeri'nin masif mermerlerden oluştuğu belirlenmiştir. Orhaneli ofiyoliti ise dünit, lertzolit ve serpantinitleten oluşmaktadır. İnceleme alanındaki magmatik kayaçlar Topuk granitoyidi ve hipabisal kayaçlarla temsil olunur. Topuk granitoyidi, inceleme alanındaki temel kayaçlar ile intrüsf dokanak sergilemektedir. Granitoyidin ana kütlesi granodiyorit bileşiminde olup holokristalen porfirik, yer yer granüler dokuludur. Dokanak zonlarına doğru artış gösteren mafik mikrogranüler anklavlar içerir, aplit ve kuvars porfir daykları ile kesilir. Magmatik anklavlar diyorit/kuvars-diyorit, hipabisal kayaçlar ise granodiyorit/kuvars monzonit bileşimlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Orta Eosen'de Topuk granitoyidinin sokulumu ile temel kayalarında hornblend-hornfels fasiyesinden albit –epidot hornfels fasiyesine değışen kontak metamorfizma gelişmiştir.

Yapılan ana oksit-iz element analizlerine göre inceleme alanındaki magmatik kayaçların kalkalkalen nitelikte olduğu belirlenmiştir. Kondrite ve N-MORB'a göre normalize edilmiş iz element paternleri, magmatik kayaçların çoğunlukla büyük iyon çaplı litofil elementlerce ve hafif nadir toprak elementlerce zenginleştiğini, aynı zamanda Nb, Ti, Ta elementlerinde negatif bir anomali oluşturduğunu göstermektedir. Granodiyoriti, anklavlar, dayklar ve hipabisal kayaçların jeokimyasal özellikleri ve izotop karakteristikleri benzerdir. İnceleme alanında yüzeyleyen farklı bileşim ve dokulara sahip magmatik kayaçların ana-iz element jeokimyası ve Sr-Nd-Pb izotop özellikleri literatürde jeokimyasal özellikleri daha önce sunulmuş olan zamanda ve mekânda ortaklık gösteren diğer Eosen plütonları ile birlikte değerlendirilmiş ve bölgedeki magmatik kayaçları oluşturan magmanın zenginleşmiş litosferik manto kökenli olduğu ancak bir miktar astenosferik manto katkısının da bulunduğu belirlenmiştir. İz element ve izotop modellemeleri mantodan türeyen magmanın evriminde asimilasyonlu fraksiyonel kristallenme (AFC) işleminin etkin olduğunu göstermiştir. Ancak magmatik kaya topluluklarının kendi içindeki farklı bileşimdeki

kayaların gelişiminde ise fraksiyonel kristallenmenin (amfibol ve plajiolklas) de rol oynadığı ortaya konmuştur.



GEOLOGY AND PETROLOGENESIS OF TOPUK GRANITOID, NW ANATOLIA

SUMMARY

In this study, geological, petrographic, and petrologic features of Topuk granitoid and the magmatic rocks associated with it has been studied. Topuk granitoid is located at the Northwest Anatolia, in Orhaneli county of Bursa province, covering 180 km² of area. The study area consists of basement rocks, magmatic rocks, sedimentary rocks and alluvium. Petrographic studies and field studies showed that the basement rocks consist of ophiolitic rocks and metamorphic rocks. Kocasu formation, which creates the very base of the basement rocks in the area, are made out of metapelites and metavolcanites (metatuffs and metalavas), which has gone through metamorphism in blueschist facies. In the upper parts of Kocasu Formation, the formation includes marble lenses and gradually the calcschists show a dominance, indicating a concordant relationship with a gradual transition to İnönü Marble. İnönü marble includes a massive marble with calcite crystals and occasional dolomite layers, which also have gone through blueschist metamorphism. Ophiolitic rocks, which are determined as Orhaneli ophiolite has overlain these metamorphic rocks with a tectonic contact (thrust fault). Orhaneli ophiolite consists of dunite, lherzolite and serpentinite, and is suggested to be the base of Neo Tethys ocean. Magmatic rocks cut all the basement rocks intrusively, as seen by the various xenoliths of basement rocks, roof pendant structures, and contact metamorphism indicators in the contact zones. Magmatic rocks include Topuk granitoid, which has mafic microgranular enclaves, and is cut by aplite and quartz porphyry dikes. Mafic microgranular enclaves are recognized by their magmatic microgranular textures and melanocratic colors. They are determined to be kin with Topuk granitoid because of their magmatic texture. Aplite dikes are easily distinguished from other magmatic rocks by their felsic minerals and aplitic microgranular textures. Another magmatic rock association in the area is the hypabyssal rocks (granodiorite porphyry), which are considered to be associated and coeval with the Topuk granitoid, since it has similar a similar composition with the Topuk granitoid, and is also cut by aplite and quartz porphyry dikes. These rocks can be found as dikes, dike piles and stocks in the study area. Sedimentary rocks overlay the basement rocks and magmatic rocks in the study area, and made out of basal conglomerates with basement and magmatic rock pebbles, sandstones, and limestone-marn-claystone intercalations. All rock units that outcrop in the study area are overlain by the alluvium of Nilufer river that has carried rocks and pebbles of the units from the study area.

Petrographic investigations have done on 50 samples that are collected from the field in a polarized optical microscope using modal analysis with point-counting methods. According to the petrographic investigations, the mineral paragenesis of Kocasu formation is chlorite + albite + epidote + glaucophane for metavolcanics and biotite/muscovite + albite + chlorite + quartz + calcite for metapelites with a

lepidoblastic-microlepidoblastic texture. The mineral paragenesis of İnönü Marble is calcite $\mp$ dolomite with granoblastic texture. Orhaneli ophiolite consists of dunites, lherzolites and serpentinites. These rocks mainly include olivine, pyroxene, serpentine and chromite minerals.

The magmatic rocks in the study area are represented by Topuk granitoid and hypabyssal rocks. The main plutonic body of Topuk granitoid is in granodiorite composition with holocrystalline porphyritic texture and occasionally granular texture. It consists of mafic microgranular enclaves (MME), and is cut by quartz porphyry and aplite dykes of granite composition. The composition of mafic microgranular enclaves is diorite/quartz diorite. Hypabyssal rocks show microcrystalline-cryptocrystalline porphyritic textures and have the composition of granodiorite/quartz monzonite. A contact metamorphism has occurred in the basement rocks with the intrusion of Topuk granitoid into the basement rocks in Middle Eocene, with a mineral paragenesis of calcite + garnet + tremolite + quartz and quartz + albite + epidote + muscovite + biotite, which indicates contact metamorphism conditions that changes between hornblend-hornfels and albite-epidote-hornfels metamorphic facies. This indicates a 500-600 °C temperature conditions for the contact metamorphism.

From the magmatic rocks of the study area, major oxide and trace element analysis has done on 12 samples; 5 from Topuk granodiorite, 2 from mafic microgranular enclaves, 2 from aplite dykes and 3 from hypabyssal rocks. The geochemical features of Topuk granodiorite, mafic microgranular enclaves, aplite dykes and hypabyssal rocks are similar to each other, and are compatible with the petrographical investigations. The magmatic rocks in the study area are all subalkaline and calc-alkaline in character. They are mostly metaluminous, with some samples plotting in the metaluminous-peraluminous border, and mid to high-K, I type. The SiO₂ compositions of the magmatic rocks vary from 54,9% to 77%. Harker diagrams that show major oxides versus SiO₂ present a systematical and regular trend from mafic microgranular enclaves, which are the least acidic end-members, to aplitic dykes, which are the most acidic end-members. According to the primitive mantle-normalized trace element patterns, the samples are enriched in large ion lithophile elements (LILE) and light rare earth elements (LREE). They show negative anomalies in Nb, Ti and Ta elements. Chondrite normalized spider diagrams showed that the rocks mostly show a moderate to high Eu anomalies and a convex, spoon-like structure in heavy rare earth elements (HREE).

Sr-Nd-Pb isotopic analysis has done from 6 samples of magmatic rocks in the study area, including 2 Topuk granodiorite samples, 2 mafic microgranular enclave samples and 2 hypabyssal rock samples. The initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(48)}$ isotope values of the magmatic rocks change between 0,706108-0,706705 with an exception of a hypabyssal rock sample, having the value of 0,709901. $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ isotopic values are all similar with the interval of 0,51233-0,51262. The $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ values change between 18,831-19,046, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ values 15,673-15,748; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ values 38,951-39,269; $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ values, 2,0618-2,0725; and $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ values are 0,82686-0,83321.

The mafic microgranular enclaves with magmatic textures that exist in Topuk granitoid show similar Sr-Nd-Pb isotopical characteristics with the main plutonic body of the granitoid, which indicates a similar origin and a possibility of an assimilation fractional crystallization/fractional crystallization events, or the partial melting of mafic lower crust. This similarity is either created by an extremely enriched mantle source, or from the assimilation of primitive magma with deep crustal rocks. Nd and

Pb isotopic characteristics of the magmatic rocks show that the magmatic rocks in the study area has originated from an enriched mantle source (EM II). The trace element characteristics of the rocks show that the mantle is mostly representative of lithospheric mantle, however, it shows some clues of asthenospheric mantle contribution. Th/Yb and Ta/Yb ratios indicate that the magmatic rocks in the study area are originated from enriched mantle and is assimilated by either assimilation fractional crystallization or mixing processes. Nd isotopes also show that the magmatic rocks show a trend of AFC, however, when the rocks are evaluated in individual groups, they show a fractional crystallization trend within themselves.

Eu anomalies and convex structures of rare earth elements in chondrite normalized spider diagrams indicate a plagioclase and amphibole fractionation. These fractionation prepotencies are evaluated using the geochemical modeling, creating theoretical fractionation vectors of Amphibole, Plagioclase, Biotite and K-Feldspar minerals. According to these models, magmatic rocks in the study area do indeed show a dominance in amphibole and plagioclase fractionations.

The AFC modeling of the magmatic rocks in the study area has done using the Western Anatolian enriched mantle melts and leucocratic crust melts as two different end-members. This model created different theoretical trends that shows the possible degree of assimilation. According to the model, magmatic rock samples from the study area plotted near the $r=0.1$ theoretical trend, which indicate a relatively poor degree AFC modification.

The major-trace geochemistry and Sr-Nd-Pb isotopical characteristics of magmatic rocks with different textures and compositions that outcrop in the study area has evaluated together with the specifications of previously studied Eocene plutons that show similarities in time and space with Topuk granitoid. These evaluations brought a conclusion that the magma that created the magmatic rocks in the region has originated from an enriched lithospheric mantle, however, it has a fair amount of contribution of asthenospheric mantle as well. The trace element and isotope models show that evolution of the mantle derived magma has driven by assimilation fractional crystallization processes (AFC). Additionally, the magmatic rocks of different compositions show that fractional crystallization (plagioclase and amphibole) has acted a part in the development of these magmatic rocks when they are evaluated within themselves.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Bu tez çalışması kapsamında Bursa iline bağlı Orhaneli ilçesinin güneyinde bulunan Topuk köyü ve çevresinde yüzeyleyen Topuk granitoyidi ve onunla ilişkili olan magmatik kayaçların jeolojik, petrografik ve petrolojik özellikleri incelenmiştir. Bu incelemelerden elde edilen veriler ışığında Topuk granitoyidi ve ilişkili magmatik kayaçları oluşturan magmanın köken ve evrimi ortaya konmaya çalışılmıştır. İnceleme alanı, yaklaşık 180 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Bu alanda temel kayaları, magmatik kayaçlar, çökel topluluk ve alüvyon mostra vermektedir. Topuk granitoyidi (Topuk granadodiyoriti, mafik magmatik anklavlar, dayklar), ilişkili hipabisal kayaçlar ve bunları çevreleyen temel kayaları üzerinde yapılmış jeolojik saha (jeolojik harita üretimi) ve laboratuvar (granitoyid ve ilişkili magmatik kayaçların herbirinin petrografi, ana-iz element ve izotop jeokimyası, temel kayalarının petrografisi) çalışmalarını birlikte ele alan bir çalışmaya literatürde rastlanmamış olması bu çalışma alanının yüksek lisans tez çalışması olarak seçilmesindeki ana etkenlerdendir.

Tez çalışması 6 ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde çalışmanın amacı, kullanılan metotlar, inceleme alanının genel özellikleri tanıtılmış ve inceleme alanında yapılan daha önceki çalışmalar özetlenmiştir. Stratigrafik jeoloji bölümünde inceleme alanında yüzlek veren kayaların saha özellikleri ve dokanak ilişkileri yaşlıdan gence doğru tanıtılmıştır. Petrografi bölümünde ise inceleme alanında bulunan magmatik ve metamorfik kayaçların petrografik özellikleri incelenmiştir. Jeokimya bölümünde, inceleme alanında bulunan magmatik kayaçlardan yapılan ana-iz element ve Sr-Nd-Pb izotop analizlerin sonuçları aktarılmıştır. Tartışma bölümünde ise inceleme alanından elde edilen tüm veriler birlikte değerlendirilerek, Topuk granitoyidi'ni oluşturan magmanın kökeni ve evrimi tartışılmıştır. Son olarak, sonuçlar bölümünde bu tez çalışmasından elde edilen ana sonuçlar maddeler halinde özetlenmiştir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Yöntemi

Bu tez çalışması kapsamında Orhaneli (Bursa) ilçesi kuzeyinde; Topuk, Göynükbelen, Delice ve Dağdibi köyleri ile sınırlanan bir alanda yüzlek veren Topuk granitoidinin jeolojik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin araştırılması, bu araştırmalardan elde edilen veriler ile Topuk granitoidini oluşturan magmanın kökeni ve evrimi ile alakalı yaklaşımlarda bulunmak amaçlanmıştır.

Bu amaçları gerçekleştirebilmek için 2017 yılının Temmuz-Ağustos aylarında 1 ay boyunca 180 km²'lik inceleme alanında saha çalışmaları yapılmıştır. Saha çalışmaları sırasında Jeoloji Mühendisleri Odası çekici, Silva marka pusula, lup ve arazi defteri kullanılmıştır. Farklı kaya gruplarının, bu kaya gruplarının ilişkilerinin ve bölgedeki yapısal unsurların işlendiği jeolojik haritalamanın yapılabilmesi için MTA tarafından hazırlanan 1/25000 ölçekli Kütahya İ21-b2, İ22-a1, İ22-a2 ve Bursa H22-d4, H22-d3 pafta no'lu topografik haritalardan yararlanılmıştır. İnceleme alanındaki birimlerin ilişkilerini gösteren genelleştirilmiş stratigrafik kesit Şekil 2.1'de, bölgenin detaylı jeolojik haritası ve enine jeoloji kesitleri EK-1'de sunulmuştur. Bölgede jeolojik haritalaması yapılan farklı kayalardan toplam 161 adet örnek derlenerek, bu örneklerden 46 adet ince kesit oluşturulmuş ve bu örnekler üzerinde petrografik incelemeler yapılmıştır. Petrografik incelemeler, İTÜ Maden Fakültesi Mehmet Kemal Dedeman Optik Mineraloji laboratuvarında, Leica marka DM 750P model polarizan mikroskop kullanılarak yapılmıştır. Petrografik incelemeler sonucunda uygun olarak seçilen 12 adet taze örnekten ana oksit ve iz element analizleri; 6 adet örnekten Sr-Nd-Pb izotop analizleri yapılmak üzere ilgili laboratuvarlara gönderilmiştir. Ana oksit ve iz element analizleri ACME Laboratuvarı'nda (Ankara), Sr-Nd-Pb izotop analizleri ise ALS Laboratuvarı'nda (İsveç) yapılmıştır. Jeokimyasal analizlerde kullanılan analitik yöntemler bu laboratuvarların web sayfalarında detaylı şekilde anlatılmaktadır (www.acmelab.com ve www.alsglobal.com).

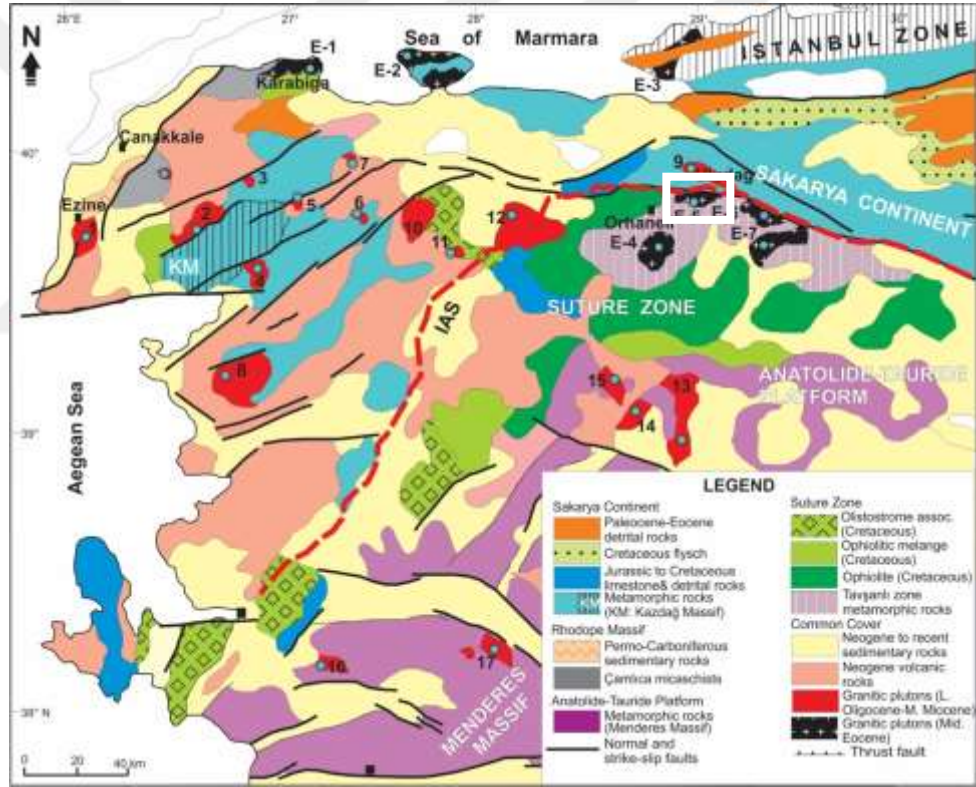
Jeokimyasal diyagramların oluşturulmasında GCDKit programı kullanılmıştır (Janoušek vd. 2006). Harita, jeolojik kesitler ve diğer şekillerin hazırlanmasında Corel Draw X7 programından faydalanılmıştır.

1.3. İnceleme Alanının Tanıtılması

Çalışma bölgesinin coğrafi konumu, morfolojisi, nüfus ve yerleşim özellikleri, iklim ve bitki örtüsü bu başlıkta tanıtılacaktır.

1.3.1. Coğrafi konum

Kuzeybatı Anadolu’da bulunan Bursa ili doğusunda Kocaeli, Bilecik ve Sakarya; batısında Balıkesir, güneyinde Kütahya ve kuzeyinde Yalova illeriyle sınırlandırılmıştır ve Bursa ilinin Marmara Denizi’ne kıyısı bulunmaktadır. Yaklaşık 180 km²’lik çalışma alanı Bursa iline bağlı 8000 nüfuslu Orhaneli ilçesinin kuzeyinde ve güneyi 1/25000 ölçekli Kütahya i21-b2 ve Kütahya i22-a1; kuzeyi, Bursa h22-d4 paftalarında yer alır.



Şekil 1.1: İnceleme alanının yer bulduru haritası (Altunkaynak vd. 2012a’dan derlenmiştir).

1.3.2. Morfoloji

Dümenkırı Tepesi (1612 m) ve Çatalca Tepe (1523 m) Topuk Köyü ve çevresindeki en yüksek alanlardır. Kocayaren T. (1326 m), Kocakara T. (1255m) ve Sarıalan T. (1200 m) bölgeleri ise bölgenin diğer yüksek alanlarıdır. Topuk Plütunu ve Orhaneli Ofiyoliti bölgenin topoğrafyasını büyük ölçüde etkilemiştir. İnceleme alanında güneybatıdan kuzeydoğuya gidildikçe ortalama

Yükseklikle artış bulunmaktadır. Çalışma bölgesindeki drenaj sistemi kuzey-güney doğrultuludur ve akarsular güneye doğru akış göstermektedir.

1.3.3. İklim ve bitki örtüsü

Bölge Akdeniz, Ege ve Marmara iklimlerinin özelliklerini taşımaktadır. Kışlar soğuk ve karlı; yazlar sıcak geçmektedir. Gece ve gündüz sıcaklık farkları belirgindir. Özellikle Orhaneli Ofiyolitinin bulunduğu alanlar çam ormanlarıyla kaplıdır. Topuk Plütununun bulunduğu alanlar ise bitki örtüsü ve orman zayıftır. Ancak plütunun üzerinde geniş tarım alanları vardır. Ayrıca yer yer dikensi bitkilerle kaplı alanlar da mevcuttur.

1.3.4. Nüfus ve yerleşim

Bursa, Türkiye’de bir il olup ülkenin en kalabalık dördüncü şehridir. 2015 itibariyle 2.936.803 kişilik nüfusa sahiptir. Genel nüfus cetveli incelendiğinde Orhaneli ilçesi 2017 yılı nüfus sayımına göre 19503 kişidir (www.tuik.gov.tr). Topuk Mahallesi nüfusu ise 2017 nüfus sayımına göre 356 kişidir (<https://biruni.tuik.gov.tr>).

1.4. Önceki Çalışmalar

Bölgeyi konu edinen çalışmalar, çalışma alanı ve çevresinin jeolojik evrimi ve genel jeolojik özellikleri ile ilgili çalışmalardır.

Bürküt (1966), “Kuzeybatı Anadolu’da yer alan plütonların karşılaştırmalı genetik etüdü” çalışmasında Keles-Orhaneli arasında bulunan Plütonların Uludağ plütonundan farklı olduğunu öne sürmüştür. Ancak bu Plütonların benzer olarak granodiyorit bileşiminde olduğunu belirtmiştir.

Lisenbee (1971), Orhaneli ve kuzeyindeki kayaçları metamorfik, sedimanter ve magmatik birimler olarak sınıflandırmıştır. Ultramafik grubun bölgeye bir bindirme

ile geldiğini açıklamıştır. Bu birimin Üst Kretase yaşlı olduğunu ve dünit, harzburjit, piroksenit, gabro, diyabaz daykları ve serpantinitten oluştuğunu ortaya koymaktadır.

Lisenbee (1972), “Bursa yakınındaki Orhaneli ultramafik masifinin yapısal düzeni” çalışmasında grafitik mikaşist, beyaz mikalı şist, masif mermer ve metamorfize olmuş bazik lav blokları, radyolarit, glokofanlı ve lavsonitli metamorfiklerin Paleozoyik veya Mezozoik yaşında olabileceğini belirtmiştir. Harzburjit ve dünit birimlerini kendi içlerinde ayırarak haritalamıştır. Granodiyorit, granit, aplit topluluğuna Paleosen, dasit ile riyolite Oligosen- Miyosen ve traverten, tuf, konglomera, kumtaşına Miyosen-Pliyosen yaşını vermiştir.

Bingöl (1975), “Batı Anadolu’nun jeotektonik evrimi” yayınında ülkenin Batı Anadolu kesiminde metamorfik özellik gösteren ancak farklı jeolojik ve jeokronolojik özelliklerine sahip olan Menderes, Kazdağ ve Uludağ masiflerinden oluşan bir temel olduğunu öne sürmüştür. Yunanistan ile Ege Adaları’nın temel kayalarla korelasyonu yapıldığında aynı jeotektonik evrimi geçirdiğini belirtmiştir.

Emre (1986), “Orhaneli Ofiyoliti”nin Jeolojisi ve Petrolojisi” başlıklı doktora çalışmasında Orhaneli Ofiyoliti’nin içerdiği litolojileri belirlemiş, haritasını yapmış ve İzmir-Ankara-Erzincan Suture zonu ile ilişkisini incelemiştir. Ofiyolitin hem okyanusun içindeki etkilerini hem de kıtaya olan etkilerini çalışmıştır. Çevre kayaları Sırlı Metamorfiti, Çatalca Mermeri, Belenoluk Metagraniti ve Göktepe Metamorfiti olarak sınıflandırmıştır.

Örgün (1992), Topuk-Göynükbelen bölgesinde yaptığı doktora çalışmasında ofiyolitlerdeki nikel oluşumlarını araştırmıştır. Bölgede üç farklı tipte nikel oluşumu geliştiğini öne sürmüştür.

Harris vd. (1994), Batı Anadolu’da çarpışma sonrası gerçekleşmiş magmatizma ve tektonik yapıyı incelemişlerdir. Bu çarpışmanın Topuk Plütunu’nu da içeren ürünlerinin mineralojik ve jeokimyasal incelemesini yapmışlardır. Bu veriler ışığında yapılan Ar-Ar yaş tayinlerinden 48- 52 milyon yaş aralığı elde etmişlerdir.

Okay ve Kelley (1994), “Türkiye’nin Kuzeybatısındaki jadeit + glokofan ve klorit +glokofan şistlerin tektonik konumu, petrolojisi ve jeokronolojisi” yayınlarında Tavşanlı Zonu’na ait olan mavişistlerin sıcaklık-basınç şartları ve jeokronolojilerini kullanmışlardır. Kocasu mevkiinde mostra veren mavişistlerin yüzeyleme nedeninin soğuk kıtasal kabuğun levha altında bulunmasından ve mavişist peridotit ilişkisinin

neden olduğu normal faylardan kaynaklı olduğu ve bu sürecin Geç Kretase'den Paleosen'e kadar devam ettiğini öne sürmüşlerdir. Mavişistlerde bulunan fenjit minerallerinden yapılan Ar/Ar yaş tayinine göre bu kayaçların 88.5 My yasında olduğu öne sürmüşlerdir.

Örgün ve Akyol (1997), Topuk-Göynükbelen köyleri arasında mostra veren plütonik kayaçların tonalite yakın bir bileşimde olduklarını ve bu sokulumun I-tipi bir granit olduğu belirtmişlerdir.

Okay vd. (1998), araştırmacılar Topuk Plüton'unu da içinde barındıran Tetis süturu boyunca jeolojik haritalama yaparak özelinde mavişistlerin yüzeylenmesini araştırmışlardır. Bunların yanında bölgedeki plütonların magma jenerasyonunun astenosferin sığılaşan kıtasal kabuğun altında yükselmesi sebebiyle oluştuğu öne sürmüşlerdir.

Delaloye ve Bingöl (2000), "Batı ve Kuzeybatı Anadolu Granitoyidleri: Jeokimya ve Jeodinamik Evrimin Modellemesi" yayınlarında Üst Kretase-Üst Miyosen dönem aralığında Anadolu ve Kuzeybatı Anadolu'da yüzeyleyen granitoyidleri incelemişlerdir. Jeokimyasal ve jeokronolojik veriler ışığında Batı Anadolu'nun jeodinamik modellemesini yapmışlardır. Bu çalışmada, Topuk Plüton'undan Ar-Ar biyotit, biyotit+hornblend, hornblend ve ortoklaz yaş analizleri yapılmıştır. Sırasıyla 43, 47, 50 ve 49.8 My yaşlarını elde etmişlerdir.

Erginal (2005): Topuk Plütonu'nun çatıdan sıyrılması (unroofing) ardından bir butoniyere dönüşen batı kısmının jeomorfolojik gelişimini çalışmıştır.

