

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DERVİŞLİ (EŞME-UŞAK) DOLAYINDAKİ RUTİLLİ PLASERLERİN
JEOLJİK, MİNERALJİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

Kayhan IŞIK

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Oya CENGİZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2016**




© 2016 [Kayhan IŞIK]


TEZ ONAYI

KayhanIŞIK tarafından hazırlanan "**Dervişli (Kşme-Uşak) Dolayındaki Rutilli Plaserlerin Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman


Yrd. Doç. Dr. Oya CENGİZ
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Mustafa KUŞCU
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY
Akdeniz Üniversitesi

Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Kayhan IŞIK

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç.....	2
1.2. Konu ve Kapsam	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	15
4.1. Çalışma Alanı	15
4.1.1. Coğrafik Özellikler	16
4.1.2. İklim ve Bitki Örtüsü	17
4.1.3. Ekonomik Durum	17
4.2. Bölgesel Jeoloji	17
4.3. Stratigrafi	21
4.3.1. Paleozoyik	23
4.3.1.1. Eşme Formasyonu (<i>Pzşe</i>)	23
4.3.2. Neojen	24
4.3.2.1. Ahmetler Formasyonu (<i>Tia</i>)	24
4.3.3. Kuvaterner	26
4.3.3.1. Yamaç döküntüsü (<i>Qy</i>).....	26
4.3.3.2. Rutilli çakıl-kum-mil (<i>Qt</i>).....	26
4.3.3.3. Dere alüvyonu (<i>Qd</i>).....	27
4.4. Ekonomik Jeoloji	28
4.4.1. Dünya'daki mevcut durum	29
4.4.1.1. Rezervler	29
4.4.1.2. Tüketim alanları.....	29
4.4.1.3. Dünya'da titanyum mineralleri üretimi, tüketimi ve ticareti	30
4.4.2. Türkiye'de Durum.....	30
4.4.2.1. Titanyumun Türkiye'de bulunuş şekli ve rezevleri	30
4.4.2.2. Türkiye'de tüketim alanları	31
4.4.2.3. Üretim, ithalat ve ihracat	32
4.5. Çalışma Alanındaki Rutil Zuhurları	32
4.5.1. Karaöz Deresi Mevkii Rutil Zuhuru	32
4.5.2. Hacıhüseyinli Mevkii Rutil Zuhuru	36
4.5.3. Mollasüleymanlı Mevkii Rutil Zuhuru	40
4.5.4. Gökhasanlı Mevkii Rutil Zuhuru.....	43

4.6. Mineralojik Özellikler	46
4.6.1. Polarizan Mikroskop İncelemeleri	47
4.6.2. X-Işını Kırınımı Analizleri	60
4.7. Çalışma Alanındaki Rutillerin Jeokimyasal Özellikleri	71
4.7.1. Major Oksitler	71
4.7.2. İz Elementler	74
4.7.3. Nadir Toprak Elementleri.....	80
4.7.4. Oksijen İzotop Oranları	84
4.8. Oluşumu ve Ekonomik Durumu	84
4.8.1. Çalışma Alanındaki Rutillerin Kökeni	84
4.8.1.1. Nb ve Cr konsantrasyonları.....	84
4.8.1.2. Mg ve Al içeriği.....	86
4.8.1.3. Nb ve Ta içeriği	86
4.8.1.4. Rutil içindeki Zr termometresi	88
4.8.1.4. Kuvars-rutil jeotermometresi	89
4.8.2. Çalışma Alanındaki Rutillerin Ekonomik Durumu	90
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	92
KAYNAKLAR	96
EKLER.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	100

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DERVİŞLİ (EŞME-UŞAK) DOLAYINDAKİ RUTİLLİ PLASERLERİN JEOLojİK, MİNERALojİK JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Kayhan IŞIK