Okay ve Satır (2006), "Türkiye'nin kuzeyindeki Eosen plütonizması ve metamorfizmasının jeokronolojisi: olası magmatik yay için bir kanıt" çalışmalarında 400 km uzunluklu ve 60 km genişliğe sahip Eosen kalk-alkalen intrüzyonlarını içeren bir batı-kuzey batı, doğu-güney doğu uzanımlı kuşak olduğu öne sürmüşlerdir. Eosen'de düşük basınç-yüksek sıcaklık metamorfizması oluşturarak mavişist metapellitlerin içine intrüzyon olduğu belirtmişlerdir.

Altunkaynak (2007), "Kuzeybatı Anadolu'da çarpışma etkisinde gelişen dilim kopması magmatizması, Türkiye" yayınında İzmir-Ankara-Erzincan suture zone boyunca ve zonun kuzeyinde gelişen granitoid plütonların jeokronolojik ve jeokimyasal ilişkilerini incelemiştir. Çizgisel bir trend gösteren plütonların jeokimyasal özelliklerinin çarpışma sonrası magmatizmaya uygun olduğu

belirtmiştir. Saha çalışmaları ile jeokimyasal çalışmalar beraber değerlendirildiğinde Tetis okyanusunun Anatolid-Torid bloğunun Sakarya kıtası ile çarpışmasından sonra uğradığı sıyrılmanın oluşturduğu astenosferik yükselme ile oluşan kısmi ergimenin bu bölgedeki plütonların oluşmasında katkısı olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmaların sonucunda plütonların oluşumu ile alakalı dilim kopması ile tetiklenen bir magmatizma kökeni ortaya koymuştur.

Ertürk (2009), “Göynükbelen Granitoyidi Güneybatı Kesiminin Petrografisi ve Orhaneli Ofiyoliti ile İlişkisi (Bursa)” isimli yüksek lisans tezinde Göynükbelen Granitoyidi’nin petrojenezini, yan kayalarla ilişkisini ve Orhaneli Ofiyoliti’ndeki kontak etkilerini çalışmıştır.

Altunkaynak vd. (2012b), çalışmasında Batı Anadolu’daki Eosen magmatizmasını gözden geçirmiş, karşılaştırmalı jeokronolojik analizler ve izotop jeokimyası analizleri ile bu granitoyidik kütlelerin magma kökeni ve yerleşimi ile alakalı çıkarımlarda bulunmuştur. Batı Anadolu’daki tüm Eosen yaşlı granitleri çalışan yazar, Topuk Plüton’undan zirkon SHRIMP yaş analizi yapmış, ve 48.71 ± 0.44 My yaşını elde etmiştir.

Orhan vd. (2017), Batı Anadolu’daki “Kozbudaklar W-skarn yatağı ile ilişkili Topuk Plüton’unun Jeokimyası” çalışmasında Kozbudaklar skarn yatağının Topuk Plüton’u ve İnönü Mermeri dokanağında meydana geldiğini açıklamıştır. Cu-skarn garnitoyidlerinin jeokimyasal modelleri ile Topuk Plütonu’nun ana iz element konsantrasyonlarının uyumlu olduğunu öne sürmüştür. Dokanak bölgesinde düşük sıcaklık ürünü bulundurmamasının W-skarn yatağının belirgin özelliği olduğunu belirtmiştir. W-skarn granitoyidleri ile Topuk Plütonu ana element içeriğinin oldukça farklı olduğunu açıklamıştır.

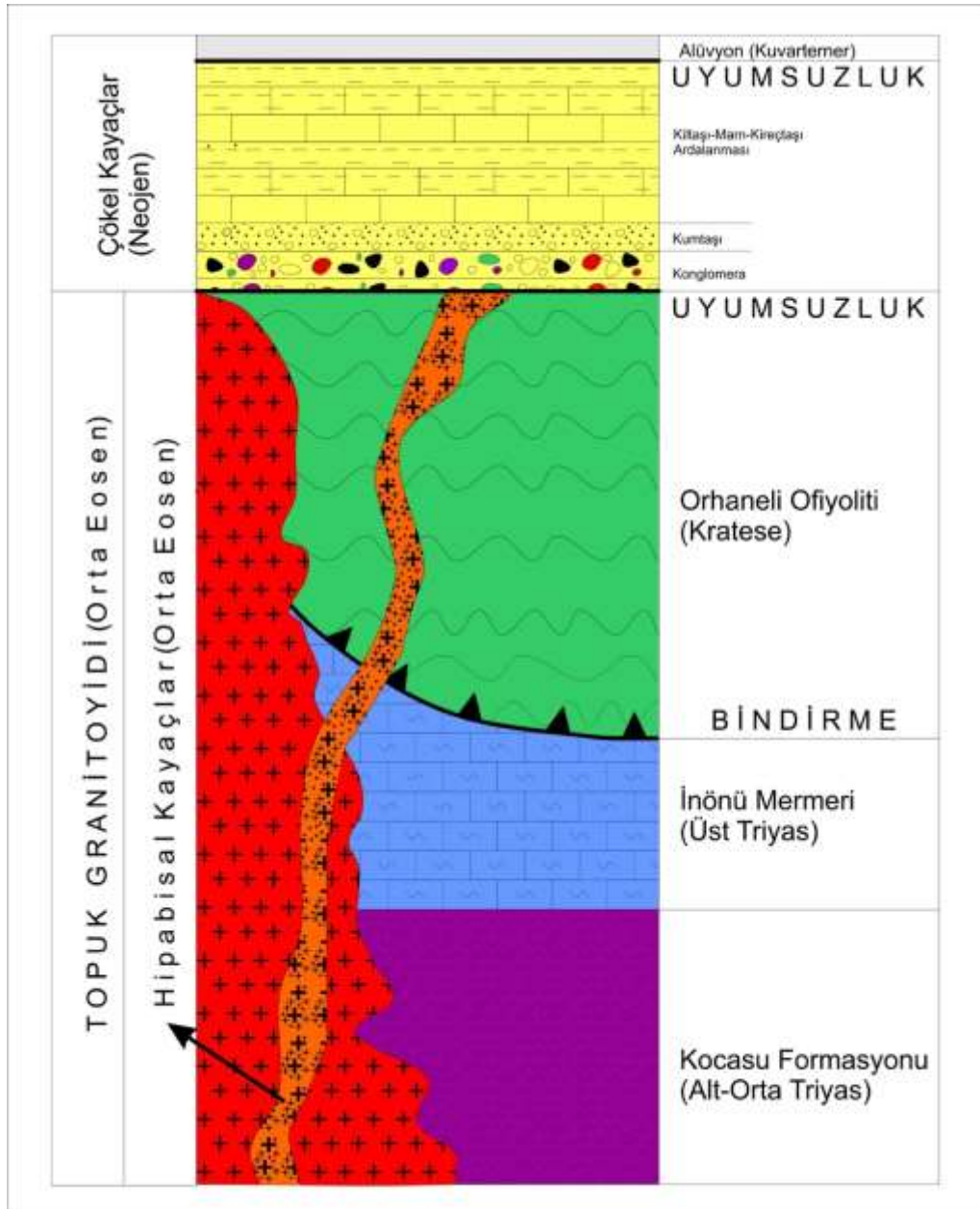


2. STRATİGRAFİK JEOLojİ

Çalışma alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit şekil 1.1’de verilmiştir. İnceleme alanında mostra veren kaya grupları aşağıdaki gibidir;

1. Temel Kayaları
 - a. Kocasu Formasyonu
 - b. İnönü Mermeri
 - c. Orhaneli Ofiyoliti
2. Magmatik Kayaçlar
 - a- Topuk Granitoyidi
 - b- Hipabisal Kayaçlar (Granodiyorit porfir)
3. Çökel Kayaçlar
4. Alüvyon

Aşağıda bu kaya gruplarının saha özellikleri yaşlıdan gence doğru tanıtılmaktadır.



Şekil 2.1: İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.

2.1. Temel Kayaları

Temel kayaları inceleme alanın merkezinde bulunan Topuk Granitoyidinin çevresinde, Kuzeydoğu dokanağı dışında geniş bir alanda mostra vermektedir. İnceleme alanında bulunan temel kayaları Tavşanlı Zonu'na ait Orhaneli grubu ile temsil edilir (Okay, 1985; Okay ve Kelley 1994). Orhaneli grubu yaşlıdan gence sırasıyla Kocasu Formasyonu, İnönü Mermeri ve Orhaneli Ofiyoliti'nden oluşur (Okay ve Kelley, 1994; Okay, 2002; 2004).

2.1.1. Kocasu formasyonu

Kocasu Formasyonu inceleme alanındaki Temel kayalarının görünür tabanını oluşturur (Okay, 1984) ve mavişist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış metapelit ve metabazitlerle temsil edilir (Okay, 2004). İnceleme alanının kuzey, güney ve güneydoğusunda, Baraklı köyü ve Sığireyregi tepesi civarlarında tipik mostraları görünür. Kuzeydeki mostralarında metabazitler egemen iken güneydeki mostralarda metapelitler yaygındır.

Metabazitler metalav ve metatüflerden oluşur. Genellikle yeşilimsi-mavi renklindedir (Şekil 2.2). Sahada metatüfler metalavlara göre daha iyi gelişmiş yapraklanma göstermeleri ile ayrılabilir. İnceleme alanı içindeki, metapelitler ise çoğunlukla sarımsı bej-gri renkli kuvars-mikaşist ve kalkışistlerden oluşur (Şekil 2.3) ve iyi gelişmiş foliasyon ve lineasyon sergiler. Genellikle orta taneli olan kuvars mikaşistler içinde kuvars ve biyotit ve muskovit mineralleri çıplak gözle seçilebilmektedir. Yer yer kuvarşça zengin bantlar nispeten daha ince taneli mikaca zengin bantlarla ardalanmaktadır. Metapelitlerin ilksel özellikleri minerallerin tamamen rekristalize olmasından dolayı anlaşılacakla birlikte Okay (2011) tarafından kumtaşı-şeyl olduğu belirtilmiştir.

Kocasu Formasyonu'nun İnönü Mermeri ile dokanağına yakın kesimlerinde kalkışistler egemen hale gelir ve Delice Köyü civarında olduğu gibi tedrici bir dokanakla İnönü mermerine geçilir.

Kocasu formasyonundan alınan zirkonlardan yapılan yaş analizleri ve saha ilişkileri formasyonun yaşının erken-orta Triyas olduğunu göstermektedir (Okay vd. 2008a, Okay 2009).



Şekil 2.1: Kocasu Formasyonu'na ait yeşil-mavimsi renkli metabazitlerin saha görünümü.



Şekil 2.3: İnceleme alanını'nın güneyinde Delice Köyü civarında gözlenen kalkşistlerin saha görünümü.

2.1.2. İnönü mermeri

İnönü mermeri Topuk Granitoyidi'nin kuzey ve güney dokanakları boyunca Alfathıbeleni, Akgüney, Elmabeleni, Çakıllıbaşı, Kelebekkırı tepeleri civarında yüzlek verir. Birim Servais (1982) tarafından İnönü mermeri olarak adlandırılmıştır. Beyaz, açık gri ve gri renklidir, genellikle masiftir (Şekil 2.4 ve 2.5). Egemen olarak kalsit içeren birim, yer yer dolomitli seviyeler içermektedir.

İnönü mermerinin, Torid Mesozoyik Karbonat Platformunun bir parçası olduğu düşünülmektedir (Okay ve Whitney, 2010). İnceleme alanının dışında Orhaneli doğusunda birimin alt seviyelerinde saptanan konodont fosilleri birimin oluşum yaşının Üst Triyas (Üst Noriyen) olduğuna işaret etmektedir (Kaya vd. 2001; Okay, 2011). İnönü mermeri Kocasu Formasyonu ile uyumlu bir dokanak sergilemekte iken Orhaneli ofiyoliti ile olan dokanağı tektoniktir (bindirme). Gerek İnönü mermeri gerekse Orhaneli ofiyoliti Topuk granitoyidi tarafından Orta Eosen'de intrüzif olarak kesilmiş ve hornblend-hornfels fasiyesinde kontak metamorfiizmaya uğratılmıştır (Ertürk 2009).



Şekil 2.4: İnönü mermerinin Günörlükırı Sırtı civarında gözlenen mostra görüntüsü.



Şekil 2.5: İnönü Mermerine ait mostranın yakından görüntüsü.

2.1.3. Orhaneli ofiyoliti

Temel kayaları içerisinde en geniş alanı kaplayan Orhaneli ofiyoliti, inceleme alanı içerisinde birbirinden kopuk 3 mostra halinde gözlenir. Tipik mostraları Topuk köyünün batısında ve güneyinde görülür.

İnceleme alanında kimi zaman yeşile, kimi zaman mora çalan koyu renkli yüzlekleri ile ayırt edilirler. Yeşil rengin hâkim olduğu bölgelerde, ofiyolit in oldukça serpantinleştiği gözlenmiştir. Serpantinleşmiş kısımlar, sabunsu, kaygan fiziksel yapıları ile kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.

Peridotit (dünit ve lertzolit) ve serpantinittlerden oluşan Orhaneli Ofiyolitinin yastık bazaltları ve levha daykları içermiyor olması, ofiyolit in eksik dizili bir ofiyolit olarak tanımlanmasına sebep olmuştur (Emre, 1986). Orhaneli ofiyolit inin inceleme alanında bulunan üyeleri dünit, lertzolit ve serpantinittir. Dünit sahada fıstık yeşili-sarımsı rengi, lertzolit ise siyahımsı yeşil rengi ile ayırt edilmektedir (Şekil 2.7). Her iki kayaçta da belirgin kromit bantları gözlenir. Serpantinittler ise sahada yeşilimsi mavi rengi ve sabunumsu yapısıyla diğer birimlerden kolaylıkla ayırt edilebilmektedir (Şekil 2.6). Topuk köyü civarında Orhaneli Ofiyoliti içindeki serpantinittlerin arasında manyezit damarları da gözlenir.

Tetis Okyanusu'nun kalıntısı olan Orhaneli ofiyoliti Üst Kretase-Paleosen aralığında içinde İnönü mermeri ve Kocasu Formasyonun da bulunduğu Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı temel kayaları üzerine bindirme ile yerleşmiştir (Lisenbee, 1971, 1972). Orhaneli ofiyoliti, Orta Eosen'de Topuk granitoyidi ve ilişkili hipabisal kayalar tarafından intrüzif olarak kesilmiş ve kontak metamorfizmaya uğramıştır.



Şekil 2.6: Orhaneli ofiyoliti içindeki serpantinitlerin genel saha görüntüsü.



Şekil 2.7: Orhaneli ofiyoliti içindeki peridotitlerin saha görüntüsü.

2.2. Magmatik Kayaçlar

İnceleme alanındaki magmatik kayaçlar Topuk Granitoyidi ve Hipabisal kayaçlarla (Granodiyorit porfir) temsil edilmektedir.

2.2.1. Topuk granitoyidi

İnceleme alanının merkezinde mostra veren Topuk Granitoyidi bu tez çalışmasının ana konusunu oluşturmaktadır. Topuk granitoyidi çalışma alanında batıda Topuk köyü, doğuda Dağdibi köyü ve güneyde Delice köyü arasında yaklaşık 70 km²'lik bir alan kaplayan D-B uzanımlı plütonik bir kütledir.

Plüton, daha önceki çalışmalarda Göynükbelen Granitoyidi (Emre, 1986) olarak isimlendirilmiştir, fakat çoğunlukla plütonun batı sınırında bulunan Topuk köyü ile ilişkilendirilerek, “Topuk Granitoyidi” (Lisenbee, 1972) ismi kullanılmıştır. Bu çalışmada da Topuk Granitoyidi isimlendirmesi kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan Saha incelemeleri ve petrografik analizler birlikte değerlendirildiğinde Topuk granitoyidi içinde üç farklı üyenin bulunduğu gözlenmiştir:

1. Granodiyorit Ana Kütlesi

2. Mafik Mikrogranüler Anklavlar

3. Kuvars porfir ve Aplit Daykları

Topuk Granitoyidi'nin ana kütlesi orta ince taneli açık gri renkli ve egemen olarak granodiyorit bile imlidir ( ekil 2.8). Genellikle holokristalen porfirik dokulu olan Topuk plütonu ( ekil 2.9), yer yer granüler doku sergiler. Granodiyoriti oluşturan plajiyoklaz, kuvars ve alkali feldspat mineralleri çıplak gözle seçilebilmektedir. Mafik mineraller ise biyotit ve amfibol ile temsil edilir.

Pl tonda kavlanma ve arenala ma yaygındır ( ekil 2.17). Kenar zonlarına yakın kısımlarda   l  eklem takımları geli mi tir ( ekil 2.18). Eklem takımlarına ba lı gelişen küresel ayrışmanın ilerleyen aşamalarında granodiyoritler yer yer ana kütleden kopmuş, yuvarlak bloklar halinde gözlenir. Plüton faylı dokanaklarında kataklastik deformasyon sergilemektedir.



Şekil 2.8: Topuk granitoidinin Topuk köyü civarında gözlenen genel saha görüntüsü.



Şekil 2.9: Topuk granitoidinin yakından görüntüsü.



Şekil 2.10: Ana kütleden kopan yuvarlak bloklar halinde Topuk Granitoidi'nin görüntüsü.

Plüton yine dokanak zonlarına doğru bol miktarda metamorfik ksenolitler ve mafik mikrogranüler anklavlar içermektedir (Şekil 2.11, 2.12 ve 2.13). Mafik mikrogranüler anklavlar magmatik dokuları (mikrogranüler), yüksek mafik mineral oranları ve koyu renkleri ile metamorfik ksenolitlerden ayırt edilir. Genellikle diyorit-kuvars diyorit bileşimli olan magmatik anklavlar elips veya yuvarlak şekillidirler ve boyutları 40 cm'den 1-2 cm'ye kadar değişmektedir. Yer yer kısmen özümsemiş olduklarına işaret eden reaksiyon dokuları (korozyon) sergilerler. Bileşimsel benzerlikleri, mafik mineral içerikleri ve mikrogranüler dokuları nedeni ile “mafik mikrogranüler anklavlar” (Didier ve Barbarin, 1991) hısım anklav olarak değerlendirilmiştir. Plüton Kocasu metamorfitleri ve Orhaneli Ofiyolitine ait kayaları ksenolit olarak içine almıştır. Bu ksenolitlerin boyutları ve miktarı dokanak zonlarına doğru artmaktadır. Ksenolitlerin boyutları 1 cm ile 8 metre arasında değişmektedir. Seferiışıklar köyü civarında gözlenen 8 m büyüklüğündeki ofiyolit parçası tavandan koparılmış dev bir parça olarak değerlendirilmiştir (Şekil 2.14). Plütonun Orhaneli ofiyoliti ve İnönü mermeri ile olan bazı dokanaklarıdaki ilişkisi tavanda asılı kalmış “Roof Pendant” özelliği sergilemektedir (Şekil 2.15).



Şekil 2.11: Topuk granitoyidi içinde bulunan mafik mikrogranüler anklavın saha görüntüsü.



Şekil 2.12: Topuk granitoyidi içinde bulunan mafik mikrogranüler anklavın saha görüntüsü.



Şekil 2.13: Topuk granitoyidi ile Orhaneli Ofiyoliti dokanağının mostra görüntüsü.



Şekil 2.14: Topuk granitoyidi içindeki Orhaneli Ofiyoliti'ne ait dev ksenolit görüntüsü.



Şekil 2.15: Topuk granitoyidi ile İnönü mermeri arasında “Roof Pendant” yapıllı intrüsif dokanak.

Aplit daykları açık renkli, ince aplitik mikrogranüler dokusu ile sahada kolayca tanınmaktadır (Şekil 2.18). İçlerindeki mafik mineral oranı çok azdır ($<5\%$), taneler

çoğunlukla ana kütleyle göre çok daha incedir. Mikrogranüler, faneritik dokuya sahiptirler. Aplit dayklarının genişlikleri 1 cm ile 60 cm arasında değişmektedir. Egemen olarak Kuvars, alkali feldispat ve plajiyoklaz minerallerinden oluşur. Yer yer plüton ile birlikte plastik deformasyon sergilemeleri ve birincil eklem takımları içine yerleşmeleri bunların plüton ile eş yaşı olarak sokulmuş geç farklılaşma ürünleri olduğuna işaret etmektedir (Şekil 2.16). Plüton içindeki eklem takımları boyunca yerleşen aplit ve kuvars porfir daykları hem plütonu hem de çevre kayaları kesmektedir (Şekil 2.17 ve 2.20).



Şekil 2.16: Topuk granitoyidini kesen aplitik daykların ve gösterdikleri plastik deformasyon yapısının saha görüntüsü.



Şekil 2.17: Topuk granitoyidini kesen aplit daykları ve kavlanma görüntüsü.



2.18: Topuk granitoyidi'nde gözlenen üçlü eklem takımları ve içlerinde bulunan aplit daykları.

Topuk granitoyidi, Tavşanlı zonunun Orhaneli grubuna ait Kocası Formasyonu, İnönü Mermeri ve Orhaneli Ofiyoliti'nin içine intrüsif olarak yerleşmiştir. Orhaneli ofitoliti ve İnönü mermeri ile olan dokanak zonlarında Topuk granitoyidine ait apofizler

gözlenir (Şekil 2.19). Topuk Granitoyidi üzerinde daha önceki araştırmacılar tarafından farklı metodlarla yaş tayinleri yapılmıştır. Bunlar; zirkon SHRIMP yaşı 48.71 ± 0.44 (Altunkaynak vd. 2012a), Ar-Ar hornblend yaşı 48.71 ± 0.4 (Harris vd. 1994), göre K-Ar hornblend yaşı 56.1 ± 1.1 ; K-Ar biyotit yaşları 43 ± 2.7 , 50.9 ± 1 , 48.9 ± 1 ; K-Ar biyotit+hornblend yaşı 47.4 ± 1 ; ve K-Ar ortoklaz yaşı 49.8 ± 2.7 (Delaloye ve Bingöl 2000)'dir. Önceki çalışmalardan elde edilen bu yaş verilerine göre Topuk granitoyidi'nin yaşı Orta Eosen'dir.



Şekil 2.19: İnönü Mermeri içinde Topuk granitoyidi'ne ait apofiz yapısı.

2. 2. 2. Hipabisal kayaçlar (Granodiyorit porfir)

Yapılan saha ve petrografi çalışmalarına göre, inceleme alanında mostra veren hipabisal (yarı derinlik) kayalar ana plüton kütesine benzer bir şekilde egemen olarak granodiyorit bileşimlidir. Çok ince taneli kuvars, K-feldispat ve plajiyoklaz kristallerinden oluşan mikrokristalen hamur içinde bulunan iri plajiyoklaz fenokristalleri ile belirgin, porfirik dokuları tipiktir. Bu özellikleri ile ana granodiyorti kütesinden ayırt edilebilen hipabisal kayalar sahada granodiyorit porfir olarak adlandırılmışlardır. Granodiyorit porfirler mafik mineral olarak biyotit ve hornblend içermektedir.

Önceki çalışmalarda ayırtlanmayan bu birimin tipik mostraları Topuk köyünün güneyinde Dedebeledi Tepesi civarında ve plütonun kuzeyinde Sığireyregi ve Sarıkaya sırtlarında izlenmektedir. İnceleme alanında gözlenen granodiyorit porfir daykları melanokrat olmaları ile kuvars porfir ve aplit dayklarından kolaylıkla ayırt edilebilmektedir (Şekil 2.21) Porfiritle, Temel kayaları ve Topuk granitoyidi içine de zayıflık zonları boyunca sokulmuş dayk ve dayk kümeleri halinde, bazen de stoklar halinde yerleşmiştir (Şekil 2.20). Daykların kalınlığı 30-40 cm arasında değişir.

Granodiyorit porfirler genellikle yeşil-gri renklidir. Yaygın olarak hidrotermal alterasyona uğramıştır. Hidrotermal alterasyon sonucu renkleri krem-beyaz tonlarına değişir.

Granodiyorit Porfirlerin yarı derinlik kayalarına özgü dokular sergilemeleri, zayıflık zonları boyunca sokularak dayk ve dayk kümeleri oluşturmaları ve kalınlıklarının çok fazla olmayışı bu kaya grubunun levha sokulum ürünleri olduklarını düşündürmektedir. Granodiyorit porfirlerden alınmış herhangi bir radyometrik yaş verisi yoktur. Ancak bunların plütonu kesmesi yer yer de Topuk Granitoidine ait aplit, kuvars porfir daykları ile kesilmiş olması plütonla eş yaşı (Orta Eosen) olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 2.20: İnceleme alanında gözlenen hipabisal kayaçların genel mostra görüntüsü.



Şekil 2.21: İnceleme alanında gözlenen hipabisal kayaçların yakından görünümü.

2.3. Çökel Kayaçlar

Çökel kayaçlar, inceleme alanının en doğu kısmında yayılım gösterir, kuzeyde Küçükdeliler, Büyükdeliler ve Epçeler köylerini içine alarak, K-G doğrultulu bir şekilde güneyde Baraklı köyüne kadar devam eder.

Çökel istifin en alt kısmında, konglomera ve kumtaşları temel kayalarının üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Genellikle sarı-bej renklerinde görülürler, alterasyon renkleri turuncu-kızıldır. Konglomeralar kötü boylanmalıdır ve köşeli yarı köşeli polijenik çakıllardan oluşmuştur (Şekil 2.23). Çakılların egemen olarak temel kayaları ve Topuk granitoyidinden derlenmiştir (Şekil 2.22). Bu nedenle taban konglomerası olarak değerlendirilmiştir. İstifte üste doğru konglomeraların çakıl boyutu inceler ve kumtaşlarına geçilir. Kumtaşları bej-açık sarı-kahve renklidir ve gevşek tutturulmuştur. İstif daha üste doğru kireçtaşı-killi kireçtaşı, kilitaşı ve marn aralanmasına geçer (Şekil 2.24). Kireçtaşları ve killi kireçtaşları bej, açık kahve, açık gri renklerinde olup genellikle mikritiktir ve mikrofosillidir. Kilitaşları ve marnlar yeşil-yeşilimsi gri renklerindedir. İstif Nilüfer çayının oluşturduğu Kuvaterner yaşlı alüvyon tarafından uyumsuzlukla örtülür.

İstifin yaşı daha önceki çalışmacılar tarafından Geç Miyosen-Pliyosen olarak değerlendirilmiştir (Varol vd. 1997; Taner vd. 1997). Bu çalışmada ise yaşı neojen olarak genelleştirilmiştir.



Şekil 2.22: Temel kayalarını örten taban konglomasının ve içindeki granit parçasının yakından görünümü.



Şekil 2.23: Çökel topluluk içinde gözlenen konglomeranın saha görüntüsü.



Şekil 2.24: Çökel topluluk içinde gözlenen kireçtaşı ve marn ardalanmasının saha görüntüsü.

2.4. Alüvyon

Çalışma alanının kuzeyinde, kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı Nilüfer çayının alüvyonu bölgedeki tüm kayaçları uyumsuzlukla örtmektedir. Nilüfer çayı alüvyonları Kocasu Metamorfikleri, İnönü mermeri, Orhaneli Ofiyoliti ve Topuk Granitoyidine ait blokları ve çakılları içerir. Çay günümüzde hala akmaya devam etmektedir, bu nedenle alüvyonun yaşı Kuvarterner'dir.





3. PETROGRAFİ

Petrografi bölümünde Topuk granitoyidi ve çevresinde bulunan kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri tanıtılacaktır.

3.1. Kocası Formasyonu

Kocası formasyonu, mavişist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış bazik bileşimli metatüf-metalav ve metapelitlerden oluşmaktadır. Kocası formasyonuna ait metatüf ve metalavların mineral parajenezi klorit+albit+epidot+glokofan olarak belirlenmiştir (Şekil 3.1).

Metapelitik kayaçlar kuvars mika şist, mikaşist ve kalkşistlerden oluşur (Şekil 3.2). Şistlerde görülen mineral parajenezi: biyotit/muskovit +albit + klorit + kuvars + kalsit'tir.

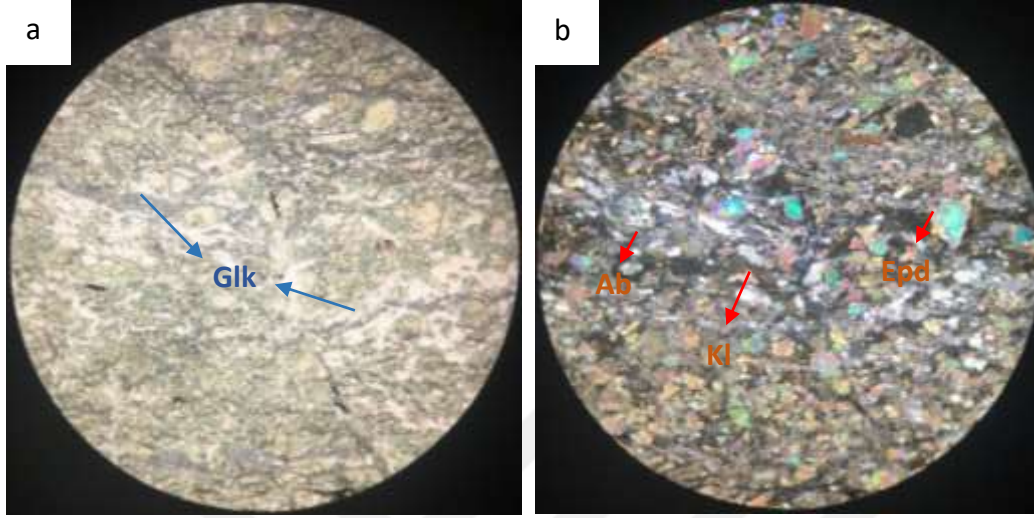
Kocası formasyonuna ait kayaçlar (metalav-metatüf ve metapelitler) lepidoblastik-mikrolepidoblastik dokuya sahiptir. Biyotit, muskovit ve kloritlerin birbirine paralel dizilimi ile iyi gelişmiş şistozite gözlenir. Şistozite metatüflerde glokofan ve kloritin dizilimi ile belirgindir. Metalavlar belirgin bir şistozite göstermezler.

Klorit: Kayaçta %25-35 modal oranında bulunmaktadır. Tek nikolde açık yeşil çift nikolde koyu yeşil renktedir. Düşük rölyefe sahiptir. Foliasyon düzlemlerine paralel olarak gelişmiştir.

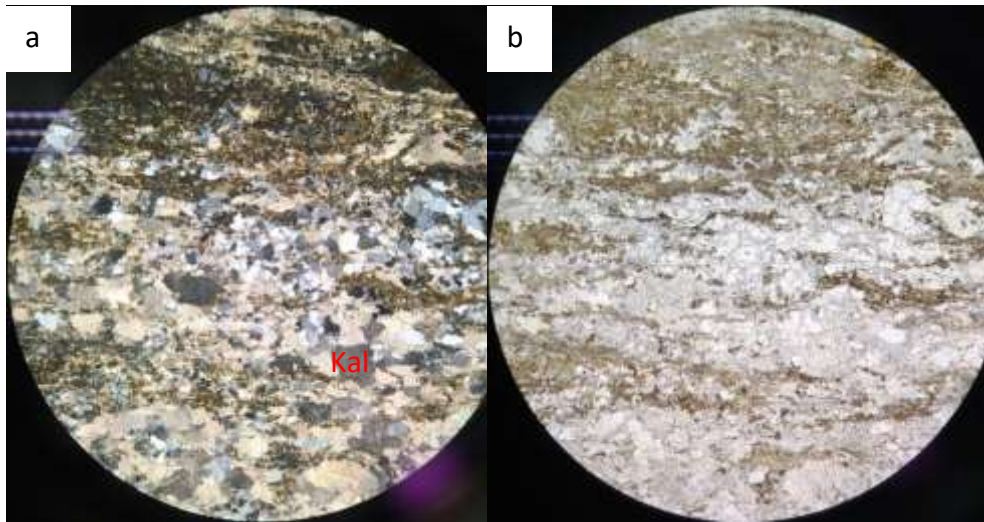
Epidot: Kocası Formasyonu'nda %20-25 modal oranında bulunur. Tek nikolde açık yeşil gözükrken çift nikolde yüksek girişim renkleri ile ayırt edilir. Yüksek rölyeflidir. Yarı özşekilli kristaller şeklinde görülmektedir.

Albit: Örneklerde %15-20 modal oranında bulunmaktadır. Tek nikolde renksiz olup çift nikolde beyaz renk sergilemektedir. Düşük rölyefe sahiptir. İncelenen örneklerde şekilsiz küçük kristaller şeklinde bulunmaktadır.

Glokofan: Kayaçta %15-25 modal oranında bulunmaktadır. Tek nikolde açık mavi olup çift nikolde mavi renktedir. İnce taneler şeklinde kloritlerle birlikte foliasyona paralel gelişmişlerdir.



Şekil 3.1: Kocasu formasyonu'nda görülen metatüflerin optik mikroskoptaki görüntüsü. (Örnek numarası: GA59, 10x, a: Tek nikol, b: Çift nikol)



Şekil 3.2: Kocasu formasyonu'nda görülen metapelitlerin optik mikroskoptaki görüntüsü (Kal: Kalsit. Örnek numarası: GA50a, 10x, a: Tek nikol, b: Çift nikol)

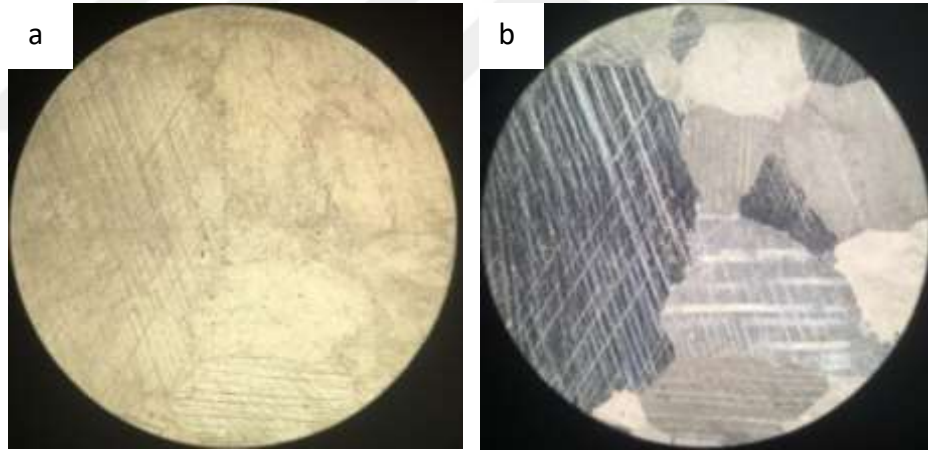
3.2. İnönü Mermeri

Mineral parajenezi petrografik incelemelere göre kalsit $\mp$ dolomit olarak belirlenmiştir.

Doku: İnönü mermerine ait metakarbonatlar granoblastik doku göstermektedir (Şekil 3.3).

Kalsit: İnönü mermeri neredeyse tamamıyla ($\sim$ %90) kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Doğal ışıktaki renksiz, çapraz ışıktaki beyaz-bej renklerinde görülürler. Kalsit kristallerindeki romboedrik dilimimiler açıkça görülebilmektedir, yer yer ikizlenme gösterirler. Birbirleri ile olan dokanakları poligonaldır ve birlikte granoblastik dokuyu oluştururlar.

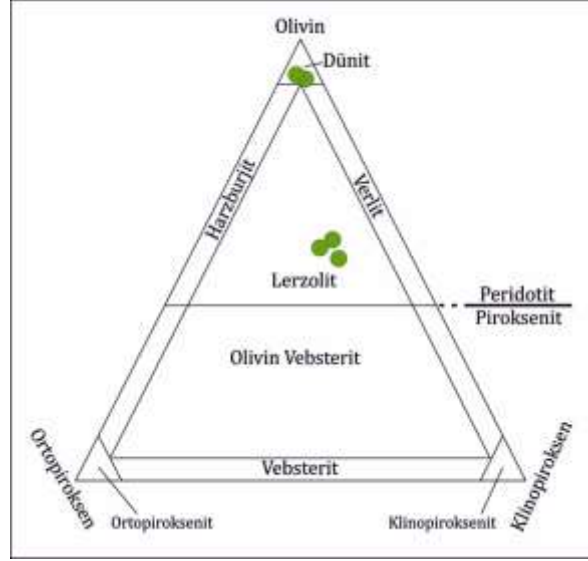
Dolomit: Kayaçta %0 ile 40 arasında bulunabilmektedir. Tek nikolde renksiz, çift nikolde grimsi-beyazımsı renklerde görülür. Özşekilsizdir. Kalsit kristallerinde olduğu gibi poligonal dokanak sergilerler.



Şekil 3.3: İnönü mermeri'nde görülen kalsit ve dolomit kristalleri) (Örnek numarası: GA82, 4x, a: Tek nikol, b: Çift nikol)

3.2. Orhaneli Ofiyoliti

Orhaneli ofiyolitinden derlenen örnekler üzerinde yapılan petrografik incelemeler, bunların dünit, lertzolit ve serpantinitlerden oluştuğunu göstermiştir. Dünitlerin mineral bileşimi %85-90 Olivin, %0-10 Klinopiroksen iken, lertzolitte %50-55 olivin, %20-25 ortopiroksen, %10-15 klinopiroksen, %5-10 krom minerali içermektedir (Şekil 3.4). Genel olarak kümülat dokusu sergilerler. Serpantinitler %85-90 Serpantin ve %2-10 Olivin içermektedir.



Şekil 3.4: Orhaneli ofiyolitine ait örneklerin Ultramafik kayaç sınıflaması için kullanılan Olivin-Ortopiroksen-klinopiroksen üçgen diyagramındaki konumları

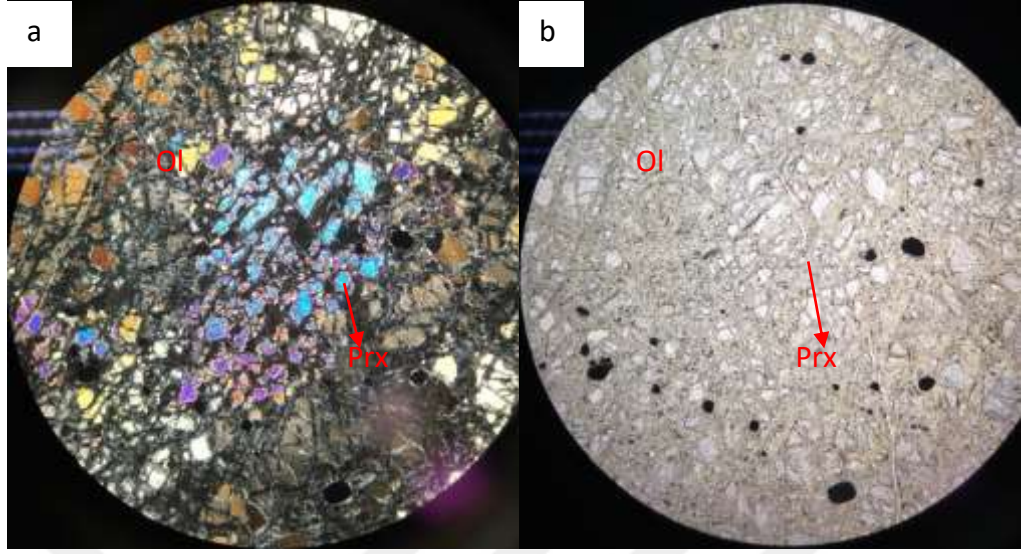
Peridotitlerde bulunan minerallerin optik özellikleri aşağıdaki gibidir.

Olivin: Peridotit içerisinde en çok bulunan mineraldir (Şekil 3.5). Dünitlerin ana minerali olan olivin, lerzolitte yaklaşık %50-55 oranında bulunmaktadır. Tek nikolde renksiz, çift nikolde yüksek girişim rengi sergiler. Yüksek rölyefe sahiptir. Özşekilsiz kristaller şeklindedir. Olivin kristalleri değişik oranlarda serpantinleşme göstermektedir.

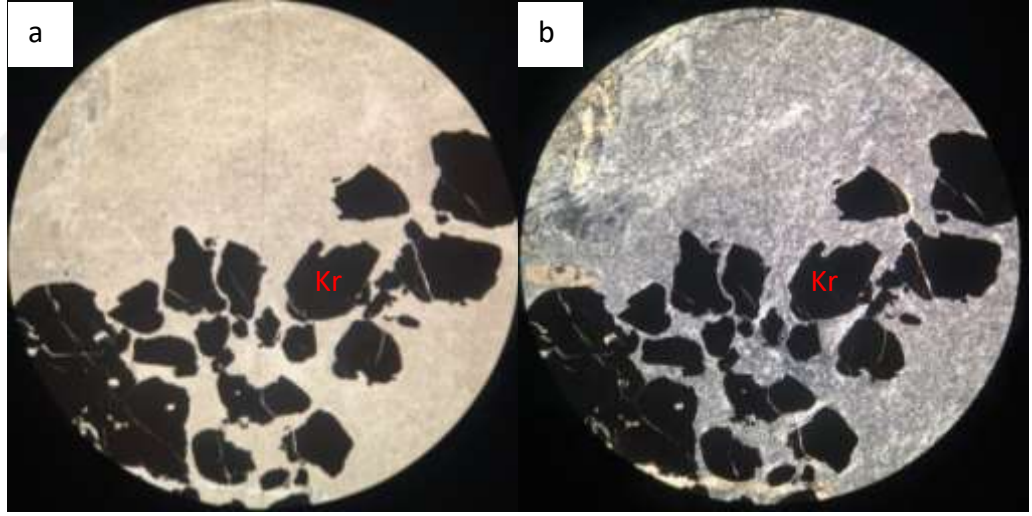
Ortopiroksen: Lerzolitte %20-25 oranında bulunur. Paralel sönme göstermeleri ve düşük girişim renkleri ile klinopiroksenlerden ayrılır.

Klinopiroksen: Lerzolit örneklerde %10-15 modal oranında bulunmaktadır. Tek nikolde renksiz, çift nikolde yüksek girişim rengine sahiptir.

Serpantinit kayaçlarında çok yüksek oranda serpantin minerali bulunur (Şekil 3.6). Serpantin minerali, olivin mineralinin ileri derecede alterasyona uğraması ile oluşmuştur. Kayaç çoğunlukla serpantinleşmiş olmasına rağmen %0-10 oranında, çok küçük taneli olivin minerallerine rastlanabilir. Serpantinit kayaçlarında opak mineral olarak kromit minerallerine rastlanmaktadır. Kromit mineralleri kayaç içinde bantlar oluşturmaktadır.

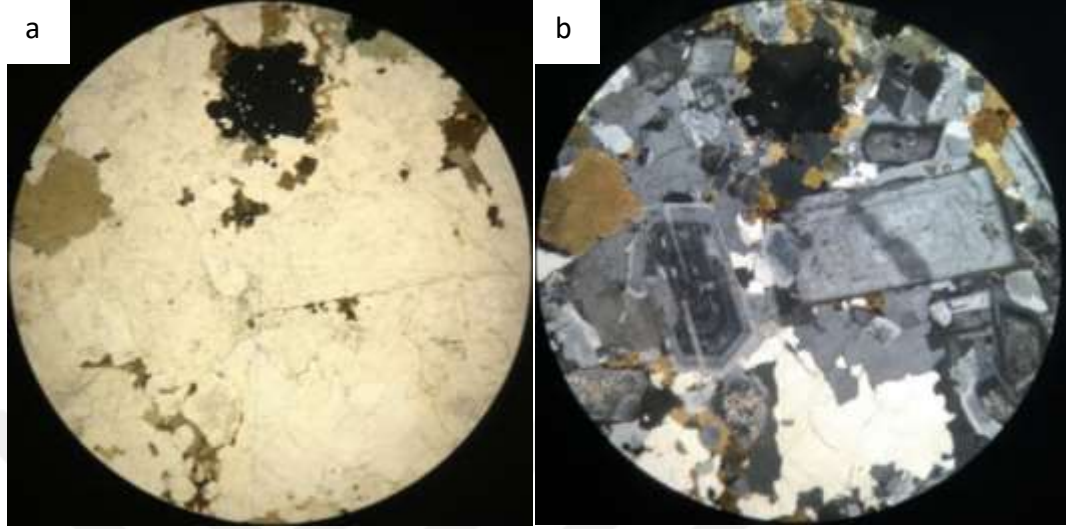


Şekil 3.5: İleri derecede serpantinleşmiş peridotit (Prx: Piroksen, Ol: Olivin; Örnek numarası: GA92, 4x, a: Tek nikol, b: Çift nikol)

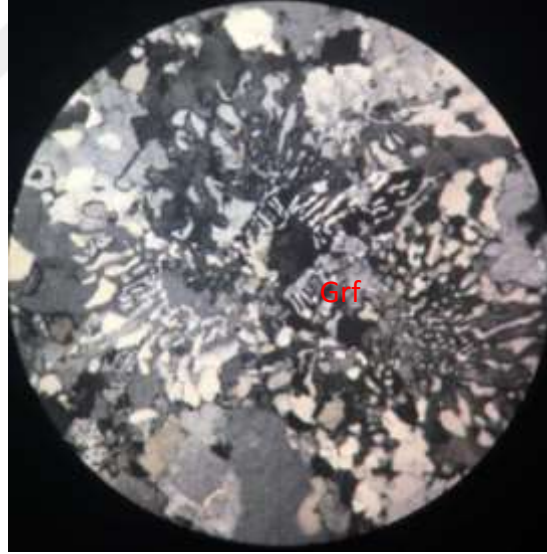


Şekil 3.6: Serpantinit kayacında bulunan kromit mineralleri. (Kr: Kromit, Örnek numarası: GA6B, 2.5x, a: Tek nikol, b: Çift nikol)

Doku: Granodiyorit doku genellikle holokristalen porfirik, yer yer granülerdir. (Şekil 3.8). Bu dokuların yanısıra bazı örneklerin grafik dokular sergiledikleri gözlenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.8: Topuk granodiyoritinde holokristalen porfirik doku. (Örnek numarası: GA107, 4x, a: Tek nikol, b: Çift nikol)



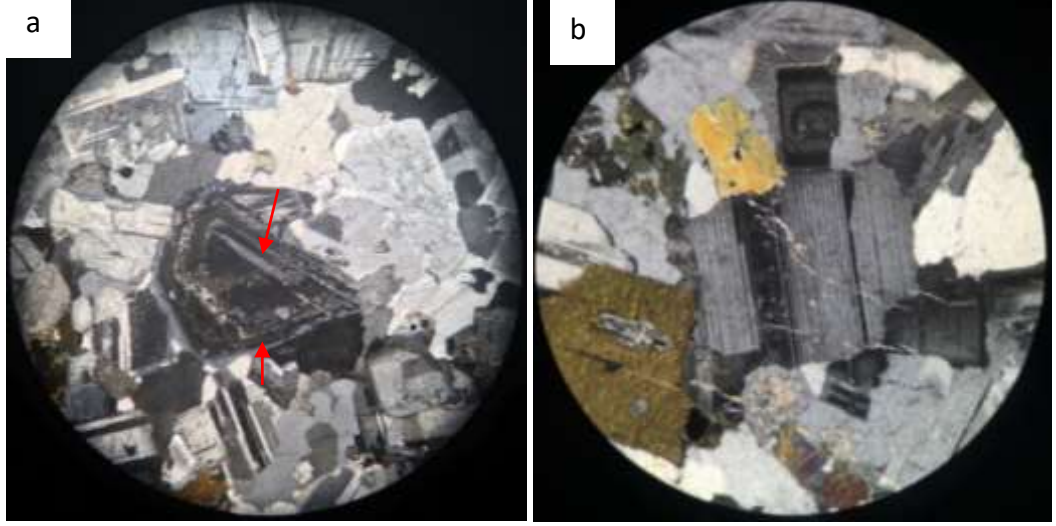
Şekil 3.9: Topuk granitoidinde bulunan alkali feldispat ve kuvarsın ötektik kristallenmesi sonucu oluşan grafik doku. (Grt: Grafik doku, Örnek numarası: GA42E, 10x, Çift nikol)

Topuk granodiyoriti'ni oluşturan minerallerin optik özellikleri aşağıda özetlenmektedir.

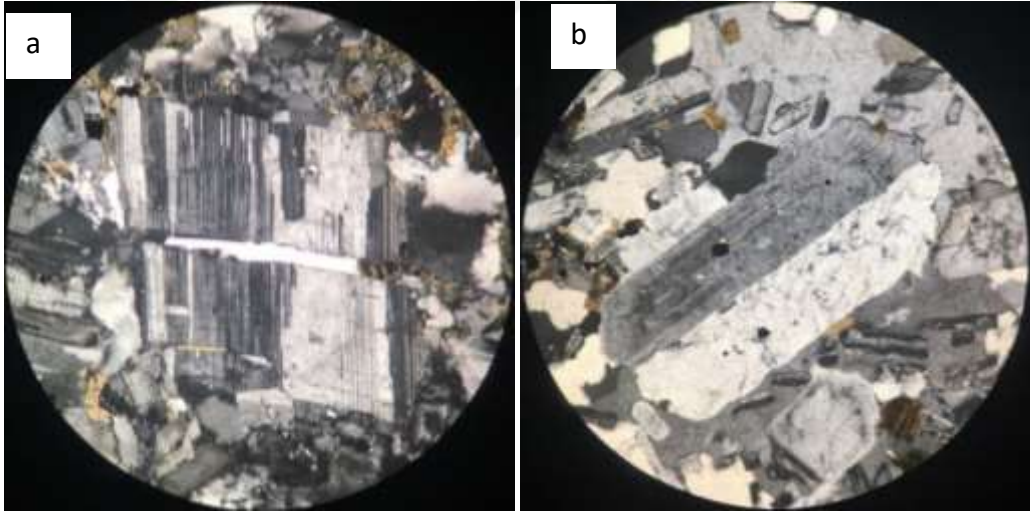
Plajiyoklaz: Topuk Granodiyoriti'ni oluşturan minerallerin en yaygın olanıdır. İnce kesitlerde, plajiyoklaz mineralleri %40-50 modal oranında bulunmaktadır. Tek nikolde tamamen renksiz, rlyepleri düşük, çoğunlukla idiomorfik ve hipidiyomorfik kristaller halinde bulunurlar. Pleokroizma göstermezler. Plajiyoklazlarda ikizlenme ve zonlanma yaygındır (şekil 3.10). Çoğunlukla polisentetik albit ikizi ve albit-karlsbad ikizleri görülür. Normal ve kompleks zonlanmalar gösterirler. Snme açıları 11-35 derece arasında değişir, plajiyoklaz bileşimlerinin andezin (An_{30-35}) ve oligoklas (An_{25-30}) cinslerinde olduğu görülmektedir. Kayaçlarda çoğunlukla iki çeşit plajiyoklaz jenerasyonu bulunmaktadır, İlk jenerasyon iri, idiomorfik plajiyoklaz kristalleridir. Bunların diğer minerallerle olan sınırları keskin ve düzenli, kendi aralarındaki dokanaklar ise giriktir. Bu jenerasyonun plajiyoklaz kristallerinde kimi zaman sinensis (birlikte büyüme) dokuları gözlenir (şekil 3.12). Bazı örneklerde, birden fazla plajiyoklaz kristalinin daha sonradan gelişmiş bir hale ile çevrelendiği görülmektedir. İkinci jenerasyon, daha geç evrede gelişmiş birinci jenerasyon plajiyoklazlarına göre nispeten daha kk ksenomorfik veya hipidiyomorfik plajiyoklaz kristalleri ile temsil edilir.

Plajiyoklazlar genellikle hornblend ve plajiyoklaz inklüzyonları içerirler (şekil 3.11). Bu inklüzyonlar mineralin içinde gelişigüzel dağılabildikleri gibi, bazı örneklerde ise belirli zonlar ve dilimler boyunca yoğunlaşarak “Schiller inklüzyonu” düzeni göstermektedirler.

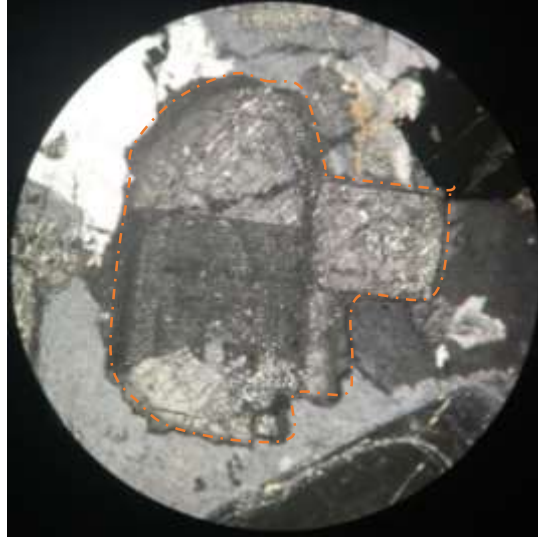
Altere örneklerde plajiyoklaz kristallerinde serizitleşme görülmektedir (şekil 3.13).