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Oya CENGİZ

Bu tez çalışmasında Eşme (Uşak) ilçesinin Dervişli köyü'nde Uşak K21-c4 ile Uşak L21-b1 paftaları arasındaki yaklaşık 30 km²'lik bir alan incelenmiştir. Sahada alttan üste doğru; Paleozoyik yaşlı Eşme Formasyonu, bu birimi uyumsuz bir dokanak ile üzerleyen Neojen yaşlı Ahmetler Formasyonu'nun Balçıklıdere Üyesi ve en üstte Kuvaterner yaşlı güncel çökeller olan dere alüvyonu, taraça ve yamaç molozları bulunmaktadır. Plaser rutil zuhurları; Karaöz deresi mevki, Hacıhüseyinli mevki, Mollasüleymanlı mevki ve Gökhasanlı mevkiindeki taraça çökelleri ile dere yataklarında gözlenen alüvyonlar ve yamaçlar üzerindeki elüvyal birikintilerde gözlenmektedir. Sahadaki rutilli plaserlerin mineral parajenezlerini; kuvars, albit, biyotit, muskovit, ortoklas, amfibolit (aktinolit), granat, kaolen, rutil, turmalin ve ilmenit oluşturmaktadır. Yamaçlarda bulunan rutilli elüvyal ve yamaç molozlarında gözlenen rutilli kuvars damarlarının parajenezinde ise kuvars, rutil, ilmenit, feldispat ve muskovit mineralleri belirlenmiştir. Çalışma sahasından derlenen rutil tanelerinin major oksit bileşimleri; ortalama % 93,95 TiO₂, % 1,52 Fe₂O₃, % 0,60 SiO₂ ve % 0,30 Al₂O₃ değerlerine sahiptir. İz elementler ise ortalama 1538,05 ppm Nb, 989,75 ppm V, 395,07 ppm Cr, 203,82 ppm W, 99,70 ppm Ta, 68,52 ppm Zr, 63,7 5ppm Sn ve 3,50 ppm Hf değerlerine sahiptir. Çalışma sahasından derlenen rutil örneklerindeki Zr içeriği kullanılarak rutil içindeki Zr termometresi ve oksijen izotop değerleri üzerinden elde edilen kuvars-rutil jeotermometresi sonuçlarına göre sırasıyla ortalama 532 °C ve 534 °C'lik oluşum sıcaklıkları belirlenmiştir. Arazi gözlemleri ile

rutillerin şistleri kesen pegmatitik kuvars damarları içerisinde bulunduğu ve bu damarların parçalanıp aşınmasıyla elüvyal taraça ve dere yataklarındaki kırıntılı sedimanlar içersine geldiği belirlenmiştir. Mineralojik incelemeler ile elde edilen mineral parajenezleri, jeokimyasal analiz sonuçları ve yapılan jeotermometre uygulamaları sonucu elde edilen oluşum sıcaklığı değerleri, söz konusu oluşum kökenini destekler nitelikte olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Eşme, Uşak, Plaser Rutil, Jeoloji, Mineraloji, Jeokimya.

2016, 100 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

GEOLOGICAL, MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF RUTILE BEARING PLACERS AROUND IN DERVİŞLİ (EŞME-UŞAK)

Kayhan IŞIK

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Geological Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Oya CENGİZ