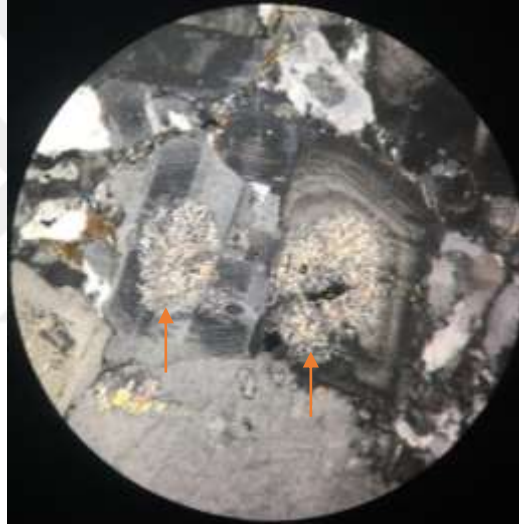
Şekil 3.10: Plajiyoklaz kristallerinde gözlenen zonlanma ve ikizlenme. a: ilk evrede gelişmiş zonlu plajiyolaz ve çevresinde geç evrede gelişmiş taze ve kapantısız zon b: Plajiyoklaz kristalindeki polisentetik ikizlenme (a: Örnek numarası: GA100, 2.5x, ÇN, b: Örnek numarası: GA87, 4x, ÇN)



Şekil 3.11: Plajiyoklaz kristalleri içinde gözlenen biyotit ve opak mineral inklüzyonları. (a: Örnek numarası: GA119, 10x, Çift nikol) (b: Örnek numarası: GA103, 10x, Çift nikol)

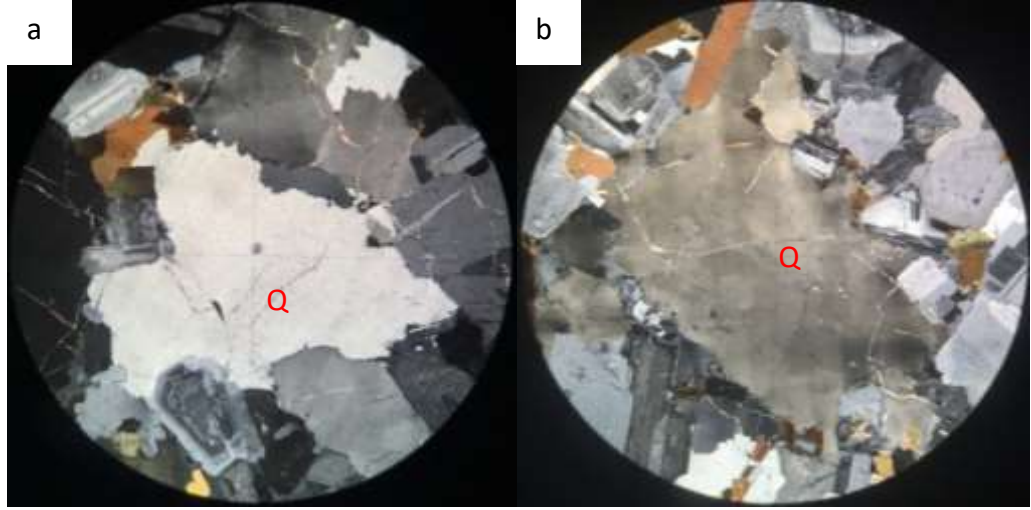


Şekil 3.12: Plajiyoklaz kristallerinde gözlenen syntaxis dokusu (Örnek numarası: GA89, 10x, Çift nikol)



Şekil 3.13: İkizli ve zonlu plajiyoklaz kristallerinde merkezden itibaren gelişim gösteren serizitleşme (Örnek numarası: GA119, 4x, Çift nikol)

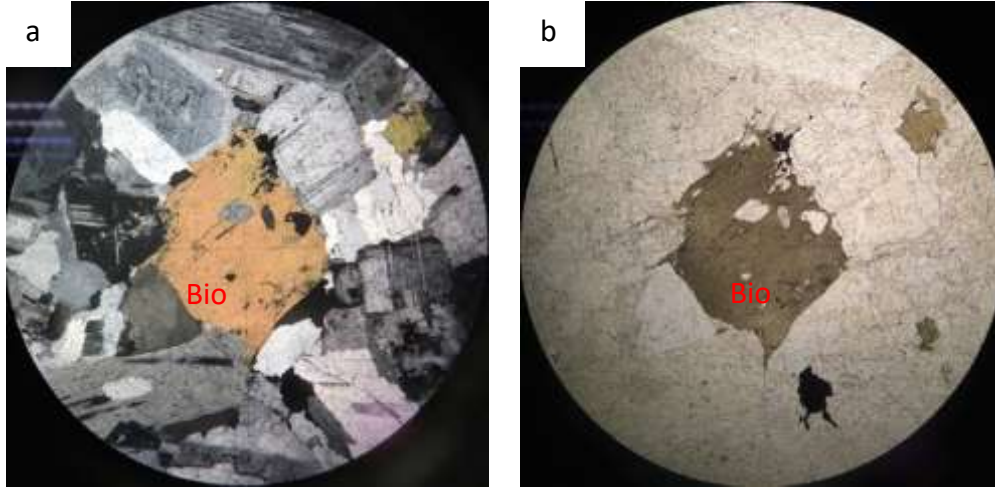
Kuvars: Granodiyoritte %28-33 modal oranında bulunan Kuvars minerali, orta-küçük boylu ksenomorfik kristaller şeklinde görülür. Alkali feldispat ve Kuvars kristalleri birlikte daha önceden oluşmuş kristallerin arasında intersitisiyal olarak geç evrede gelişmişlerdir. Faylara yakın alanlardaki kataklastik granodiyoritteki kuvars minerallerinde dalgalı sönme yaygındır (Şekil 3.14), ayrıca bu alanlarda rekristalize kuvarslar da görülür. Bu rekristalizasyonlar kuvars minerallerinin küçük taneler halinde ve iç içe geçmiş şekilde, kimi zaman da belli bir yönelimde görülmeleri ile tanımlanır.



Şekil 3.14: Deforme granodiyoritlerde dalgalı sönme gösteren kuvars kristalleri (Q: Kuvars) (Q: Kuvars, Örnek numarası: GA87, 4x, Çift nikol)

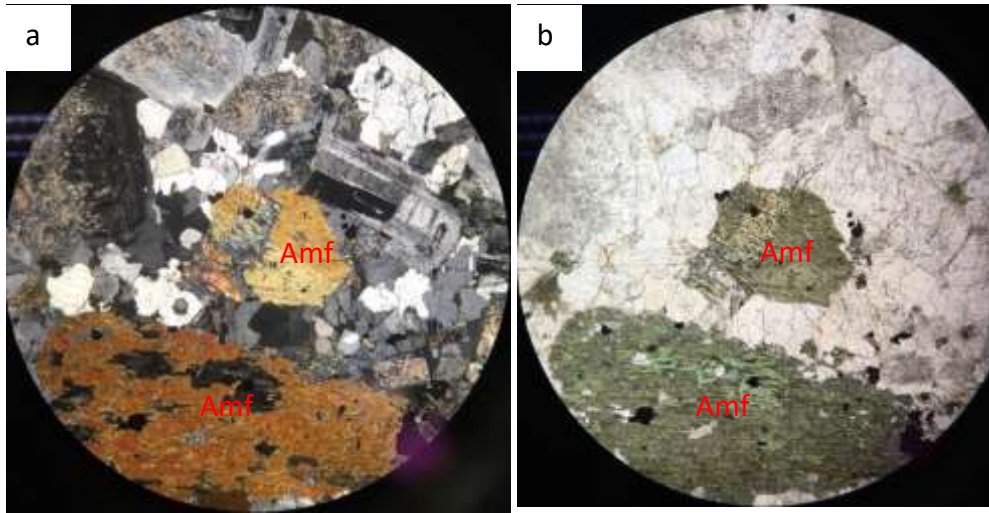
Alkali Feldspat: Granodiyorit bileşimli kayalarda alkali feldspat minerali oranı %30-35 arasında değişir. Yaygın olarak ortoklas ile temsil edilirler, nadiren Karlsbad ikizlenmesi gösterirler. Pertit gelişimleri yaygındır ve lifsi, şer ve yamalı pertitler ile temsil edilir. Ortoklaslar ksenomorfik kristaller halinde geç evrede kristallenmişlerdir. İri ortoklaslar hornblend, biyotit ve plajiyoklaz minerallerini içine alarak büyümüşdür ve poiklitik doku sergilerler. Bazı örneklerde ortoklas ve kuvarsın birlikte büyüyerek ötektik kristallenmeye işaret eden grafik doku oluşturdıkları görülür. Killeşme yaygındır.

Biyotit: Topuk grandiyoritinde %2-8 arasında değişen oranlarda bulunur. Kayada genellikle idiomorfik, hipidiyomorfik kristaller halinde bulunmaktadır. İri kristalleri olduğu gibi küçük kristaller halinde de görülür. Kahverengi-yeşilimsi pleokroizma renkleri sergiler, tek yöndeki dilinimleri oldukça belirgindir. Dilinim düzlemleri boyunca yer yer kloritleşme gösterirler. Plajiyoklaz, apatit, zirkon ve opak mineral inklüzyonları yaygındır (Şekil 3.15). Ayrıca plajiyoklaz, alkali feldispatlar içinde kapantı olarak da görülürler.



Şekil 3.15: Topuk granitoyidine ait granodiyorit ana kütlesinde görülen biyotit minerali ve plajiyoklaz inklüzyonu. (Bio: Biyotit, Örnek numarası: GA134, 4x, a: Tek nikol, b: Çift nikol)

Hornblend: Granodiyoritlerde %4-9 modal oranında bulunur. Hornblend kristalleri çoğunlukla hipidiyomorfik ve idiyomorfiktir, boyutları değişkendir (Şekil 3.16). 2 yönde, yaklaşık 120° açılı dilinim gösterirler. Pleokroizma gösterir; renkleri yeşilimsi kahverengi ve kahverengi arasında değişir. Apatit, zirkon, sfen ve plajiyoklaz inklüzyonları içermektedir. Hornblendlerde alterasyon olarak kloritleşme yaygındır.



Şekil 3.16: Topuk granitoyidine ait granodiyorit ana kütlesinde kısmen kloritleşmiş hornblend mineralleri. (Amf: Amfibol, Örnek numarası: GA107, 4x, a: Tek nikol, b: Çift nikol)

Apatit, zirkon ve opak mineraller: Topuk granitoyidinde aksesuar mineraller olarak bulunurlar. Küçük, özşekilli-yarı özşekilli kristaller halinde, diğer minerallerin içinde inklüzyon olarak görünürler.

Serisit, klorit, kalsit ve kil mineralleri: Topuk granitoidinin katılaşması sonrasında gelişen alterasyon mineralleridir. Alterasyon nedeni ile feldispat grubu mineraller serisit ve kil minerallerine, amfibol ve biyotit ise klorite dönüşmüştür. Kalsit mineralleri özellikle deforme veya altere özellik gösteren bazı örneklerde küçük kristalli damarlar halinde görülür.

3.3.2. Mafik mikrogranüler anklavlar

Topuk granodiyoriti içinde gözlenen anklavların magmatik dokusu belirgindir. Holokristalen mikrogranüler dokuları ve mafik mineralce zengin olmaları sebebi ile mafik magmatik anklavlar ya da mikrogranüler magmatik anklavlar (MME: Didier ve Barbarin 1991) olarak değerlendirilmiştir. Mafik mikrogranüler anklavlar içinde bulundukları granodiyoritlere göre koyu renkli (melanokrat-mezokrat) ve ince tanelidirler. Birçok örnekte ana kayayla olan dokanıkları keskindir ve ana kayadan kolaylıkla ayrılabilirler.

Anklavlar diyorit-kuars diyorit bileşimine sahiptir, az oranda felsik mineral içerirler.

Modal analize göre diyorit bileşimli mafik mikrogranüler anklavlar %60-65 plajiyoklaz, %22-25 hornblend, %15-20 biyotit içerirken; kuvars diyorit bileşimli anklavlar %55-60 plajiyoklaz, %18-24 hornblend, %12-16 biyotit ve %8-10 kuvars mineralleri içerirler.

Aksesuar mineraller: Alkali feldispat, piroksen, apatit, sfen, opak mineraller

İkincil mineraller: Klorit

Doku: Topuk granitoidinde bulunan mafik mikrogranüler anklavlar holokristalen hipidiyomorik mikrogranüler ve mikrogranüler porfirik dokuya sahiptirler (Şekil 3.17). Mikrogranüler dokulu anklavlarda mineraller çoğunlukla eş ve ince tanelidir, fakat kimi zaman iri taneli plajiyoklaz, hornblend ve biyotit minerallerinin oluşturduğu porfirik dokuya rastlanabilir. Genellikle holokristalen granüler ve porfirik dokulu, daha büyük taneli ana granitoid kütlelerinin üzerinde poikilitik doku oluşturur halde bulunurlar. Ana kaya olan Topuk granodiyoriti ile olan sınırları genellikle keskin, kimi zaman nispeten ileri derecede özümsemiş anklavlarda ise girik -belirsizdir. Sınırların keskin olmadığı kesimlerde ana kayanın bazı mineralleri anklavların içine nüfus etmiştir. Anklavların ana kaya ile olan reaksiyonunun bir sonucu olarak açık renkli mineral oranı artar.

Plajiyoklaz: Plajiyoklaz mineralleri diyoritik anklavlarda %60-65, kuvars diyoritik bileşimindeki anklavlarda ise %55-60 oranında bulunmaktadır. İrili ufaklı kristallerler halindedir. İri plajiyoklazlar ana granodiyorit kütlelerinde nüfus etmiş kristallerdir ve bazıları anklavla olan reaksiyon sonucunda anklava ait olan ince taneli mafik minerallerle çevrelenmiş ve yer yer onları içine almıştır. İnce taneli plajiyoklazlar ise anklava ait olan diğer minerallerle girik dokanaklar sergiler. Plajiyoklazlardan yapılan sönme açısı tayinlerine göre türleri andezindir (An_{30-35}).

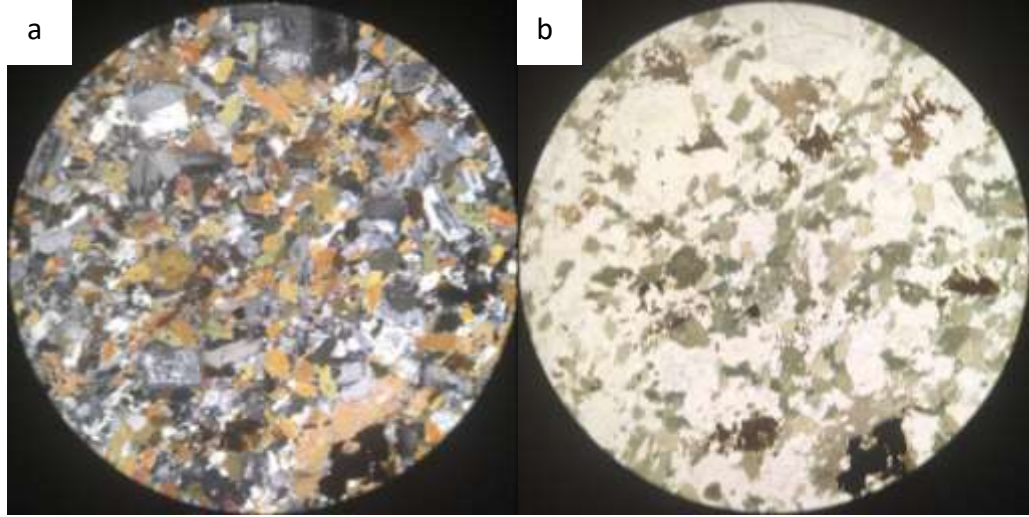
Hornblend: Diyoritik anklavlarda %22-26 modal oranında bulunurken, kuvars diyoritik anklavlarda %18-24 modal oranında bulunan hornblendler; mafik mikrogranüler anklavlarda en yaygın görülen mafik minerallerdir (Şekil 3.19). Genellikle ince hipidiyomorfik kristaller halinde kayada bulunur. Hornblendlerin çoğu ikizlenme gösterir. Plajiyoklaz inklüzyonları içerirler. Kloritleşme yaygındır.

Kayaçlarda iki farklı hornblend jenerasyonu gözlenmektedir. Birinci jenerasyon, ana kayaya ait iri ve korozyona uğramış olan kristallerdir. İkinci jenerasyon hornblend kristalleri ise, anklavlara ait olan ince taneli hornblend kristalleridir.

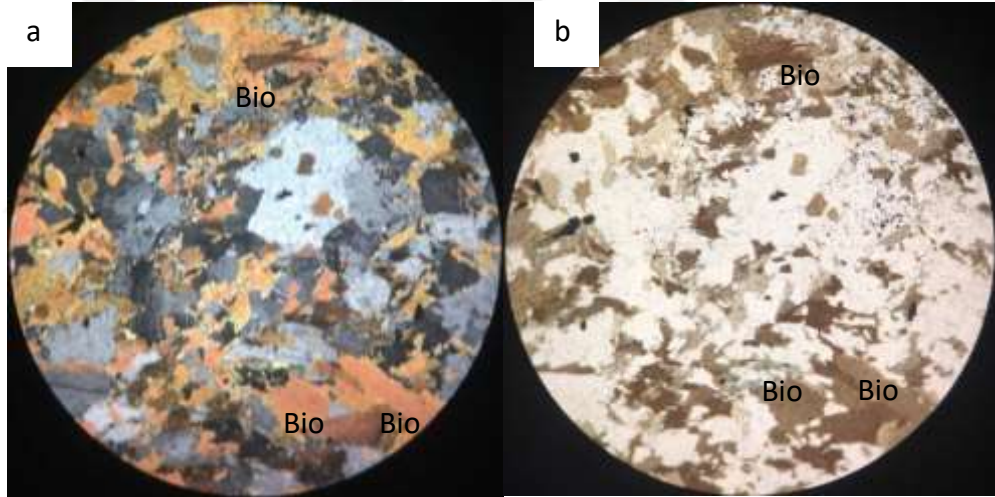
Biyotit: Diyoritik anklavlarda %14-20 oranında bulunurken, kuvars diyoritik anklavlarda %12-16 oranında bulunurlar (Şekil 3.18). Levhamsı ve prizmatik şekillerdedir. Alterasyon sebebi ile yer yer kloritleşmiştir.

Kuvars: Kuvars mineralleri mafik mikrogranüler anklavlarda %1-10 oranında bulunmaktadır. Anhedrallidirler, yer yer dalgalı sönme gösterirler. Genellikle çok küçük taneler halinde bulunurlar ancak ana kayadan beslenerek gelişmiş iri kristalleri de görülür.

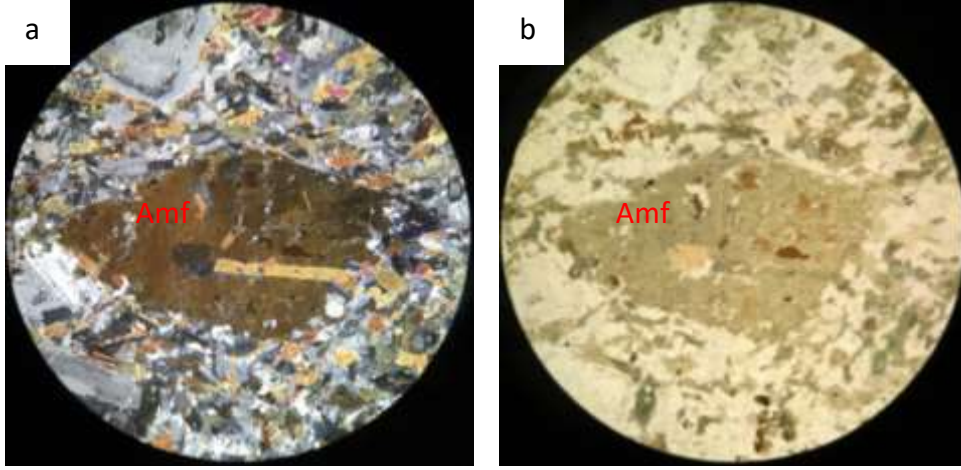
Alkali feldispat: Anklavlarda tali olarak görülen alkali feldispatlar kuvarslar gibi ana granodiyoritte nüfus etmiş iri kristaller halinde görülürler. Bunlar anklavlar içindeki hornblend ve plajiyoklazları içine alarak poiklitik doku sergilerler. Ana granit magmasına ait olan diğer felsik minerallerde olduğu gibi dokanakları boyunca biyotitlerle çevrelenirler.



Şekil 3.17: Mafik mikrogranüler anklavların holokristalen mikrogranüler dokusunu gösterir fotoğraf. (Örnek numarası: GA54C, 4x, a: Tek nikol, b: Çift nikol)



Şekil 3.18: Mafik mikrogranüler anklavlarda gözlenen biyotit kristalleri. (Bio: Biyotit, Örnek numarası: GA54C, 4x, a: Tek nikol, b: Çift nikol)

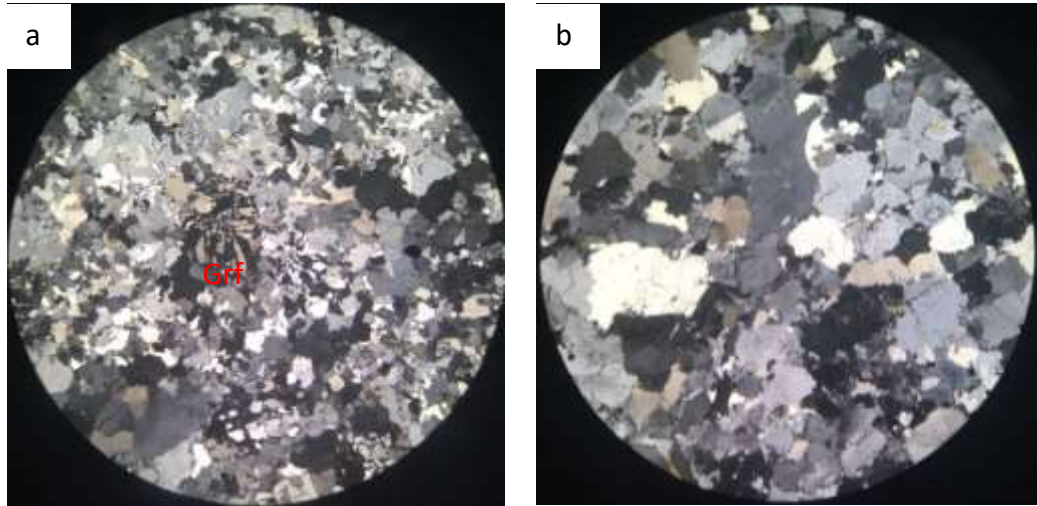


Şekil 3.19: Mafik mikrogranüler anklavlarda gözlenen amfibol fenokristali. (Amf: Amfibol, Örnek numarası: GA46b, 4x, a: Tek nikol, b: Çift nikol)

3.3.3. Aplit daykları

Aplit dayklarının bileşimleri Topuk granrodiyoriti ile karşılaştırıldığında oldukça felsiktir. Aplit dayklarının modal oranları %50-55 Kuvars, %30-35 Alkali Feldispat, %5-10 Plajiyoklaz, %0-5 Biyotit'tir. Modal oranları dikkate alındığında aplitlerin granit bileşimli olduğu görülmektedir.

Doku: Holokristalen mikrogranüler ve aplitik (mozaik) dokuya sahiplerdir. Bazı kısımlarda granofirik doku gösteren aplit dayklarına rastlanabilir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20: Aplit dayklarında gözlenen dokular; a) grafik doku, b) holokristalen mikrogranüler aplitik doku. (Grf: Grafik doku, Örnek numaraları a: GA42e, b: GA57, 4x, a, b: Çift nikol)

3.3.4. Hipabisal kayaçlar

İnceleme alanında gözlenen hipabisal kayaçlar Topuk granodiyoritine benzer şekilde granodiyorit bileşimindedir. Topuk Granitoyidi ile olan farkları mikrokristalen-mikrogranüler porfirik doku sergilemeleridir. Hipabisal kayaçlardan alınan bazı örneklerde volkanik kayaçların dokusal özelliklerine çok yakın, çok ince taneli mikrokristalen hamur görülebilir. Bu örneklerin daha sığ kesimlere yerleşmiş hipabisal kayaçları temsil ettiği düşünülmektedir.

Hipabisal kayaçlar dokusal olarak holokristalen, mikrokristalen-kriptokristalen porfirik doku sergilemektedir (Şekil 3.21, 3.22 ve 3.23). Bileşimleri ve dokuları göze alındığında porifiritik mikrogranodiyorit olarak adlandırılmışlardır.

Petrografik incelemeler ile yapılan modal analiz sonuçlarına göre mineral bileşimi: %40-45 plajiyoklaz, %30-35 kuvars, %15-22 alkali feldispat, %3-8 biyotit ve %2-7 hornblend'tir.

Aksesuar mineraller: Opak mineraller

İkincil mineraller: Klorit ve kil mineralleri

Plajiyoklaz: Hipabisal kayaçlarda en yaygın mineraldir, %40-45 oranında bulunurlar. Hipidiyomorfik küçük kristaller halinde, kuvars ve alkali feldispatlar ile beraber mikrokristalen hamuru oluşturmaktadırlar. Albit-karlsbad, polisentetik ve kombine ikizlenmeler ve zonlanma göstermektedirler. Zonlanma göstermeyen, albit ikizli plajiyoklaz fenokristallerinin sönme açılarından yapılan tayinlerde, bu minerallerin anortit değerleri Andezin (An_{35-45}) olarak saptanmıştır. Mikrokristalen hamuru oluşturan ince taneli plajiyoklazların sönme açıları tane boyutları sebebiyle tayin edilememiştir. Plajiyoklazlar yer yer biyotit, hornblend, apatit, zirkon gibi mineralleri veya diğer plajiyoklazları kapantı olarak içlerinde bulundurmaktadır.

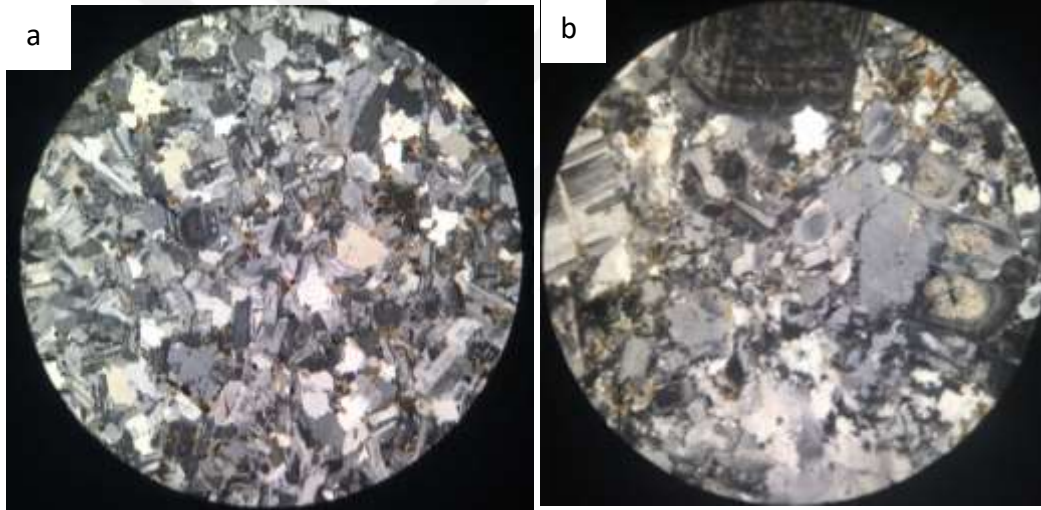
Kuvars: Hipabisal kayaçlarda %30-35 oranında bulunmaktadır. Özşekilsiz olup, Kuvars dot-ritlerde fenokristaller halinde veya mikrokristalen hamurun içinde alkali feldispat ve plajiyoklazlarla girik olarak bulunmaktadır. İri kuvars fenokristallerinde, mikrokristalen-mikrogranüler hamurun Kuvarsla reaksiyon sonucu körfez yapıları sergilemektedir (Şekil 3.23-e).

Alkali feldispat: Hipabisal kayaçlarda %15-22 oranında bulunmaktadır. Özşekilsiz kristaller halinde görülürler, boyları değişkenlik gösterir. Yer yer kuvars ve plajiyoklaz

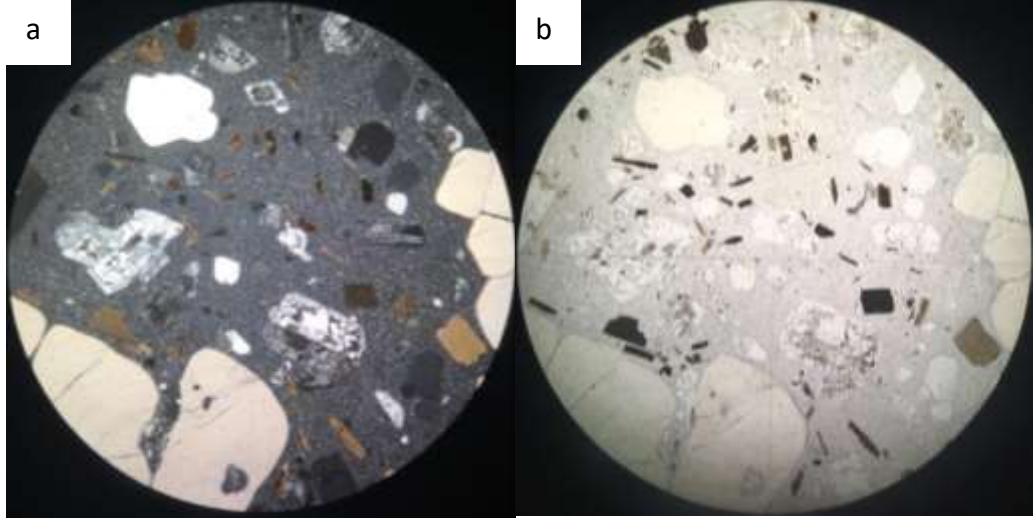
mineralleri ile birlikte granofirik mikrokristalen hamuru oluştururlar. İri kristalleri plajiyoklaz ve biyotit inklüzyonları içermekte ve poiklitik doku sergilemektedir.

Biyotit: Hipabisal kayalarda en yaygın görülen mafik mineraldir, %3-8 oranında kayada bulunurlar. Tek yönlü dilinimleri ve özşekilli ve yarı özşekilli kristaller halinde bulunmaları ile kesitlerde kolaylıkla ayırt edilmektedir. Kayada boyutları değişken irili ufaklı kristaller halinde görülür. İri fenokristalleri opak mineral kapantıları içerirler.

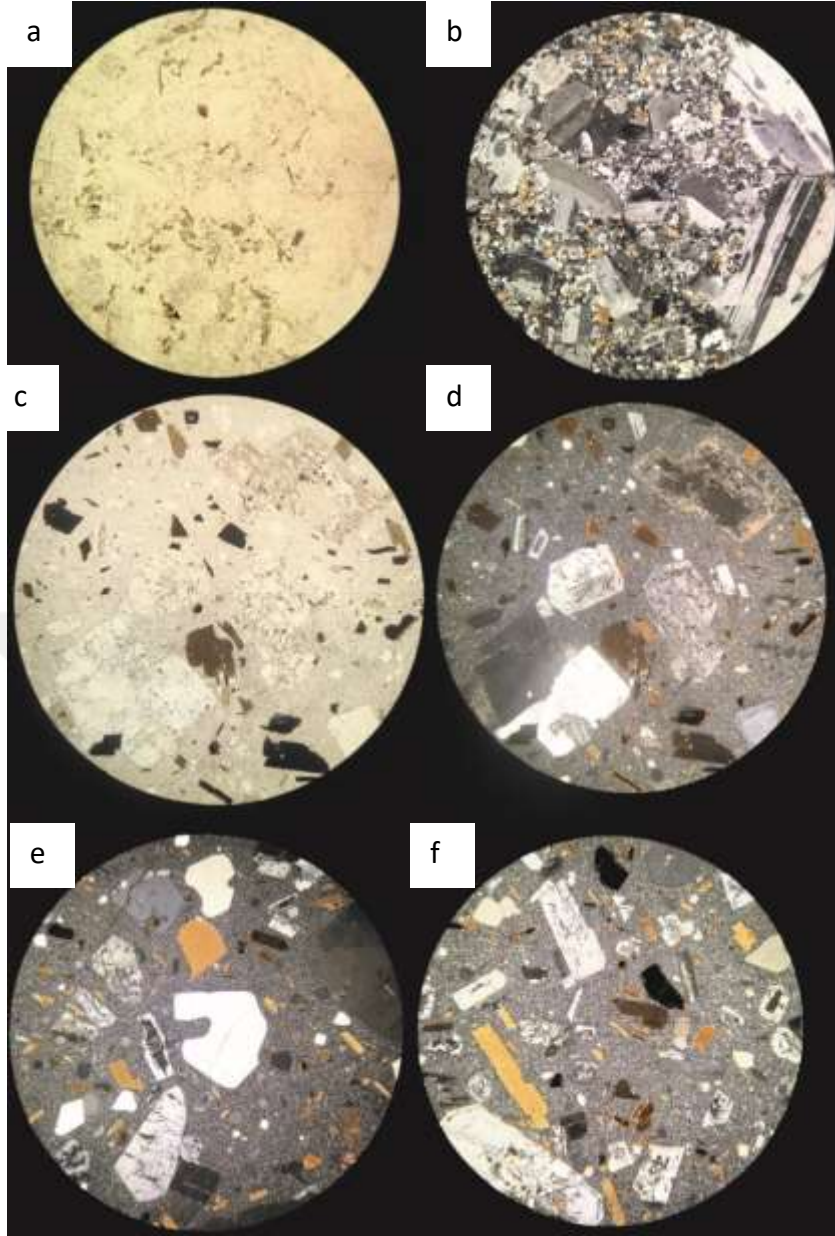
Hornblend: Hipabisal kayalarda %2-7 oranında bulunur. Genellikle özşekilli-yarı özşekilli, ince taneli kristaller halinde bulunurlar. İki yönlü dilinim gösterirler ve dilinimleri boyunca opak mineral ve plajiyoklaz kapanımları içerirler. Nadir olarak basit ikizlenme gösterirler.



Şekil 3.21: Hipabisal kayalarda görülen a) holokristalen mikrogranüler doku, b) Mikrogranüler porfirik doku. (Örnek numarası: GA134, 4x, a, b: Çift nikol)



Şekil 3.22: Porfiritik kuvars diyoritlerde holokristalen kriptokristalen porfirik doku
(Örnek numarası: GA27a, 4x, a: Tek nikol, b: Çift nikol)



Şekil 3.23: Hipabisal kayalarda görülen farklı hamur çeşitlerini gösterir fotoğraf. e: Kuvars minerallerinde gözlenen körfez yapısı. (Örnek numarası: GA134, 4x, a: Tek nikol, b: Çift nikol; Örnek numarası: GA27A, 4x, c: Tek nikol, d, e, f: Çift nikol)

3.4. Kontak Metamorfizma

Topuk granitoyidi, temel kayalarına intrüsif olarak yerleşirken, temel kayaları olan Orhaneli ofiyoliti ve İnönü mermerini düşük basınç-yüksek sıcaklık koşullarında kontak metamorfizmaya uğratmıştır. Kontak metamorfik hale, özellikle Topuk granitoyidinin kuzey kısmında, Kozbudaklar köyü civarındaki İnönü Mermeri ile olan dokanağında oldukça belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Aynı bölgedeki Kocasu

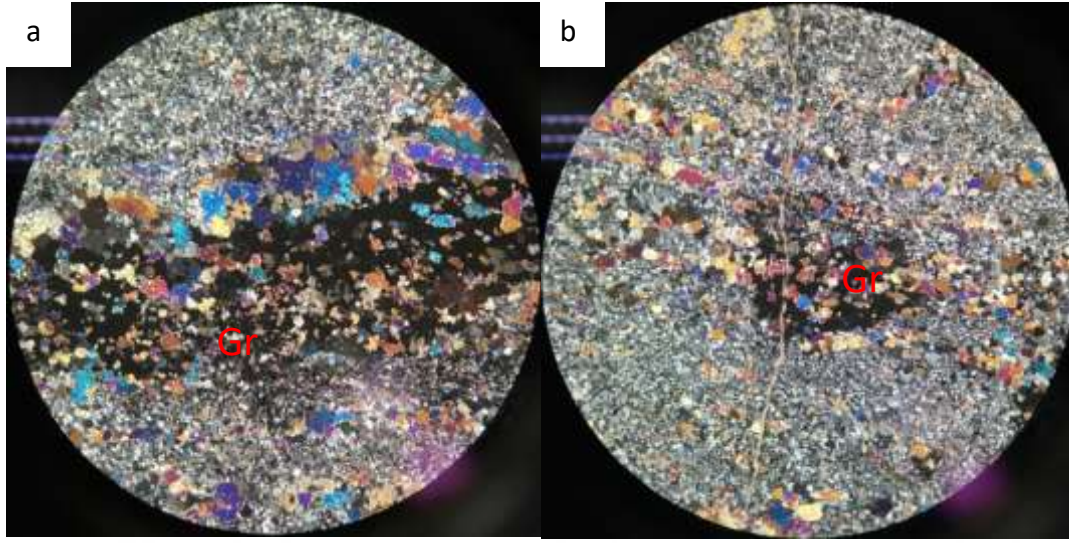
Formasyonu'na ait metamorfik mercek de Topuk granitoyidi ile direkt dokanağı sahada görünmüyor olsa da kontak metamorfizmadan etkilenmiştir. Bu durum, Topuk granitoyidi ile Kocasu Formasyonu'nun sahada gözlenmiyor olsa da yüzey altında bir dokanağı olduğuna işaret eder.

Kontak metamorfizmanın gözleendiği başka bir büyük zon, Göynükbelen köyü yolu üzerinde Meryemkaldırımı sırtı'nın kuzey ucunda Orhaneli ofiyoliti ile Topuk granitoyidi arasında olan kontakta görülmüştür. İnceleme alanında gözlenen kontak metamorfik halelerin etki aralığı yaklaşık 100 metre civarındadır.

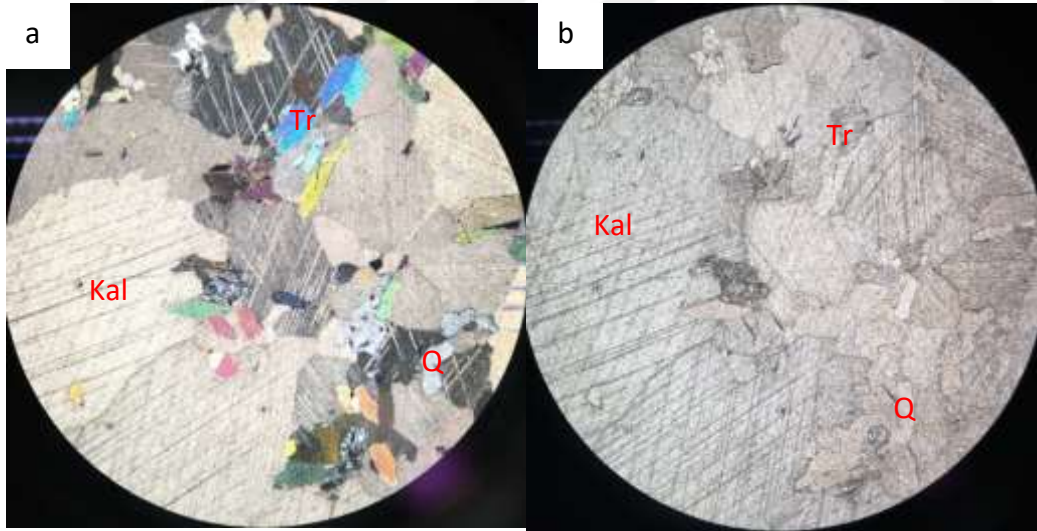
Kontak metamorfizmanın etkilediği kayaçlardan elde edilen mineral parajenezlerine göre, kayaçlar hornblend-hornfels fasiyesinde metamorfizma geçirmiştir. Hornblend-hornfels fasiyesi, metamorfik fasiyeslerin ayrıldığı sıcaklık ve basınç diyagramında 500-600 °C sıcaklık koşullarını göstermektedir. Kontak metamorfik kayaçların mineral bileşimleri ve özellikleri aşağıdaki gibidir.

İnönü Mermeri'nde kalsit+garnet+tremolit+kuvars mineral parajenezi görülür. Oldukça büyük taneli rekristalize kalsitler, yer yer garnet (Şekil 3.24), tremolit ve küçük kuvars mineralleri ile birlikte bulunurlar (Şekil 3.25). Kontak metamorfizmanın çok yoğun olduğu, plütona çok yakın bölgelerde örneklerin tamamen garnet, tremolit, kuvars ve albitten oluştuğu görülür. Garnetler kayaçların içinde oldukça boldur.

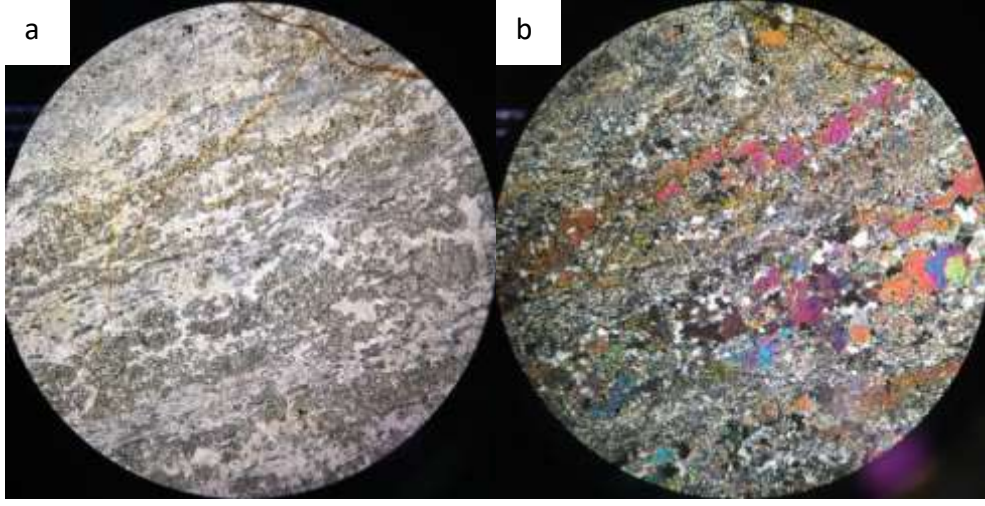
Kocasu Formasyonu'nda: kuvars+albit+epidot+muskovit+biyotit mineral parajenezi görülmüştür (Şekil 3.26). Topuk granitoyidinden etkilenecek kontak metamorfizmaya uğrayan Kocasu Formasyonu merceği, inceleme alanındaki diğer kontak metamorfik kayaçların mineral parajenezlerinden farklı olarak albit-epidot hornfels fasiyesine uygun şekilde parajenez vermektedir. Albit-epidot hornfels fasiyesi'ne karşılık gelen bu mineral parajenezi 250-450oC aralığında bir sıcaklık vermektedir. Buna göre, Kocasu Formasyonuna ait bu mercek kontak metamorfik halenin daha dış zonlarına karşılık gelen, plütunun sıcaklığından daha az etkilenmiş bir kesime karşılık geldiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.24: İnönü mermeri-Topuk granitoyidi kontak zonundan alınmış kontak metamorfik kayada gözlenen granet mineralleri. (Gr: Garnet. Örnek numarası: GA80a, 4x, a: Çift nikol, b: Tek nikol)



Şekil 3.25: İnönü Mermeri'nde görülen kontak metamorfizmanın etkisi sonucunda oluşan kuvars ve tremolit mineralleri. (Kal: Kalsit, Tr: Tremolit, Q: Kuvars, Örnek numarası: GA89, 4x, a: Çift nikol, b: Tek nikol)



Şekil 3.26: Kocasu Formasyonuna ait kayalarda kontak metamorfizma etkisi ile oluşan albit ve epidot minerallerinin görüntüsü. (Örnek numarası: GA80a, 4x, a: Çift nikol, b: Tek nikol)



4. JEOKİMYA

Topuk granitoyidi ve hipabisal kayalara ait toplam 12 örnek üzerinde yapılan ana-iz element analiz sonuçları ve 6 örnekten elde edilen Sr-Nd-Pb izotop analizlerinin literatürde daha önce yayınlanmış analizlerle birlikte değerlendirilmesi ile elde edilen jeokimyasal sonuçlar aşağıda sunulacaktır. Ana ve iz element analizleri Acme (Ankara) laboratuvarında, Sr-Nd-Pb izotop analizleri ise ALS LAB'da (İsveç) yapılmıştır. Kullanılan analitik yöntemlerle ilgili ayrıntılı bilgi www.acmelab.com ve <http://www.alsglobal.com/> adreslerinden temin edilebilir.

4.1. Ana ve İz Element Jeokimyası

Topuk granitoyidini oluşturan farklı kaya türlerinin jeokimyasal özelliklerini belirlemek ve inceleme alanındaki magmatik kayaları oluşturan magmanın köken ve evrimini anlamak amacıyla Topuk granodiyorit'ne ait 5 örnek, 2 mafik magmatik anklav, 2 aplit daykı ve 3 adet hipabisal kayaç örneğinin ana, iz ve nadir toprak element jeokimya analizi yapılmıştır.

Topuk granitoyidine ait kayaların SiO₂ değerleri %64.1 ile %67.2 arasında değişmektedir. Örnek bileşimlerinin verildiği Tablo.1'de görüldüğü gibi, aplit daykları %75.6-77 arasında, mafik mikrogranüler anklavlar %54.9-56.2 arasında, hipabisal kayalar (granodiyorit porfir) %66.9-71.2 arasında SiO₂ oranları sergilemektedir. Bu silisyum oksit değerleri, sadece mafik mikrogranüler anklavların ortaç bileşimde, diğer kaya gruplarının ise asidik bileşimde olduğunu göstermektedir.

Analizi yapılan magmatik kayaların hangi bileşimde olduklarını anlamak amacıyla analiz sonuçları SiO₂'ye karşı Na₂O+K₂O (Middlemost, 1994; Cox vd. 1979) diyagramlarına izdüşürülmüştür (Şekil 4.1 ve 4.2). Bu diyagramlarda, Topuk granitoyidini oluşturan ana magmatik gövde Granodiyorit bileşiminde, mafik magmatik anklavlar kuvars diyorit/gabroik diyorit bileşiminde, aplit daykları granit/alkali granit bileşiminde, hipabisal kayalar ise granit/granodiyorit bileşimindedir. Elde edilen sonuçlar saha ve petrografi gözlemleri ile uyumludur.

Tablo 4.1: İnceleme alanındaki magmatik kayaçların ana oksit analiz sonuçları (TG: Topuk granitoyidi, Ap: Aplit daykları, MME: mafik mikrogranüler anklavlar, Hip: hipabisal kayaçlar)

Örnek Adı Major Oksit %	GA-87 (TG)	GA-41 (TG)	GA-139 (TG)	GA-100 (TG)	GA-132 (TG)	GA-42e (Ap)
SiO ₂	66,3	65	67,2	65,4	64,1	75,6
Al ₂ O ₃	16,7	16,4	16	16,7	17,3	13
Fe ₂ O ₃	3,78	4,7	3,74	4,02	4,56	0,58
MgO	1,25	1,85	1,36	1,58	1,79	0,15
CaO	5,24	4,94	4,69	5,12	5,6	0,96
Na ₂ O	3,79	3,41	3,41	3,3	3,52	2,52
K ₂ O	1,72	2,3	2,23	2,21	2,02	6,44
TiO ₂	0,34	0,46	0,34	0,38	0,44	0,07
P ₂ O ₅	0,14	0,15	0,12	0,11	0,13	<0.01
MnO	0,13	0,14	0,12	0,11	0,12	0,02
Cr ₂ O ₃	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
LOI	0,47	0,88	0,3	0,57	0,57	0,32
Toplam	99,86	100,23	99,51	99,5	100,15	99,66

Tablo 4. 1 (devam) : İnceleme alanındaki magmatik kayaçların ana oksit analiz sonuçları

Örnek Adı Major Oksit %	GA-57 (Ap)	GA-46a (MME)	GA-46b (MME)	GA-103 (Hip)	GA-27a (Hip)	GA-134 (Hip)
SiO ₂	77	54,9	56,2	69,3	71,2	66,9
Al ₂ O ₃	12,8	18,7	17,6	16,1	15,1	16,1
Fe ₂ O ₃	0,7	7,44	7,14	3,21	2,22	3,4
MgO	0,1	4,2	4,67	0,9	0,81	1,16
CaO	1,29	8,23	8,59	4,02	2	4,7
Na ₂ O	2,94	3,71	3,48	3,54	3,02	3,81
K ₂ O	5,06	1,29	1,13	2,17	3,55	1,97
TiO ₂	0,07	0,65	0,66	0,32	0,3	0,35
P ₂ O ₅	<0.01	0,12	0,13	0,13	0,15	0,13
MnO	0,02	0,28	0,23	0,09	0,04	0,05
Cr ₂ O ₃	<0.01	<0.01	0,01	<0.01	<0.01	<0.01
LOI	0,09	0,54	0,44	0,64	0,99	1,36
Toplam	100,07	100,06	100,28	100,42	99,38	99,93

Tablo. 4. 2: İnceleme alanındaki magmatik kayaçların iz element analiz sonuçları

Örnek Adı İz Element (ppm)	GA-87 (TG)	GA-41 (TG)	GA-139 (TG)	GA-100 (TG)	GA-132 (TG)	GA-42e (Ap)
Cs	0,8	1,5	2,5	2	1,4	3,8
Rb	49,5	73,3	73,2	71,5	69,2	161,4
Ba	361	448	497	410	357	94
Sr	331	299,8	265,1	267	283,4	52,5
Pb	1,5	2,4	1,3	1,7	1,2	5,5
Th	7,3	9,9	7,9	8,7	7,2	23,9
U	2,2	2,7	1,7	1,7	1,6	8
Zr	136,3	123,7	119,5	111,9	113,5	52,1
Hf	3,7	3	3,4	3,2	3,1	2,9
Ta	0,5	0,6	0,7	0,7	0,5	1,5
Y	22,1	20,1	20,3	16,8	20,3	12,1
Nb	7,2	7,6	7,3	6,5	7	8,6
Ni	1,3	30,4	1,8	5,8	7,6	2,4
Co	35,8	32,3	33,6	37,8	35,2	126,8
V	46	73	54	68	74	<8
W	240,3	181,6	205,6	245,8	212,3	781,2
Ga	15,3	14,8	15,1	14,6	15,5	10,3
Zn	32	42	37	26	26	6
Cu	2,5	2,9	2,1	5,3	8,3	1,3
La	21,3	22,8	22	22,8	17,9	4
Ce	42,3	41,7	40,3	38,9	35,2	7,5
Pr	5	4,68	4,57	4,16	4,22	0,96
Nd	19,5	18	17,4	15,3	15,8	3,9
Sm	3,84	3,52	3,35	2,65	3,13	0,94
Eu	1,07	0,9	0,87	0,77	0,97	0,31
Gd	3,61	3,41	3,39	2,69	3,16	1,11
Tb	0,57	0,52	0,53	0,42	0,51	0,2
Dy	3,41	3,28	3,38	2,59	3,25	1,37
Ho	0,76	0,7	0,74	0,57	0,74	0,37
Er	2,48	2,18	2,16	1,82	2,16	1,33
Tm	0,36	0,32	0,34	0,27	0,33	0,23
Yb	2,61	2,23	2,28	1,97	2,2	1,96
Lu	0,44	0,35	0,39	0,31	0,39	0,41
As	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0,5

Tablo. 4. 2 (devam) : İnceleme alanındaki magmatik kayaçların iz element analiz sonuçları

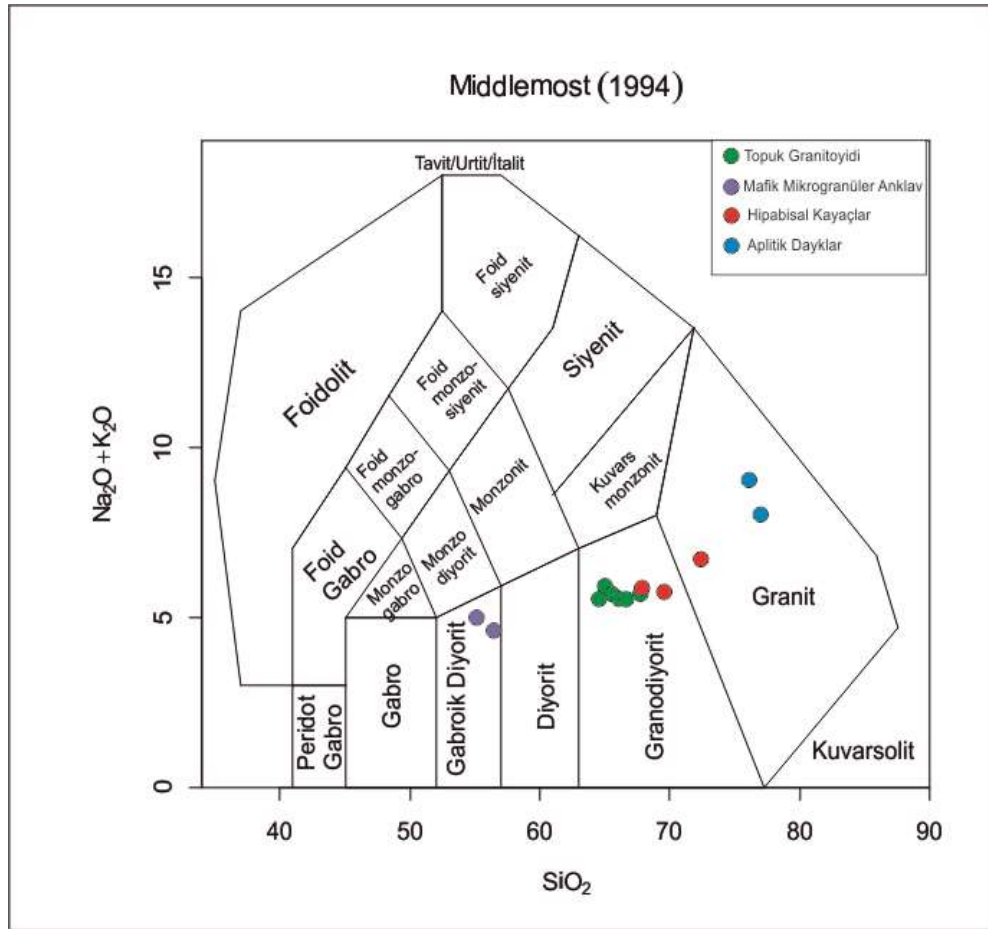
Örnek Adı İz Element (ppm)	GA-87 (TG)	GA-41 (TG)	GA-139 (TG)	GA-100 (TG)	GA-132 (TG)	GA-42e (Ap)
Mo	0,5	1,4	0,1	0,4	1,7	0,2
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sn	<1	1	<1	<1	1	<1
Sb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Tl	0,2	0,1	0,2	0,1	<0.1	<0.1
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

Tablo. 4. 2 (devam) : İnceleme alanındaki magmatik kayaçların iz element analiz sonuçları