In this thesis work, an area of about 30 km² between UŐak K21-c4 and UŐak L21-b1 map chard sheets in Dervišli village of EŐme district was investigated. In the field, from bottom to top, there are 3 different formations which are Paleozoic EŐme Formations, Neogene Balçıklıdere member of Ahmetler Formations and, on the top, Quaternary stream alluvial, terrace and slope wash as current sediments. Placer rutil appearances are observed in terrace sediments, alluvions which observed in stream beds and talus on slopes in Karaöz stream, Hacıhüseyinli, Mollasüleymanlı and Gökhasanlı locations. Mineral paragenesis of rutil placers in the field are consist of quartz, albite, biotite, muscovite, orthoclase, amphibole (actinolite), garnet, kaoline, rutil, turmaline and ilmenite minerals. Also, paragenesis of rutil bearing quartz veins which observed in rutil bearing elluviums and slope wash are consist of quartz, rutil, ilmenite, feldspar and muscovite minerals. Average major oxide values of detrital rutilites that complied from working site are % 93,95 TiO₂, % 1,52 Fe₂O₃, % 0,60 SiO₂, %0,30 Al₂O₃. Also, avarage trace element values are 1627,40 ppm Al, 1538,05 ppm Nb, 989,75 ppm V, 395,07 ppm Cr, 203,82 ppm W, 99,70 ppm Ta, 68,52 ppm Zr, 63,75 ppm Sn ve 3,50 ppm Hf. Rutil samples that complied from working site shows 532 °C and 534 °C as results of Zr-in rutil thermometry and quartz-rutil geothermometry studies which obtained by oxygen isotope results of quartz and rutil samples. As a result of field observations, rutilites are found in pegmatitic quartz veins which cuts to schists and came into elluvial terraces and stream beds by eroding and fragmentising of

this veins. Mineral paragenesis which obtained by mineralogical examinations, results of geochemical analysis and results of geotermometer applications are supported this origin.

Key Words: PlacerRutile, Eşme, Uşak, Mineralogy, Geochemistry.

2016, 100 pages



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Oya CENGİZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlık aşamasında fikir, görüş ve tecrübelerini esirgemeyen Sayın Prof.Dr.Mustafa KUŞÇU'ya, mineralojik analizlerin gerçekleştirilmesi ve ince kesit incelemelerinde yorumlarıyla bana ışık tutan Sayın Doç. Dr. Ömer ELİTOK'a şükranlarımı sunarım

3988-YL2-14 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Kayhan IŞIK

ISPARTA, 2016

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Çalışma alanını gösteren yer bulduru haritası.....	15
Şekil 4.2. Çalışma sahasının bulunduğu bölgenin topoğrafik özelliklerinin arazi görünümü	16
Şekil 4.3. Batı Anadolu'nun genelleştirilmiş tektonik haritası.....	18
Şekil 4.4. Çalışma sahasını gösteren bölgesel jeoloji haritası.....	21
Şekil 4.5. Çalışma bölgesine ait stratigrafik sütun kesit.	22
Şekil 4.6. Eşme Formasyonuna ait şistlerin arazi görünümleri.....	23
Şekil 4.7. Eşme Formasyonuna ait şistleri kesen kuvars damarını gösteren arazi fotoğrafı (Gökhasanlı).	24
Şekil 4.8. Eşme Formasyonu ile Ahmetler Formasyonu arasındaki dokanağın görünümü (Sırçalı Tepe)	25
Şekil 4.9a. Taraça profilini gösteren arazi görünümü (Sarıgöl Deresi)	26
Şekil 4.9b. Taraça içerisindeki rutil tanelerinin yakın görünümü (Sarıgöl Deresi).	27
Şekil 4.10a. Sarıgöl Deresine ait dere alüvyonunu gösteren arazi fotoğrafı	27
Şekil 4.10.b. Eroğlu Deresi dere yatağındaki döküntü ve serpinti şeklinde gözlenen rutil tanelerinin yakın görünümü.....	28
Şekil 4.11. Sırçalı Tepeden Karaöz Deresine bakış	33
Şekil 4.12. Eroğlu ve Karaöz derelerinin kesişim noktası birimlerinin dokanak ilişkisi	33
Şekil 4.13. Eroğlu ve Karaöz derelerinin kesişim noktası birimlerinin dokanak ilişkisini gösteren stratigrafik şematik kesit	34
Şekil 4.14. Eroğlu Deresi içerisindeki rutil (ru: rutil, Q: kuvars).....	34
Şekil 4.15. Eroğlu Deresi ve Karaöz Deresi kesişim noktasından alınan turmalin damarlı kuvars (tur: turmalin, Q: kuvars)	35
Şekil 4.16. Eroğlu deresi ile Karaöz deresinin kesişim yerine yakın Eroğlu deresi içerisinden alınan plaser örneğinin ICP-OES analiz sonucunun elek boyutuna göre gösterimi	35
Şekil 4.17. Eroğlu deresi içerisindeki yamaç döküntüsü içerisinde kuvars içinde rutil minerali	36
Şekil 4.18. Eroğlu deresi içinde ve taraçadan rutil	37
Şekil 4.19. Eroğlu deresi rutilli dere taraçası (Qt) ve metamorfik kayaların (Pzşe) dokanak ilişkisi	37
Şekil 4.20. Sarıgöl taraçası içerisindeki rutil minerali.....	38
Şekil 4.21. Sarıgöl Deresi taraçasının şematik stratigrafik kesiti	38
Şekil 4.22. Sarıgöl ve Eroğlu deresi kesişiminde plaser içerisindeki rutilin birikimi	39
Şekil 4.23. Eroğlu deresi ve Sarıgöl deresi kesişim noktasındaki taraçadan toplanan rutil taneleri	39
Şekil 4.24. Eroğlu deresi ve Sarıgöl deresinden alınan plaser örneklerinin Ti analiz sonuçlarının elek boyutuna göre grafik görünümü	40
Şekil 4.25. Kuvarsit içerisindeki turmalin (Sırçalı Tepe).....	41
Şekil 4.26. Kuvarsit içerisindeki rutil kristali (Sırçalı Tepe).....	41
Şekil 4.27. Dervişli Köyünden Mollasüleymanlıya gidişteki metamorfiklerin mostrası	42
Şekil 4.28. Şist kayacını kesen kuvars (Q) damarı (Dervişli Köyü Mollasüleymanlı Mahallesi yolu)	43