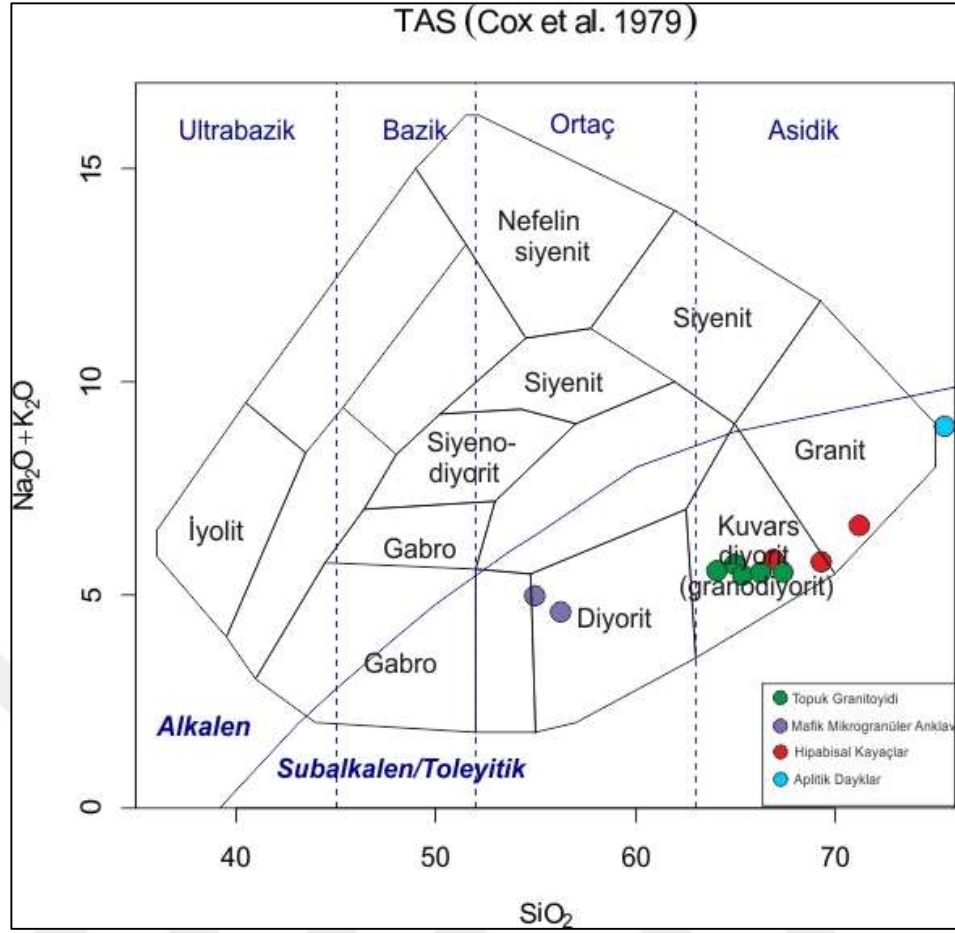
Örnek Adı İz Element (ppm)	GA-57 (Ap)	GA-46a (MME)	GA-46b (MME)	GA-103 (Hip)	GA-27a (Hip)	GA-134 (Hip)
Cs	2,4	1,9	2,2	1,4	10,5	3,4
Rb	146,7	44,6	33,3	68	147,9	69
Ba	299	251	210	431	730	424
Sr	79,5	258,7	265	292,8	286,7	372,2
Pb	2	1,2	1,4	2,4	4,3	2
Th	22,3	3,3	3,9	9,1	16,4	8,2
U	6,8	0,8	1	1,1	4,6	2,5
Zr	70,4	72	95,2	179,4	159,5	132,4
Hf	3,1	2,3	2,7	4,9	4,4	3,6
Ta	2,5	0,5	0,4	0,6	1	0,6
Y	23,2	34	23,1	22,9	9,9	20,2
Nb	12,7	6,7	6	8	11	8,5
Ni	15,7	18,5	18,4	9,2	8,1	19,6
Co	35,2	27,4	38,7	30,4	18,8	32,4
V	<8	172	192	27	21	42
W	260,2	82	119,2	225,4	121,9	201,3
Ga	10,4	16,7	16,6	17,3	18	14,3
Zn	5	38	31	38	49	19
Cu	2,2	12,9	121,2	4,6	1,9	4,6
La	15,9	17,7	20,8	28,1	38,9	26,5
Ce	29,7	40,8	42,3	54	69,4	49,4
Pr	3,4	5,55	5	6,49	7,83	5,67
Nd	11,8	23,3	19,2	23,9	26,4	21
Sm	2,5	5,1	3,69	4,42	4,6	3,77

Tablo. 4. 2 (devam) : İnceleme alanındaki magmatik kayaçların iz element analiz sonuçları

Örnek Adı İz Element (ppm)	GA-57 (Ap)	GA-46a (MME)	GA-46b (MME)	GA-103 (Hip)	GA-27a (Hip)	GA-134 (Hip)
Eu	0,37	1,34	1,21	1,06	0,98	1,01
Gd	2,53	5,23	3,71	4,11	3,32	3,45
Tb	0,44	0,86	0,6	0,63	0,44	0,54
Dy	3,07	5,48	3,74	3,8	2,14	3,31
Ho	0,71	1,21	0,82	0,77	0,32	0,7
Er	2,41	3,75	2,48	2,43	0,8	2,17
Tm	0,4	0,54	0,38	0,35	0,1	0,34
Yb	3,3	3,78	2,55	2,6	0,64	2,24
Lu	0,58	0,64	0,45	0,42	0,09	0,39
As	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Mo	0,8	0,7	0,6	0,4	0,8	1,1
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sn	<1	2	2	1	4	<1
Sb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Tl	<0.1	0,2	0,1	<0.1	0,3	0,2
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	0,1	<0.1	0,4

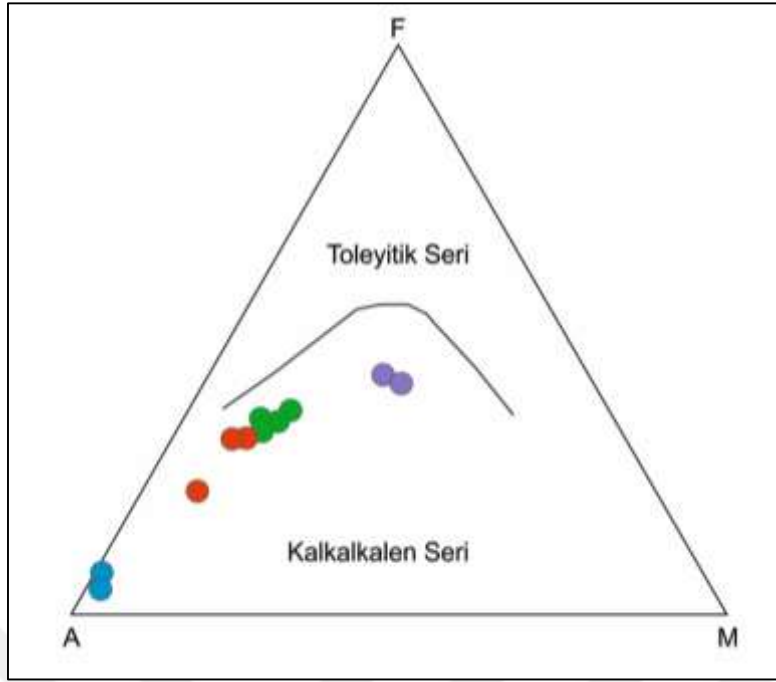


Şekil 4.1: İnceleme alanındaki magmatik kayaçların Middlemost (1994) diyagramındaki konumu.

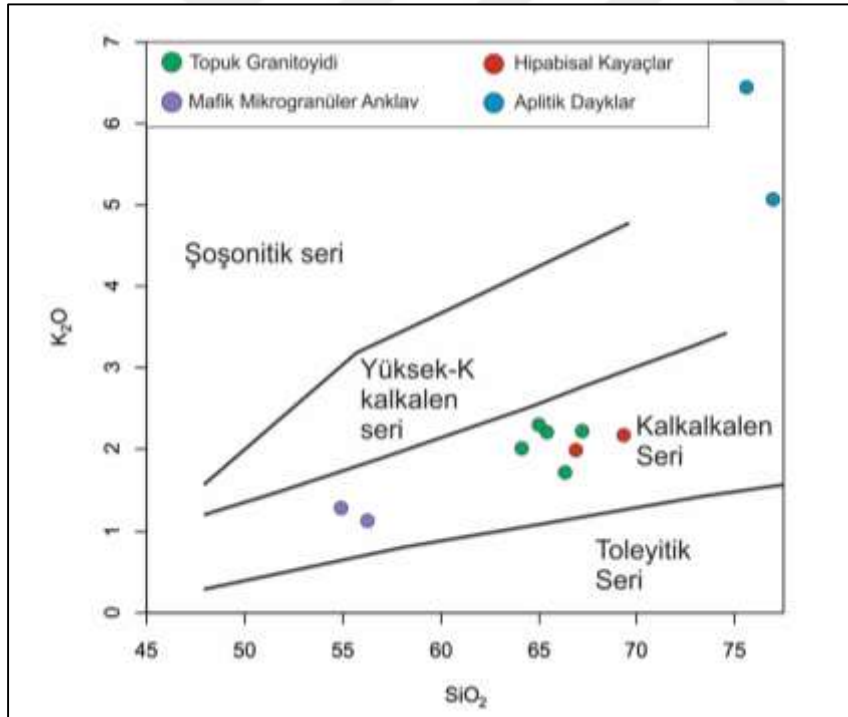


Şekil 4.2: İnceleme alanındaki magmatik kayaçların Cox vd. (1979) diyagramındaki konumu.

Şekil 4.2'ye ayrıca Irvine ve Baragar (1971) tarafından önerilen subalkali-alkali ayırım sınırı da eklenmiştir. Buna göre örnekler tümüyle subalkali/toleyitik alanına izdüşmektedir. Aynı yazarlar tarafından önerilen AFM diyagramında örneklerin kalkalkalen bir yönelim gösterdiği gözlenmektedir (Şekil 4.3). Kayaçların kalkalkalen bileşimi Pecerrillo ve Taylor (1976) diyagramında da belirgindir, bu diyagramda inceleme alanındaki magmatik kayaçların K_2O (%1.13-6.44) ve SiO_2 içerikleri kullanılmıştır (Şekil 4.4). Şekil 4.4'de Topuk Granodiyoriti'ne ait örneklerin çoğu ve hipabisal kayaçlar kalkalkalen bölgesinde yer alırken, aplit daykları yüksek silis oranları nedeni ile diyagram sınırları dışına izdüşer.



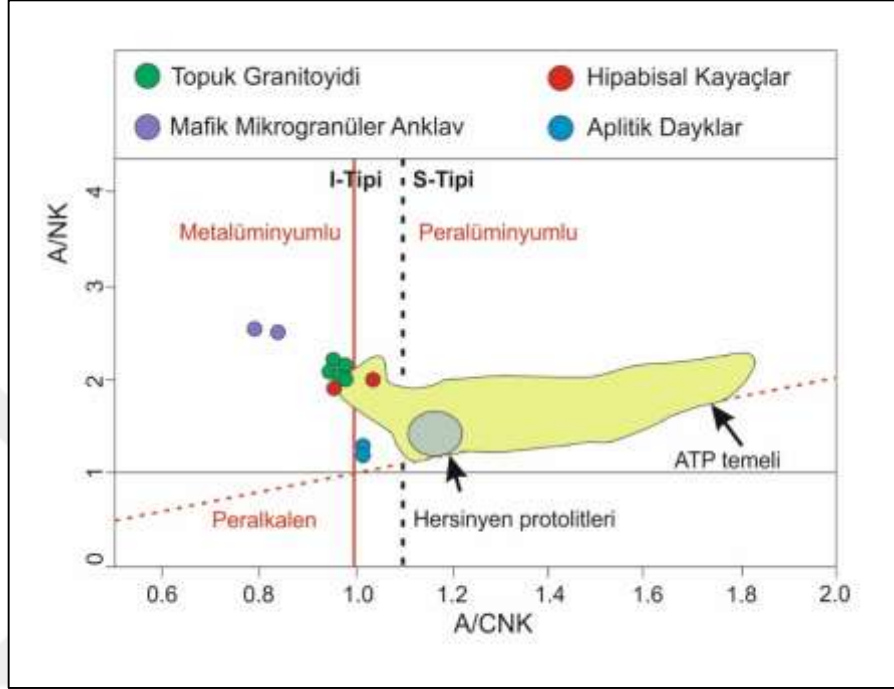
Şekil 4.3: İnceleme alanındaki magmatik kayaçların Irvine ve Baragar (1971) diyagramındaki konumları.



Şekil 4.4: İnceleme alanındaki magmatik kayaçların Peccerillo ve Taylor (1976) diyagramındaki konumları.

Shand (1943) diyagramına Topuk granitoyidinden alınan örnekler ASI indekslerine göre [ASI, alüminyum doygunluk indeksi: $\text{Molar Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$] izdüşürülmüştür (Şekil 4.5). Bu diyagrama göre, Topuk Granitoyidine ait ana

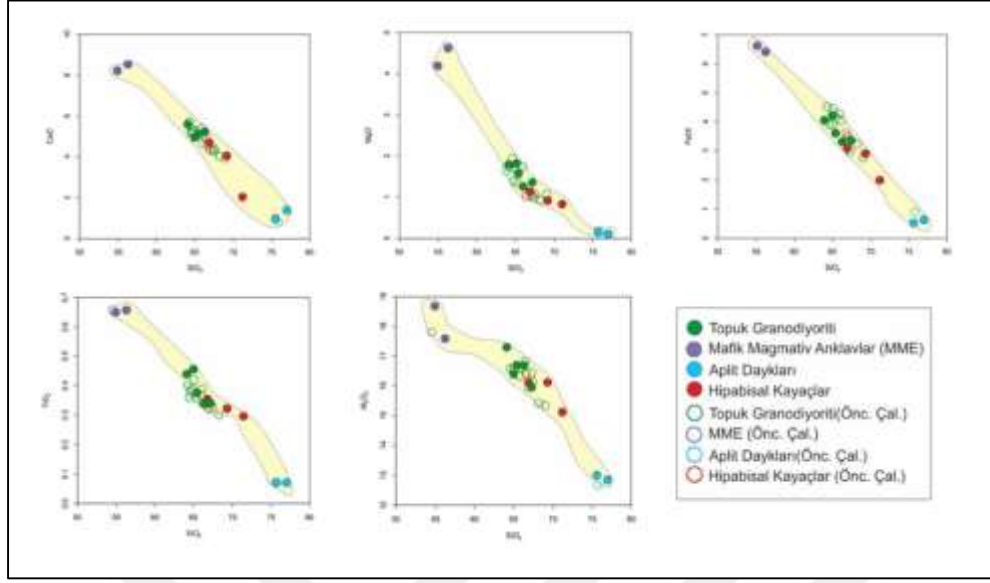
magmatik gövdenin, mafik magmatik anklavların ve hipabisal kayaçlardan bir tanesinin metalüminyumlu özellik gösterdiği görülmektedir. Hipabisal kayaçlara ait 1 örnek ve aplitik daykı örnekleri ise metalüminyumlu-peralüminyumlu sınırına yakın alanda konumlanır. Aynı diyagramda, tüm örnekler I tipi granitlerin özelliklerini göstermektedir.



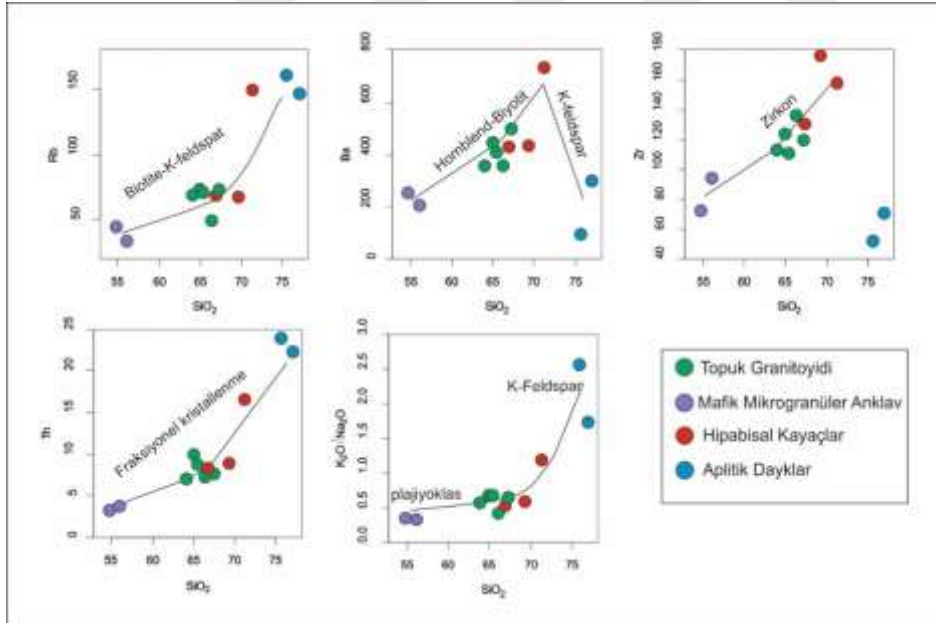
Şekil 4.5: A/CNK – A/NK (Shand, 1943) diyagramı üzerinde I-S tipi granit, metalüminyumlu, peralüminyumlu ve peralkalen ayrımı. Hersinyen protolitleri: Pe-piper ve Piper (2006).

Ana oksitler ve bazı iz elementleri SiO_2 ye karşı izdüşürüldüğü Harker (1909) diyagramlarında (Şekil 4.6 ve 4.7) gözlenen özellikler aşağıdaki gibidir:

- İnceleme alanındaki magmatik kayaçların en mafik üyesini mafik mikrogranüler anklavlar, en felsik üyesini ise aplitik daykaları oluşturmaktadır. Topuk granodiyoriti örnekleri ve hipabisal kayaçlar bu iki uç üyenin arasında konumlanır.
- Harker diyagramlarında, tüm örneklerin topluca ve düzenli bir şekilde artan SiO_2 değerlerine karşı CaO , TiO_2 , MgO , Al_2O_3 ve FeO_t değerlerinin azaldığı, K_2O oranının ise yükseldiği gözlenir. Bu yönelimler SiO_2 oranı az olan mafik magmatik anklavlardan, SiO_2 oranı en yüksek olan aplitik dayklarına kadar düzenli bir şekilde devam etmektedir.
- SiO_2 'ye karşı iz elementlerin kullanıldığı Harker diyagramlarında artan SiO_2 ye karşı Rb, Ba, Zr, Th da artış gözlenir.



Şekil 4.6: İnceleme alanındaki magmatik kayaçların ana oksitlere karşı SiO_2 oranlarının gösterildiği Harker diyagramları.



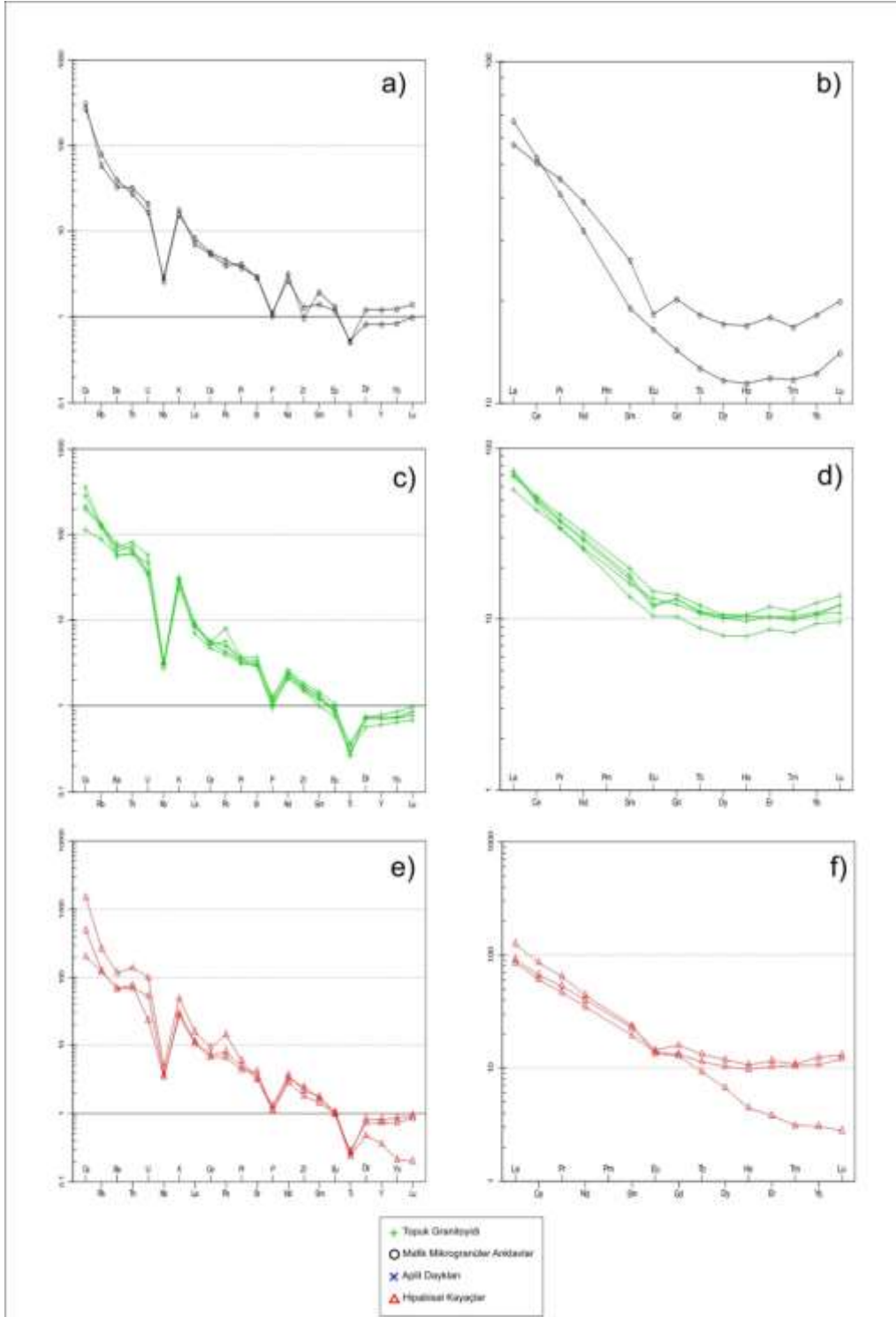
Şekil 4.7: İnceleme alanındaki magmatik kayaçların iz elementlere karşı SiO_2 oranlarının gösterildiği Harker diyagramları.

Topuk granitoyidine ait örneklerden yapılan iz element ve nadir toprak elementleri analizlerine göre N-MORB ve kondrite göre normalize edilmiş örümcek diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 4.8 ve 4.9). N-MORB'a (Zindler ve Hart, 1986) normalize edilen örümcek diyagramları, Topuk granitoyidinin büyük iyon çaplı litofil

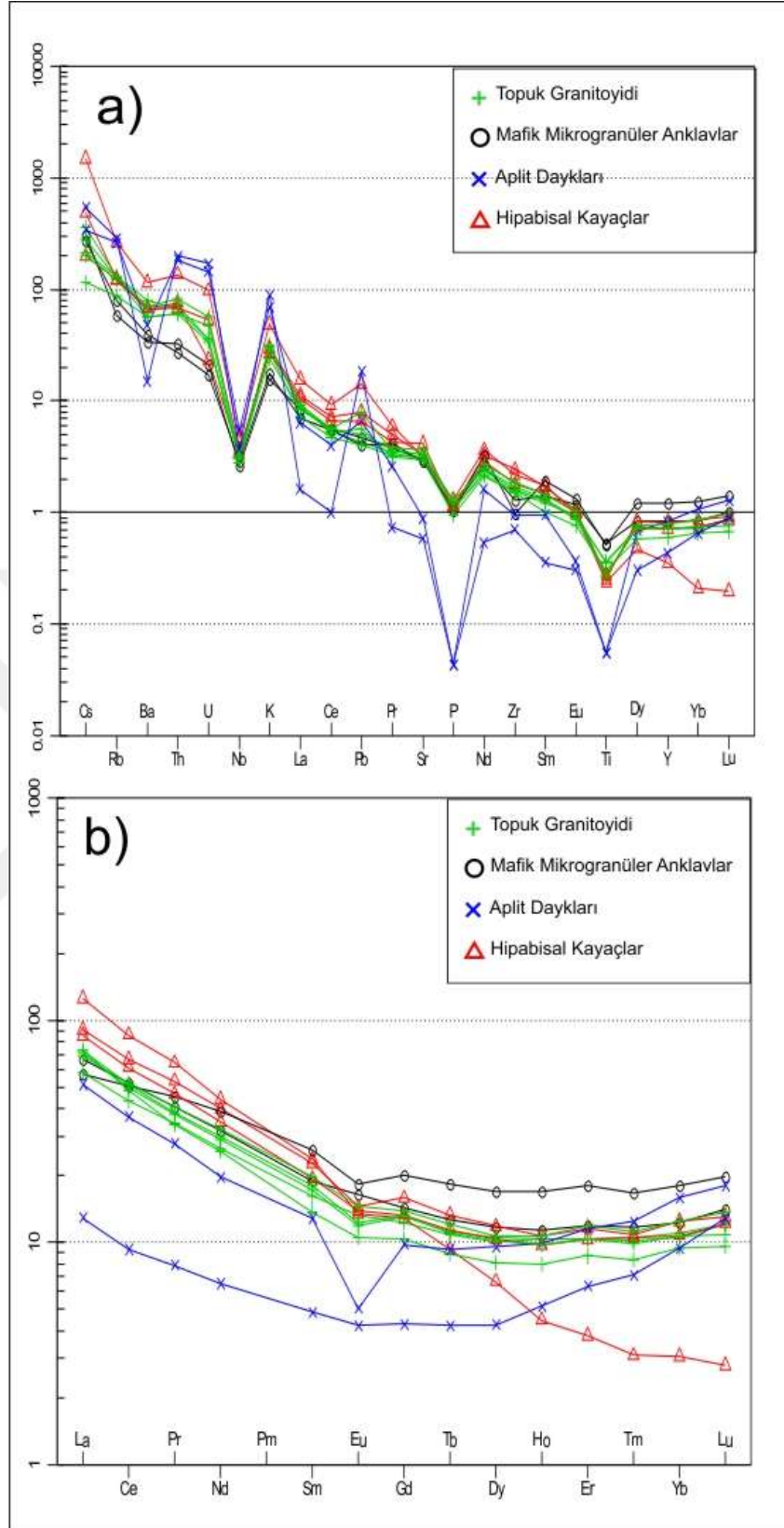
elementlerce (LILE) zenginleştğini; Nb, Ti, Ta elementlerinde ise negatif anomali oluşturduğunu göstermektedir

Kondrite göre normalize edilmiş örümcek diyagramları incelendiğinde, hafif nadir toprak elementlerce (LREE) zenginleşme tespit edilmiştir. La_n/Lu_n oranları geniş bir aralıkta değişir. MREE'lerde LREE'lere göre belirgin bir tüketilme gözlenmektedir. İnceleme alanındaki hemen hemen tüm magmatik örneklerde yukarı doğru konveks, kaşık şekilli bir desen gözlenir. Ayrıca, kondrite göre yapılan örümcek diyagramları aplit dayklarında oldukça belirgin, diğer magmatik kayalarda ise zayıf belirginlikte bir Eu negatif anomalisinin varlığını göstermektedir.





Şekil 4.8: N-MORB ve kondrite göre normalize edilmiş örümcek diyagramlarında inceleme alanındaki magmatik örneklerin element dağılım paternleri (Sol: NMORB, Sağ: Kondrit, a-b: mafik mikrogranüler anklavlar, c-d: Topuk granodioriti, e-f: Hipabisal Kayaçlar)



Şekil 4.9: Tüm kaya gruplarının N-MORB ve Kondrite normalize edilmiş örümcek diyagramlarındaki iz element dağılımları (a: N-MORB, b: Kondrit)

4.2. İzotop Jeokimyası

Topuk granitoidinin ana kütesinden 2, mafik mikrogranüler anklavlardan 2 ve hipabisal kayalardan 2 adet olmak üzere toplam 6 magmatik örnekten $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{144}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ve $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ izotop analizleri yapılmıştır. Bu izotopların ölçülen ve ilksel değerleri Tablo 4.3’de verilmektedir.

Tablo 4.3: İnceleme alanındaki magmatik kayalardan elde edilen izotop değerleri

Örnek No İzotop Değerleri	GA-139 (TG)	GA-100 (TG)	GA-103 (Hip)	GA-27a (Hip)	GA-46a (MME)	GA-46b (MME)
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0,706472	0,706429	0,706705	0,709901	0,706257	0,706108
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0,51257	0,51258	0,51249	0,51233	0,5126	0,51262
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(48)}$	0,705927	0,705901	0,706247	0,708883	0,705917	0,705860
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(48)}$	0,512533	0,512547	0,512455	0,512297	0,512558	0,512584
$\epsilon\text{Nd}_{(48)}$	-0,83	-0,57	-2,37	-5,45	-0,35	0,14
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	18,98	19,046	18,831	18,873	18,903	18,893
$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	15,719	15,748	15,691	15,708	15,673	15,673
$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	39,162	39,269	39,027	38,951	38,981	39,005
$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2,0633	2,0618	2,0725	2,0639	2,0621	2,0645
$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	0,82816	0,82686	0,83321	0,83231	0,82913	0,82958

Topuk granitoidine ait $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve $^{144}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ izotop sonuçlarının ilksel değerleri Altunkaynak vd. 2012a’dan alınan zirkon SHRIMP yaşı olan 48 My’a göre hesaplanmıştır. Buna göre Topuk granitoidine ait ana magmatik gövdenin ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(48)}$ değerleri 0,706429-0,706472 arası, mafik mikrogranüler anklavların 0,706108-0,706257 arası, hipabisal kayaların ise 0,706705-0,709901 arası değişmektedir. İlksel $^{144}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(48)}$ değerleri ise sırasıyla 0,51257-0,51258; 0,5126-0,51268; 0,51233-0,51249 aralıklarındadır. Magmatik kayaların $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ değerleri 18,831-19,046 arası, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ değerleri 15,673-15,748 arası, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ değerleri 38,951-39,269 arası, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ değerleri 2,0618-2,0725 arası, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ değerleri ise 0,82686-0,83321 arası değişmektedir.

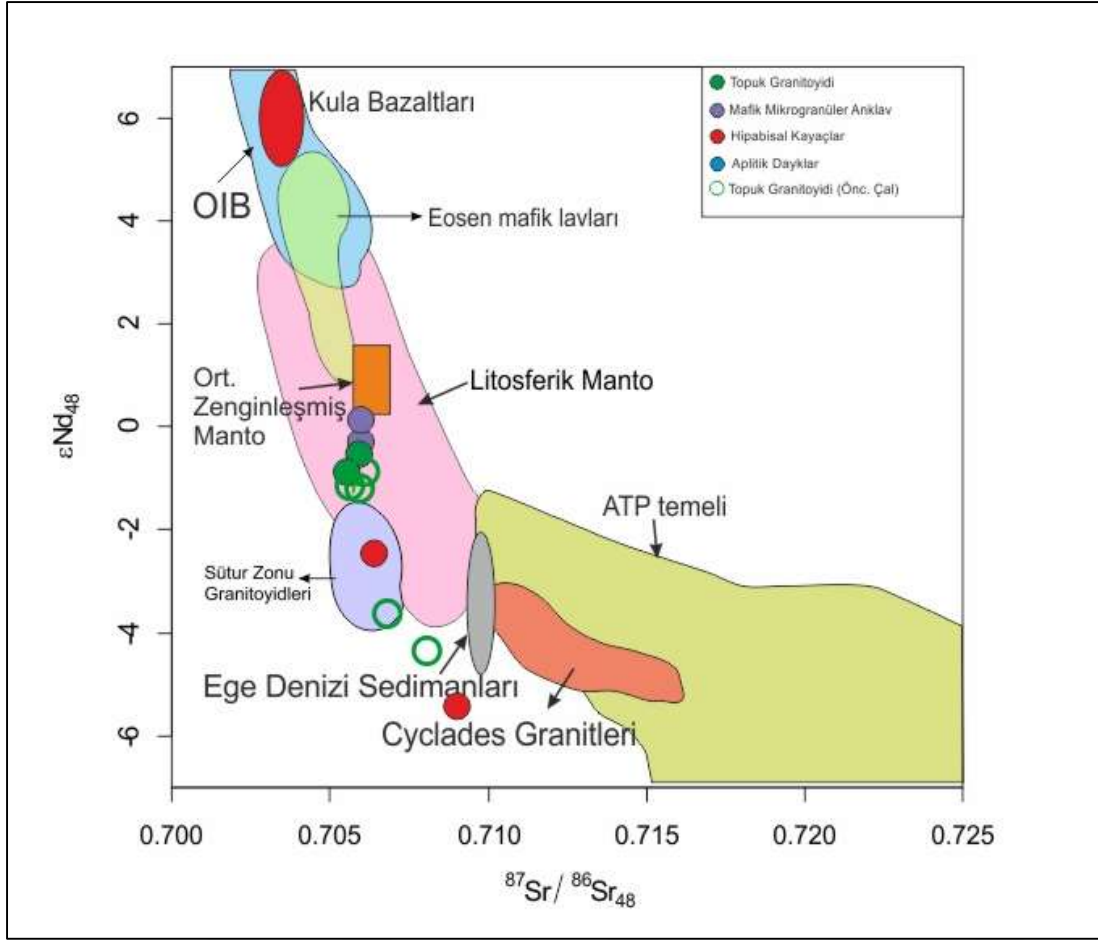
5. TARTIŞMA: TOPUK GRANİTOYİDİ VE HİPABİSAL KAYAÇLARI OLUŞTURAN MAGMANIN KÖKENİ VE EVRİMİ

5.1. Kaynak alanı özellikleri

Topuk Granitoyidi bol miktarda mafik magmatik anklav içermektedir, bunlar mineralojik ve petrografik özelliklerinin benzer olması nedeni ile hısımlar anklavları olarak değerlendirilmiştir. Gerek bu magmatik anklavların ve ana granodiyorit kütlelerinin Sr-Nd-Pb izotop bileşimleri birbirine benzerlik göstermektedir. Bu benzerlik bu kayaların ortak bir kökene sahip olduğunu ve granitik kayaların mafik magmaların fraksiyonel kristallenmesi (AFC/FC) ya da mafik alt kabuğun kısmi ergimesi ile gelişmiş olduklarını düşündürmektedir. İzotop bileşimleri ve plüton içinde mafik magmatik anklavların varlığı mafik magmatizmanın Topuk granodiyoritinin oluşumunda etkin olduğunu düşündürmektedir. Nitekim, magmatik kaya toplulukları içindeki en mafik magmatik anklavların bile granodiyoritinkine benzer zengin izotopik bileşime sahip olması iki sebeple olabilir: 1- Oldukça zenginleşmiş bir manto kaynağından türemişlerdir (Kıta altı litosferik manto ya da mantonun dalma-batma ile zenginleşmiş hali) 2. Primitif magmanın derin kabuk kayaları ile kirlenmesinden oluşabilir.

Anklavlar ana kayaları gibi kalkalkalin niteliklidir ve TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Ni ve Cr içerikleri ana granodiyorit kütlelerine ve hipabisal kayalara göre daha yüksektir. $\epsilon\text{Nd}_{(48)}$ ($\epsilon\text{Nd}_{(48)}$: 014_ -0.35) değerleri ve Mg-no 'ları (50-60) diğer gruplara göre nispeten daha yüksektir. Bu özellikleri ile topluluğun en az evrimleşmiş başlangıç ürünlerini temsil ederler.

$\epsilon\text{Nd}_{(48)}$ 'e karşı $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(48)}$ 'nin kullanıldığı diyagramda (Şekil 5.1) mafik anklavların ortalama zenginleşmiş manto (ort. EMM) alanına yakın iz düştüğü görülmektedir. Bu veri, mafik magmatik anklavların zenginleşmiş litosferik mantodan türemiş olduğunu gösterir.

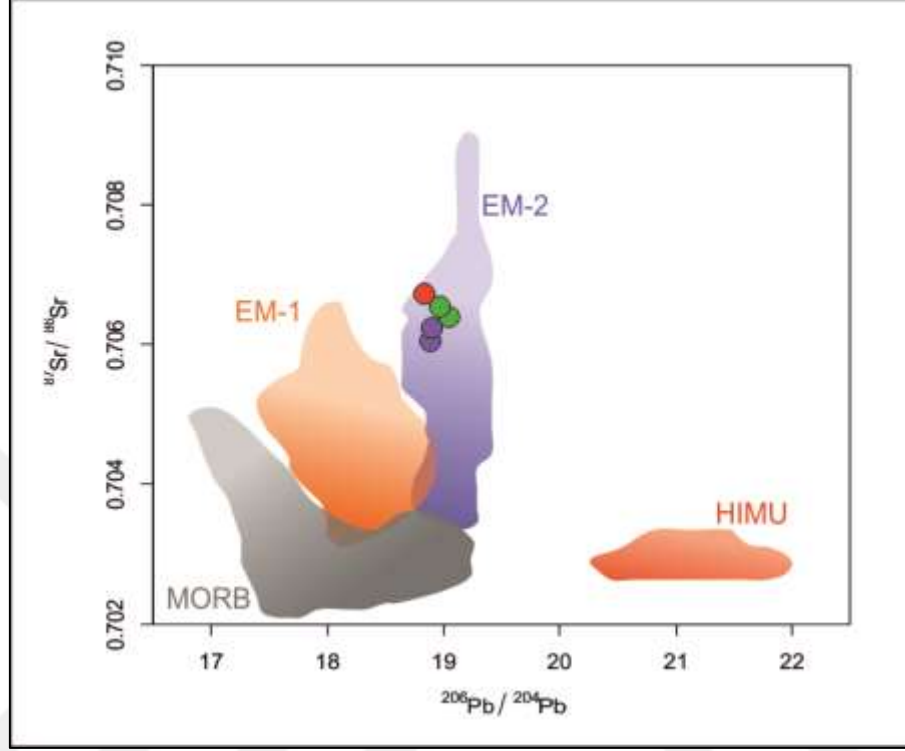


Şekil 5.1. Epsilon Nd-Sr/Sr₍₄₈₎ diyagramında Topuk granitoyidi, mafik magmatik anklavlar ve Hipabisal kayaçların konumu, Zenginleşmiş manto ergiyikleri: Yang vd., 2004; Batı Anadolu Kıtasal Kabuk bileşimi (Temel Kayaları): Altunkaynak vd., 2012(b) ve oradaki referanslar'dan alınmıştır.

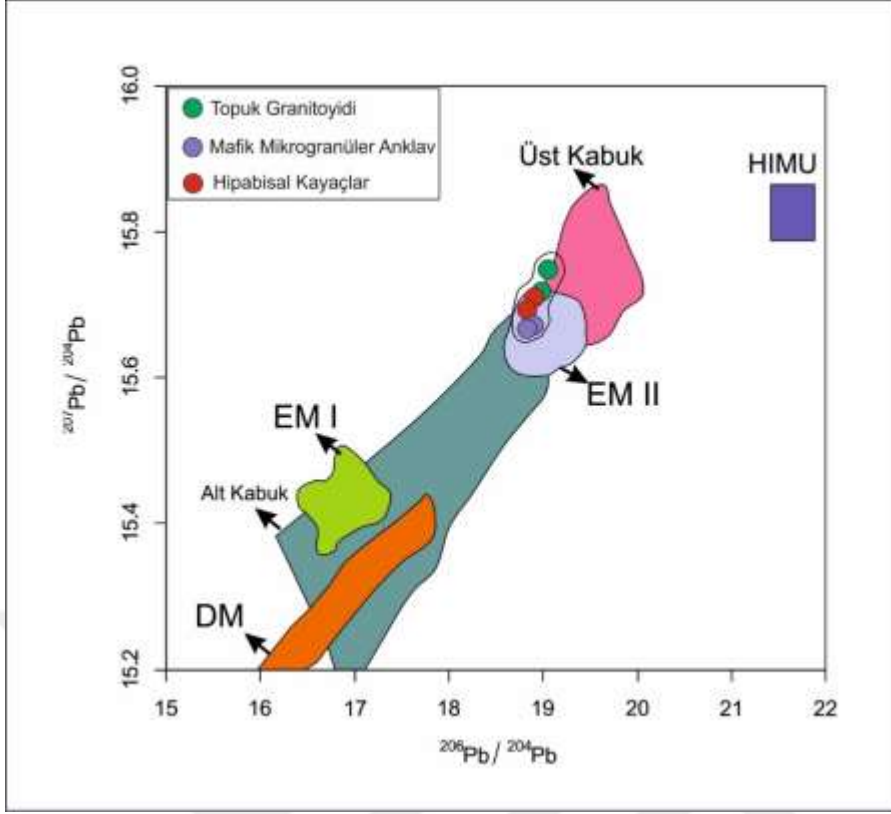
Aynı diyagramda magmatik anklavlar, granodiyorit ve hipabisal kayalar azalan $\epsilon_{Nd(48)}$ 'e artan $^{87}Sr/^{86}Sr_{(48)}$ sergileyerek litosferik manto ergime alanı içerisinde eğrisel bir yönelim yakalar, zenginleşmiş manto ve Batı Anadolu temel kayaları (Altunkaynak vd., 2012a ve oradaki referanslar) arasına iz düşer. Örneklerin sergilediği yönelim Topuk granodiyoriti ve hipabisal kayaçların mafik anklavların bileşimine benzeyen, zenginleşmiş litosferik mantodan türeyen magmanın Batı Anadolu kıtasal kabuğu ile etkileşimi sonucunda gelişmiş olduğunu düşündürmektedir.

Sr-Nd izotop verileri ile elde edilen bu sonuçlar Pb izotop verileri ile de desteklenir. $^{87}Sr/^{86}Sr$ 'ye karşı $^{206}Pb/^{204}Pb$ 'in kullanıldığı diyagramda zenginleşmiş manto (EM II; Şekil 5.2) alanına düşen örneklerin $^{207}Pb/^{204}Pb$ 'a karşı $^{206}Pb/^{204}Pb$ 'ın izdüşürüldüğü

(Şekil 5.3) diyagramında alt kabuk ile üst kabuk arasında konumlanan zenginleşmiş manto II alanına (EMII) izdüştükleri izlenir.

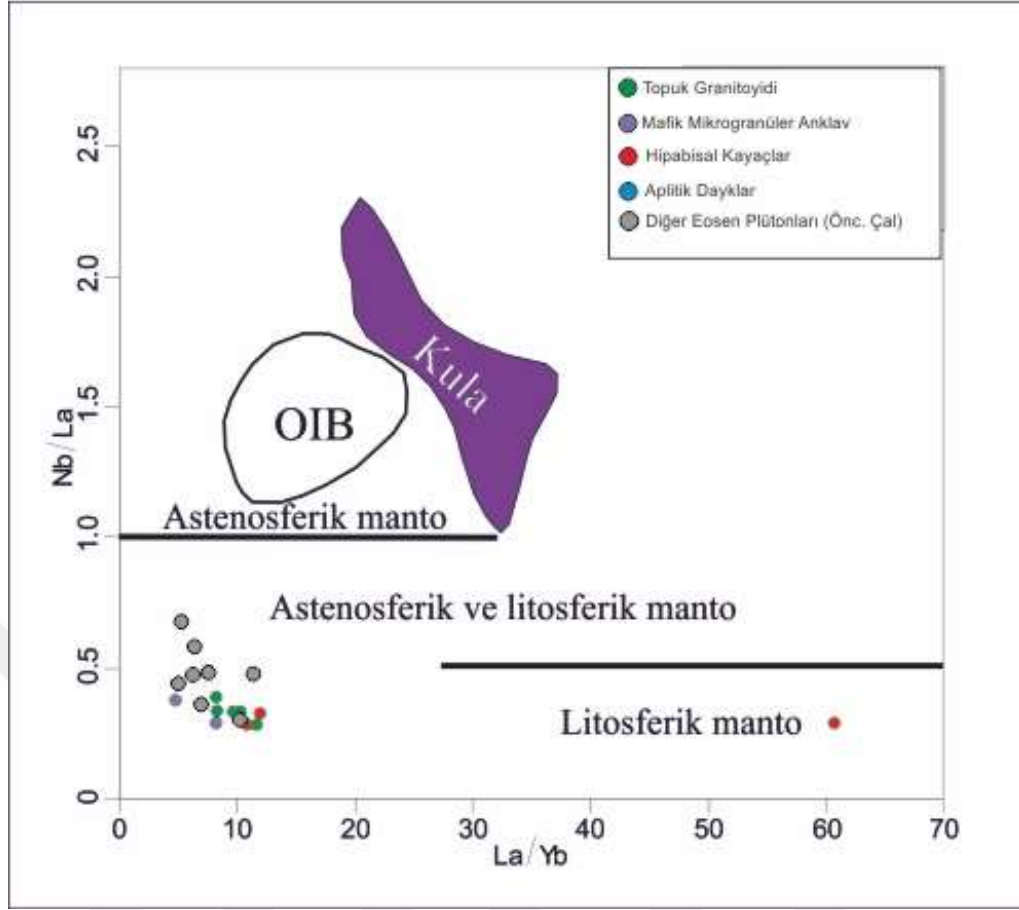


Şekil 5.2. Topuk granitoyidi, magmatik anklavlar ve hipabisal kayaçların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 'a $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diyagramındaki konumu. EMI: Zenginleşmiş Manto I, EMII: Zenginleşmiş Manto II, MORB: Okyanus ortası sırtı bazaltları, HIMU: yüksek U/Pb manto, (Stracke vd. 2003).



Şekil 5.3. Topuk granitoyidi, magmatik anklavlar ve hipabisal kayaçların $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 'a $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ diyagramındaki konumu. EMI: Zenginleşmiş Manto I, EMII: Zenginleşmiş Manto II DM: Tüketilmiş Manto, HIMU: yüksek U/Pb manto, (Zinder ve Hart, 1986, Rollinson 1993 ve oradaki referanslar)

İnceleme alanındaki magmatik kayaçları oluşturan mantonun niteliğini anlayabilmek için, örnekler Nb/La'ya La/Yb diyagramına izdüşürülmüştür (Şekil 5.4). Bu diyagramda örneklerin litosferik manto ile astenosferik ve litosferik manto sınırına yakın bir alana izdüşükleri görülmektedir. Bu durum inceleme alanındaki magmatik kayaçları oluşturan magmanın litosferik manto kökenli olduğunu ancak bir miktar astenosferik manto katkısının da olduğunu düşündürmektedir.



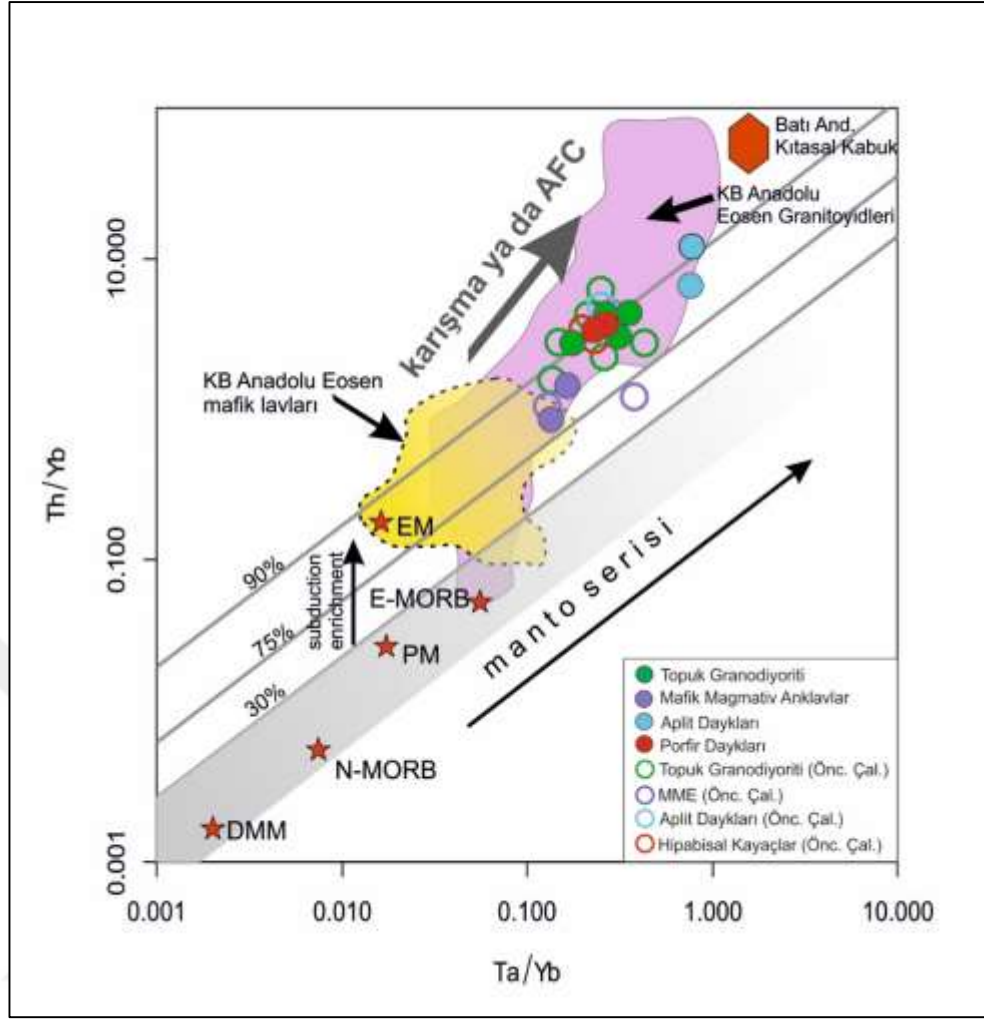
Şekil 5.4. Topuk granitoyidi ve hipabisal kayaçlara ait örneklerin Nb/La – La/Yb diyagramındaki konumları. Kula bazaltları: Aldanmaz vd., 2000, Alıcı vd. 2002.

5.2. Magmanın evrimi

N-MORB'a normalize edilmiş örümcek diyagramlarda LIL elementlerdeki zenginleşme ve HFS elementlerdeki fakirleşme, Nb ve Ti'daki negatif anomaliler ile Topuk Granitoyidi ve hipabisal kayaçların iz element dağılım paternleri, volkanik yay ortamlarında gelişen magmatik toplulukların iz element desenlerine benzerlik gösterirler (Pearce, 1982, McCulloch and Gamble, 1991; McDonough, 1991; Thirlwall vd., 1994; Pearce ve Peate, 1995). Önceki birçok araştırmacı (Aldanmaz vd., 2000, Yılmaz vd., 2001, Altunkaynak 2007; Altunkaynak vd., 2012b) bu jeokimyasal özelliklerin, Batı Anadolu'nun jeolojisi ile birlikte değerlendirerek dalma batma kayıtlarının daha önceki dalma batma işlemlerine bağlamışlardır. Aynı zamanda, Dupuy vd. (1982)'ne göre, benzer özellikler ve yüksek Ba ve Sr zenginleşmeleri, alt kabuk kökenli ya da manto kaynağından türemiş kıta kabuğu gerci ile kirlenmiş melez magmalardan türeyen çarpışma sonrası magmatik kayalarında da gözlenmektedir. Pozitif K pikleri ve zengin Pb içerikleri kabuksal malzeme ya da eriyiklerin de Topuk

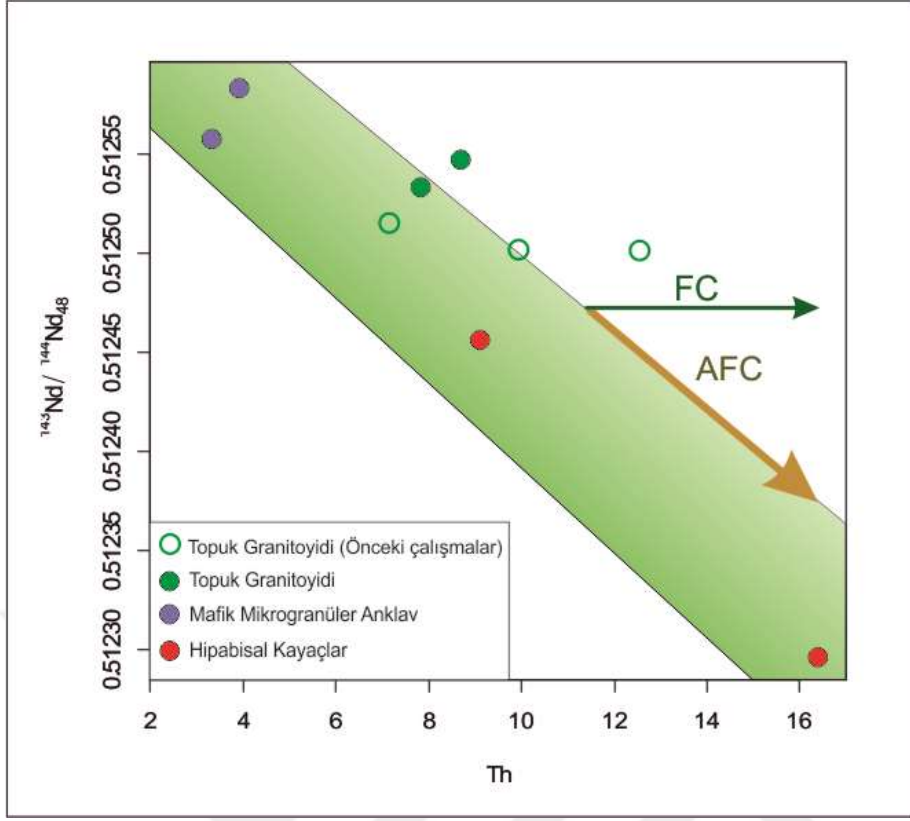
granitoyidini oluşturan magmanın evriminde rol aldıklarına işaret eden bir veri olarak değerlendirilebilir.

Th/Yb'a karşı Ta/Yb'un kullanıldığı diyagramda örneklerin artan Th/Yb oranı ile artan Ta/Yb oranı sergilediği görülmüştür. Örneklerin dizilimi göz önüne alındığında, şekil 5.5'den de görüleceği üzere mafık magmatik anklavlar, Topuk granodiyoriti ve Hipabisal kayalar Batı Anadoludaki diğer Eosen granitoidlerine benzer bir şekilde Kıtasal kabuk ile zenginleşmiş manto eriyikleri arasında mafık magmatik anklavlarla başlayıp, aplitlere doğru giden izgisele yakın bir trend sergilemektedir. Bu durum gerek Topuk granitoyidinin gerekse hipabisal kayaların yitim bileşeni zenginleşmesinin ardından zenginleşmiş mantodan türeyen magmanın asimilasyon-fraksiyonel kristallenme (AFC) ya da karışma (mixing) yolu ile kıtasal kabuktan kirlendiğini düşündürmektedir.



Şekil 5.5. Topuk granitoyidi ve Hipabisal kayaçlara ait örneklerin Th/Yb-Ta/Yb diyagramındaki konumları (Pearce, 1983). Kula bazaltları: Aldanmaz vd., 2000, Alıcı vd. 2002; Ortalama B. Anadolu Üst Kıtasal kabuk: Altunkaynak vd., 2012a, b; N-MORB, Sun ve McDonough, 1989. AFC: Asimilasyon ve eşlik eden Fraksiyonel kristallenme.