Şekil 4.29. Mollasüleymanlı sahasından alınan plaser örneğinin Ti analiz sonucu ve elek boyutu ilişkisinin grafiksel görünümü.....	43
Şekil 4.30. Gökhasanlı Mahallesi'ne bakış	44
Şekil 4.31. Gökhasanlı Mahallesi Eroğlu köyü arasındaki yol yarması	45
Şekil 4.32. Gökhasanlı Eroğlu köyü yolunu kesen Eroğlu deresinde rutil minerali birimi.....	45
Şekil 4.33. Hacıhüseyinli ve Gökhasanlı rutil sahalarından toplanan rutil tanelerinin, tane boyutu dağılım grafiği	46
Şekil 4.34. Rutilli kuvars içerisindeki kuvars(Q) (Çift Nikol, 4X).....	47
Şekil 4.35. Kuvars (Q) (Çift Nikol, 4X).....	48
Şekil 4.36. Şist içerisindeki biyotit (bi) ve muskovit (mu) (Çift Nikol, 4X)	49
Şekil 4.37. Şist içerisindeki biyotit (bi) ve granat (gr) (Tek Nikol, 10X)	49
Şekil 4.38. Şist içerisindeki ortoklas (ort) ve muskovit (mu) (Çift Nikol, 10X) ...	50
Şekil 4.39. Kuvarsit (Q) içerisinde turmalin (tur) (a: (Çift Nikol, 4X), b: (Tek Nikol, 4X))	51
Şekil 4.40. Kuvarsit (Q) içerisindeki turmalin (tur) (Tek Nikol, 4X)	52
Şekil 4.41. Kuvarsit içerisindeki kuvars (Q), turmalin (tur) ve muskovit (mu) (Çift Nikol, 4X)	52
Şekil 4.42. Şist içerisindeki muskovit (mu) ve biyotit (bi) (a (Çift Nikol, 4X),b(Tek Nikol, 4X))......	53
Şekil 4.43. Şist içerisindeki granat (gr), muskovit (mu) ve kuvars (Q) (a (N ⁻ ,4X), b (N ⁺ ,4X))	54
Şekil 4.44. Rutilli kuvars içerisindeki rutil (ru) (Çift Nikol, 4X)	55
Şekil 4.45. Rutilli kuvars içerisindeki rutil (