FC ve/veya AFC süreçlerine yaklaşımda bulunabilmek için örnekler, $^{144}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(48)}$ 'a karşı Th diyagramına izdüşürülmüş ve azalan $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(48)}$ 'e karşı artan Th'ile belirginleşen negatif bir korelasyon sergiledikleri görülmüştür (Şekil 5.6). Bu da farklı magmatik kaya gruplarının (anklavlar, granitoid ve hipabisal kayaçlar) gelişiminde AFC süreçlerinin etkin olduğunu gösterir. Diyagramda gözlenen yatay trend ise Topuk granitoidini oluşturan farklı bileşimdeki kayaların gelişiminde fraksiyonel kristallenmenin de etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.6. Topuk granitoyidi ve hipabisal kayaçlara ait örneklerin $^{144}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(48)}$ 'e karşı Th diyagramındaki konumları. FC: Fraksiyonel Kristallenme, AFC: Asimilasyonlu Fraksiyonel Kristallenme

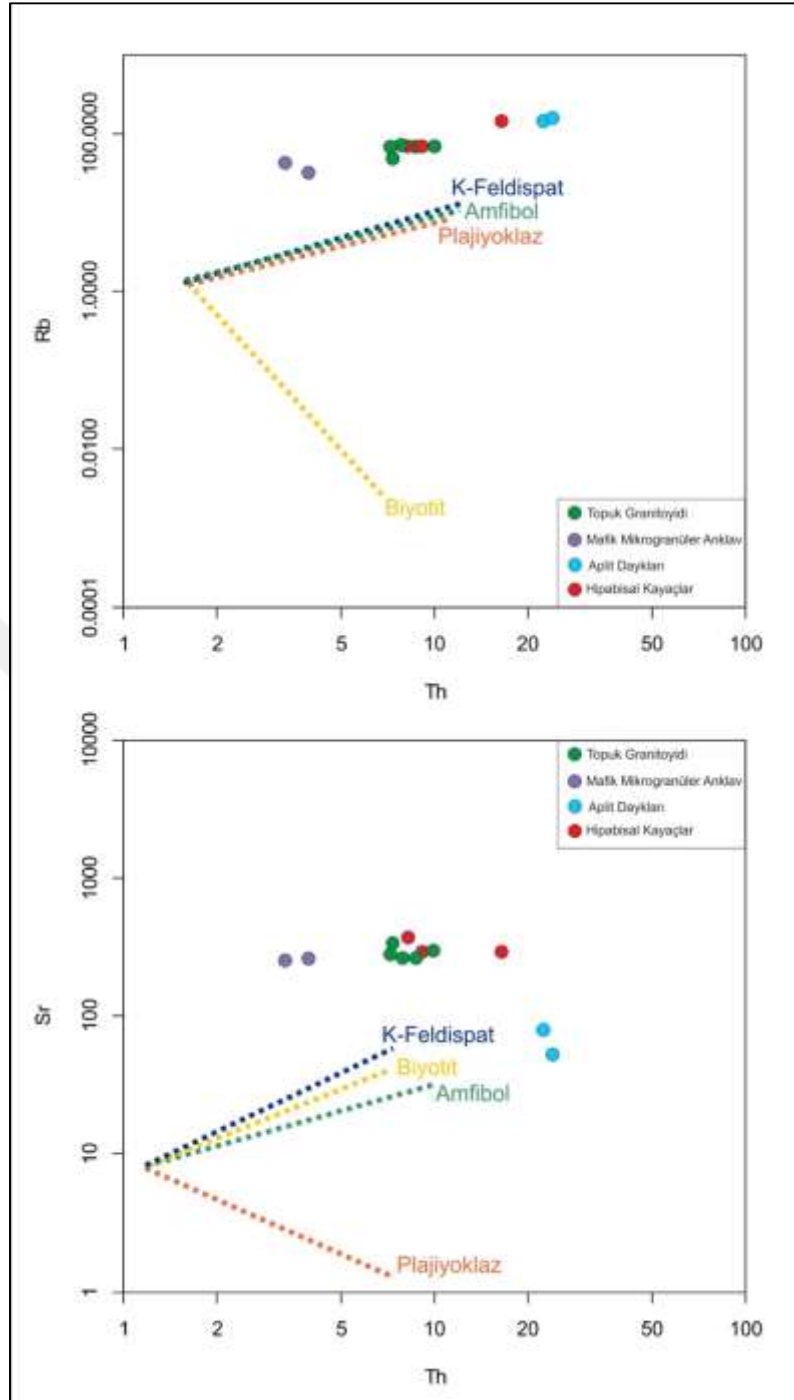
N-MORB'a normalize edilmiş diyagramlarda Nb, P ve Ti de negatif anomalilerin gözlenmesi amfibol, apatit ve Ti'ca zengin fazların fraksiyonlaşmasına işaret edebilir. Kondrite normalize diyagramlarda ise hemen hemen tüm magmatik örneklerde yukarı doğru konveks, kaşık şekilli bir desen gözlenir. Bu desenin genellikle amfibol ayrımlaşması sonucunda olduğu bilinmektedir. Yine kondrite göre yapılan örümcek diyagramlarında apolit dayklarında oldukça belirgin, diğer bazı magmatik kayaçlarda ise zayıf bir Eu negatif anomalisinin varlığını göstermektedir. Negatif Eu anomalisi, plajiyoklaz ayrımlaşmasına işaret etmektedir. Bu paternler Topuk granitoyidi ve hipabisal kayaçları oluşturan magmanın evriminde fraksiyonel kristallenmenin de rol oynadığına işaret eder.

5.3. Topuk Granitoyidi'nin Kristalizasyon Süreçleri

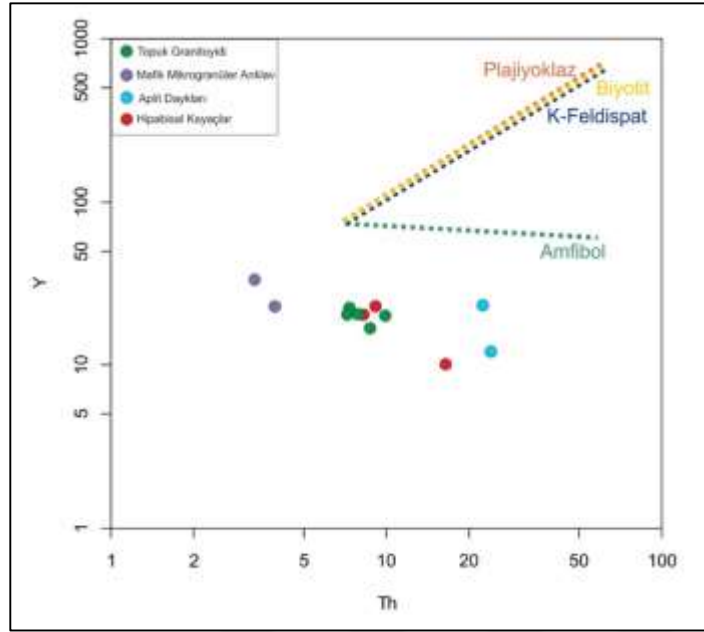
Topuk granitoyidinin kristalizasyon süreçlerini anlayabilmek için, granitoyidin içinde bulunan minerallerin modal oranları kullanılarak (plajiyoklaz+K-feldispat+biyotit+amfibol) fraksiyonel kristallenme modellemeleri yapılmıştır.

Diyagramlarda indeks olarak uyumsuz Toryum elementi kullanılmıştır. Toryum elementine karşı biyotit, amfibol, K-feldispat ve plajiyoklaz minerallerinin kristalizasyona olan etkisini gözlemleyebilmek için Rubidyum, Stronsiyum, Sezyum ve İtiryum elementleri kullanılmıştır. Farklı minerallerin fraksiyonel kristalizasyon diyagramlarında teorik trendleri oluşturulmuş ve bu trendler Topuk granitoyidi'ne ait örneklerin değerleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.7 ve 5.8).

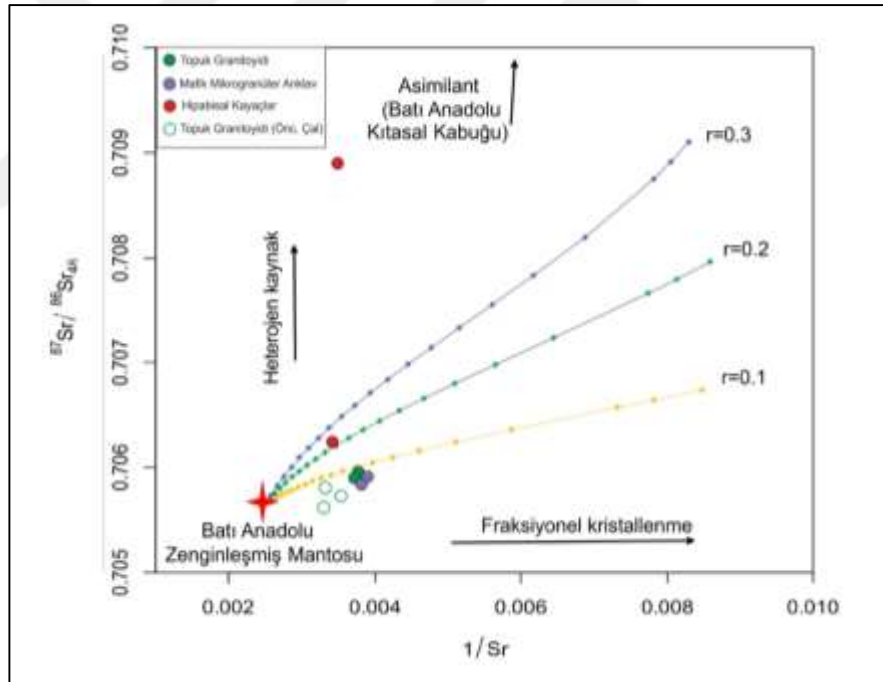
Elde edilen fraksiyonel kristallenme teorik modellemeleri incelendiğinde, Topuk granitoyidi örneklerini Şekil 5.7A' da amfibolle birlikte diğer minerallerin (K-Feldispat, Plajiyoklaz), 5.7B'de amfibolle birlikte K-Feldispat ve biyotit, 5.8 de ise Amfibol fraksiyonlaşma fraksiyonlaşma trendlerine uyumlu görünmektedir. Tüm bu modellemeler birlikte değerlendirildiğinde magmatik kayaçların evriminde amfibol fraksiyonlaşmasının baskın olduğu söylenebilir. Bu gözlemler Şekil 4.7'de verilen iz elementlere karşı SiO_2 değerlerinin izdüşürüldüğü Harker diyagramları ve Kondrite normalize edilmiş örümcek diyagramlarda bazı örneklerde gözlenen negatif Eu anamolileri ve HREE'de gözlenen konveks desen ile uyumludur.



Şekil 5.7. Topuk granitoyidi'ne ait kayaçların farklı minerallere göre teorik fraksiyonlama trendlerinin görüldüğü Rb-Th ve Sr-Th diyagramları.



Şekil 5.8. Topuk granitoyidi'ne ait kayaçların farklı minerallere göre teorik fraksiyonlama trendlerinin görüldüğü Y-Th ve Cs-Th diyagramları.



Şekil 5.9. Sr izotop değerlerinin $1/Sr$ değerine karşı iki bileşenli basit karışma modellemesi ile AFC süreçlerinin oranlarına göre teorik trendler ile gösterildiği diyagram ve üzerine izdüşürülen Topuk granitoyidi'ne ait veriler.

Topuk granitoyidini oluşturan magmanın evriminde karışma ya da AFC işlemlerinin ne derece etkin olduğunu anlamak amacıyla nümerik modellemeler yapılmıştır. Mixing modellemesi başarısız olmuş ancak Topuk granitoyidinin petrolojik evriminde asimilasyonlu fraksiyonel kristallenmenin etkin olduğu gözlenmiştir. (Şekil 5.5 ve

5.6). DePaolo (1981) tarafından önerilen formüle göre yapılan asimilasyonlu fraksiyonel kristallenme modellemesinde, Batı Anadolu zenginleşmiş manto eriyikleri (BAZME) ve yine bölgeden derlenmiş lökokratik kabuk eriyikleri iki ayrı uç üyeyi temsil etmektedir (Şekil 5.9; Kamacı ve Altunkaynak, yayımlanmamış veri). Topuk granitoidine ait veriler, farklı “r” değerlerine göre hesaplanan AFC (asimilasyonlu fraksiyonel kristallenme) teorik trendleri ile karşılaştırılmıştır. r değerleri, başlangıç bileşiminin (BAZME) kabuk kirlenmesinin fraksiyonel kristallenmeye oranını göstermektedir ($r = \text{kabuksal kirlenme} / \text{fraksiyonel kristallenme}$). AFC modellemesine göre, Topuk granitoidi örnekleri, baskın olarak $r=0.1$ ve 0.2 trendlerine yakın sonuçlar vermiştir. Zamanda ve makanda bezerlik gösteren bu örnekler benzer petrografik, jeokimyasal özellikler sergilemekle kalmayıp, benzer Nd-Pb izotop özellikleri gösterir. Bu veriler, Topuk granitoidi’nin petrolojik evriminde fraksiyonel kristallenmeye eşlik eden kabuksal kirlenme süreçlerinden (AFC) düşük oranda ($0.1-0.2$) etkilendiğini göstermektedir.

6. SONUÇLAR

1. İnceleme alanının 1/25000 ölçekli jeolojik haritası ve genelleştirilmiş stratigrafik kesiti oluşturulmuştur. Bu çalışmalara göre, bölgedeki kayaçlar 4 farklı kaya grubuna ayrılmıştır. Bu kaya grupları: a) Temel Kayaları, b) Magmatik Kayaçlar, c) Çökel Kayaçlar, d) Alüvyon'dur.

2. İnceleme alanında bulunan farklı kaya gruplarından yaklaşık 150 adet temsili örnek alınmış, bu örneklerden 46 adet ince kesit yapılmıştır. Hazırlanan ince kesitler üzerinde mineralojik ve petrografik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Gerek sahada gerekse optik mineraloji laboratuvarında yapılan petrografik incelemeler ile magmatik ve metamorfik kayaçların doku ve bileşimleri belirlenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda temel kayalarının ofiyolitik kayalar (Dünit, lerzolit ve serpantinit: Orhaneli ofiyoliti), mavişist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış metapelit ve metavolkanitlerden (Kocasu formasyonu) ve mermerlerden (İnönü Mermeri) oluştuğu belirlenmiştir. İnceleme alanındaki magmatik kayaçlar Topuk granitoyidi ve hipabisal kayaçlarla temsil olunur. Topuk granitoidinin ana kütlesi granodiyorit bileşimindedir, mafik mikrogranüler anklavlar içerir, aplit ve kuvars porfir daykları ile kesilir. Magmatik anklavlar diyorit/kuvars-diyorit, hipabisal kayaçlar ise granodiyorit/kuvars monzonit bileşimlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

3-Eosen döneminde Topuk granitoidinin sokulumu ile temel kayalarında petrografik analizlerde elde edilen mineral parajenezlerine göre hornblend-hornfels fasiyesinden albit-epidot hornfels fasiyesine kadar değişmektedir.

3. İnceleme alanında yüzeyleyen farklı bileşim ve dokulara sahip magmatik kayaçlardan 12 adet ana oksit ve iz element analizi, 6 adet Sr-Nd-Pb izotop analizi yapılmıştır. Bu analizler sonucunda kayaçların bileşimleri belirlenmiştir; Topuk granitoyidi ana magmatik gövdesinin petrografik analizlerle uyumlu olarak granodiyorit bileşiminde, mafik mikrogranüler anklavların diyorit-gabroik diyorit bileşiminde, aplit dayklarının granit bileşiminde, hipabisal kayaçların ise granodiyorit bileşiminde olduğu tespit edilmiştir. Tüm magmatik kayaçlar benzer ana-iz element özellikleri sergilemekte, dar bir aralıkta değişen benzer izotop değerlerine sahiptir.

4-Ana ve iz element ve Sr-Nd-Pb özellikleri özellikleri, literatürde jeokimyasal özellikleri daha önce sunulmuş olan zamanda ve mekânda ortaklık gösteren diğer Eosen plütonları ile birlikte değerlendirilmiş ve bölgedeki magmatik kayaları oluşturan magmanın zenginleşmiş litosferik manto kökenli olduğu ancak bir miktar astenosferik manto katkısının da bulunduğu belirlenmiştir.

5- Topuk granodiyoriti, anklavlar, dayklar ve hipabisal kayaların jeokimyasal özellikleri ve izotop karakteristikleri mantodan türeyen magmanın AFC ya da karışma süreçleri ile kıta kabuğundan kirlendiğine işaret etmektedir. Bu kaya gruplarının gelişiminde asimilasyonlu fraksiyonel kristallenme (AFC) süreçlerinin etkin olmuştur. Ancak magmatik kaya topluluklarının kendi içindeki farklı bileşimdeki kayaların gelişiminde ise fraksiyonel kristallenmenin (FC) de etkili olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- Aldanmaz, E., Pearce, J., Thirlwall, M.F., Mitchell, J.** (2000). Petrogenetic evolution of late post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 102, 67–95.
- Alıcı, P., Temel, A., Gourgaud, A.** (2002). Pb–Nd–Sr isotope and trace element geochemistry of Quaternary extension-related alkaline volcanism: a case study of Kula region (western Anatolia, Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 115, 487–510.
- Altunkaynak, Ş.** (2007). Collision-driven slab breakoff magmatism in northwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Geology* vol: 115, no:1, 63-82
- Altunkaynak, Ş., Sunal, G., Aldanmaz, E., Genç, C. Ş., Dilek, Y., Furnes, H., ... & Yıldız, M.** (2012a). Eocene granitic magmatism in NW Anatolia (Turkey) revisited: new implications from comparative zircon SHRIMP U–Pb and ⁴⁰Ar–³⁹Ar geochronology and isotope geochemistry on magma genesis and emplacement. *Lithos*, 155, 289-309.
- Altunkaynak, Ş., Dilek, Y., Genç, C. Ş., Sunal, G., Gertisser, R., Furnes, H., ... & Yang, J.** (2012b). Spatial, temporal and geochemical evolution of Oligo–Miocene granitoid magmatism in western Anatolia, Turkey. *Gondwana Research*, 21(4), 961-986.
- Bingöl, E.** (1975). Batı Anadolu'nun jeotektonik evrimi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 86(86).
- Boynton V.W.** (1984). Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies, *Rare Earth Element Geochemistry*, ed: Henderson P., Elsevier, Amsterdam. sf: 63-114
- Bürküt, Y.** (1966). Kuzey Batı Anadolu'da yeralan plütonların mukayeseli genetik etüdü (Doctoral dissertation, İTÜ), 272.
- Cox, K. G., Bell, J. D., ve Pankhurst, R. J.** (1979). The interpretation of igneous rocks (p. 450). London: G. Allen ve Unwin.
- Delaloye, M ve Bingöl, E.** (2000). Granitoids from Western And Northwestern Anatolia, *Geochemistry and Modeling of Geodynamic Evolution*. International Geology Review. Vol. 42, sf: 241-268
- DePaolo, D.J.** (1981). Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallisation. *Earth and Planetary Science Letters* 53, 189–202.
- Didier, J., Barbarin, B.** (1991). Enclaves and Granite Petrology. In: *Developments in Petrology*, vol. 13. Elsevier, Amsterdam, sf: 625.
- Dupuy, C., Dostal, J., Marcelot, G., Bougault, H., Joron, J. L., & Treuil, M.** (1982). Geochemistry of basalts from central and southern New Hebrides arc:

implication for their source rock composition. *Earth and Planetary Science Letters*, 60(2), 207-225.

Emre, H. (1986). Orhaneli ofiyolitinin jeolojisi ve petrolojisi, İst. Ün. Fen Bilim. Enst., Doktora Tezi, sf: 165.

Erginal, A.E. (2005). Bursa, Uludağ Güneyindeki Topuk Plütonunda Göynükbelen Butonyerinin Oluşumu ve Granitik Şekiller. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi*, 13: 139-150, İstanbul.

Ertürk, E. (2009). Göynükbelen Granitoyidi Güneybatı kesiminin petrografisi ve Orhaneli Ofiyoliti ile ilişkisi (Bursa) (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, 181 sf (yayımlanmamış).

Harker, A. (1909). *The Natural History of Igneous Rocks*. Methuen, London.

Harris, N.B.W., Kelley, S. ve Okay, A.İ. (1994). Post-collision magmatism and tectonics in northwest Anatolia, *Contributions to Mineralogy and Petrology* 117, 241-252.

Irvine T.N., Baragar W.R.A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian Journal of Earth Science*, 8, 523-48.

Janousek, V., Farrow, C. M., ve Eerban, V. (2006). Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology*, 47(6), 1255-1259.

Kaya, O., Helvacı, H., Kozur, H., Sadeddin, W. (2001). Late Norian conodont age for a metacarbonate unit in NW Anatolia, Turkey. *Geobios*, 34(5), 527-532.

Lisenbee, A. (1971). The Orhaneli ultramafic-gabbro bthrust sheet and its surroundings. In A.S. Campbell (Editor), *Geology and History of Turkey*. Petroleum Exploration Society of Libya, Tripoli, s 349-360.

Lisenbee, A. (1972). Structural setting of the Orhaneli ultramafic massif near Bursa, northwestern Turkey. Ph. D. thesis. Pennsylvania State University, s 157 (unpubl).

McCulloch, M.T. Gamble J., A. (1991). Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 102, 358–374.

McDonough W.F. (1991). Partial melting of subducted oceanic crust and isolation of its residual eclogitic lithology, *Phill. Trans. R. Soc. London.*, 335 A, 407-18.

Middlemost E. A. K. (1994). Naming materials in magma/igneous rock system. *Earth Sci Rev* 37:215–224

Okay, A. İ. (1984). Distribution and characteristics of the north-west Turkish blueschists. *Geological Society, London, Special Publications*, 17(1), 455-466.

Okay, A. İ. (1985). Metamorphic belts in northwest Anatolia (in Turkish). In: *Ketin Symposium Book*, Publication of the Geological Society of Turkey, Ankara, 83-92.

Okay, A. İ. (2002). Jadeite–chloritoid–glaucofan–lawsonite blueschists in north-west Turkey: unusually high P/T ratios in continental crust. *Journal of Metamorphic Geology* 20, 757–768.

Okay, A.İ. (2004). Tectonics and high pressure metamorphism in northwest Turkey: field trip guide book-P01. In: *32th International Geological Congress*. APAT, Italy, sf: 56.

- Okay, A. İ.** (2011). Tavsanlı Zone: the northern subducted margin of the Anatolide-Tauride block. *Bull. General Dir. Miner. Res. Explor. Turk.* 142, 195-226.
- Okay, A. İ., Kelley, S.P.** (1994). Tectonic setting, petrology and geochronology of jadeite + glaucophane and chloritoid + glaucophane schists from north-west Turkey. *J. Metamorph. Geol.* 12, 455-466.
- Okay, A. İ. ve Satır, M.** (2006). Geochronology of Eocene plutonism and metamorphism in northwest Turkey, evidence for a possible magmatic arc *Geodinamica Acta*, 19, 251-266.
- Okay, A. İ., Harris, N.B.W. ve Kelley, S.P.** (1998). Exhumation of blueschists along a Tethyan suture in northwest Turkey, *Tectonophysics*, 285, 275-299.
- Okay, A. İ., Satır, M., Zattin, M., Cavazza, W., Topuz, G.** (2008). An Oligocene ductile strike-slip shear zone: Uludağ Massif, northwest Turkey – implications for the escape tectonics. *Geological Society of America Bulletin*, 120, 893–911, doi: 10.1130/B26229.1.
- Okay, A. İ., Whitney, D.L.** (2010). Blueschists, eclogites, ophiolite and suture zones in Northwest Turkey: a review and a field excursion guide. *Ofioliti* 35, 131
- Orhan, A., Mutlu, H., Demirbilek, M.** (2017). Geochemistry of the Topuk Pluton associated with the Kozbudaklar W-skarn deposit (western Anatolia, Turkey): implication for crystallization conditions. *Journal of African Earth Sciences*, 130, 141-160.
- Örgün, Y.** (1993). Topuk-Göynükbelen (Orhaneli-Bursa) yöresi Nikel oluşumlarının kökensel İncelenmesi (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, 216 sf. (yayımlanmamış).
- Örgün, Y., Aykol, A.** (1998). Topuk-Göynükbelen sokulumunun mineralojik ve jeokimyasal özellikleri, Bursa-Orhaneli, KB Anadolu, *Yerbilimleri (Geosound)*, No. 30, s. 665-679
- Rollinson, H. R.** (1993). Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation.
- Servais, M.** (1982). Collision et suture tethysienne en Anatolia Centrale etude structurale et metamorphique (Hp-LT) de la zone nord Kütahya: Doktora tezi (yayımlanmamış), Paris Univ., Fransa
- Shand, S.J.** (1943). *Eruptive Rocks, Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite*, New York, John Wiley & Sons.
- Stracke, A., Bizimis M., Salters V. J. M.** (2003a). Recycling oceanic crust: Quantitative constraints, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 4(3), 8003, doi:10.1029/2001GC000223.
- Streckeisen, A.**, 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.* 12 (1), 1-33.
- Sun, S.S. ve McDonough, W.F.** (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in the ocean basins*. Saunders, A.D. ve Norry, M.J. (Editors), Geological Society of London, London. 42: 313-345.

- Pearce J.A.** (1982). Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries, *Andesites*, ed: Thorpe R.S., John Wiley & Sons, sf: 248- 525.
- Pearce, J.A.**, (1983). Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenolites*. Shiva, Nantwich, pp. 230–249,
- Pearce J.A., Peate D.W.** (1995). Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23, 113-34.
- Peccerillo A., Taylor S.R.** (1976). Geochemisty of Eocene calc-alkaline volcanic rocks in the Kastamonu area, Northern Turkey, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.
- Pe-Piper, G., Piper, D.J.W.** (2006). Unique features of the Cenozoic igneous rocks of Greece. In: Dilek, Y., Pavlides, S. (Eds.), *Postcollisional tectonics and magmatism in the Mediterranean region and Asia: Geological Society of America Special Paper*, vol. 409, pp. 259–282.
- Taner, G. Yeşilyurt-Kapan, S. ve İslamoğlu, Y.** (1997). Marmara Denizi Güneyi Torutullarının Kuvarterner Mollusk Faunası (Türkiye). *Geosound*. 30, 217-229, Adana.
- Thirlwall M.F., Smith T.E., Graham A.M., Theodoru N., Hollings P., Davidson J.P., Arculus R.D.** (1994). High field strength element anomalies in arc lavas: source or processes, *J. Petrol.*, 35, 819-838.
- Varol, B., Şahbaz, A., Görmüş, S., Bayhan, E., Özdoğan, M., ve Emre, Ö.** (1997). Karacabey-Mudanya Bölgesi Üst Miyosen-Pliyosen Karbonatlarının Sedimentolojisi ve izotop Jeokimyası. Güney Marmara Bölgesinin Neojen ve Kuvarterner evrimi. TÜBİTAK YDABÇAG-426/G Proje Raporu, 87-89.
- Yılmaz, Y., Genç C., Altunkaynak Ş., Karacık Z.** (2001). Post-collisional magmatic associations of NW Anatolia, Turkey. *Jour. Geodynamics*. 34: 1-4, sf: 20-42.
- Zindler, A., Hart, S.R.** (1986). Chemical Geodynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 14, 493–571.

EKLER

EK A Çalışma alanının 1/25000 ölçekli jeolojik haritası





ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: IŞIL NUR GÜRASLAN

Unvan: Araştırma Görevlisi, İTÜ

Doğum: İstanbul, 06.12.1993

Adres:

Yıldıztepe Mah., Şanlı Sok., Sever Apt.,

No:1 Da:1

Bağcılar, İSTANBUL

GSM: 05554764403

E-mail: guraslan@itu.edu.tr

isilnurguraslan@gmail.com



Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı 2016-...

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği (İngilizce), 2016. Tez Başlığı: Geology and Petrography of the Eastern Edge of Solarya Pluton and Usability of the Granitic Rocks as Building Stone. Danışman: Prof. Dr. Şafak Altunkaynak

Lise: İstanbul Bakırköy Hasan Polatkan Anadolu Lisesi, 2011.

İlköğretim: İstanbul Bahçelievler Hazım Ersu İlköğretim Okulu

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN ÜRETİLEN YAYINLAR VE SUNUMLAR

Güraslan, I.N., Altunkaynak, Ş., 2018. Source characteristics and magma evolution of Topuk granitoid (NW Anatolia): constraints from new Sr-Nd-Pb isotope data. EGU General Assembly 2018, Vienna, Austria.

Güraslan, I.N., Altunkaynak, Ş., 2018. KB Anadolu'da manto yükselimine bağlı granitik magma oluşumuna bir örnek: Topuk Plütunu. 8. Jeokimya Sempozyumu, Antalya, Türkiye.

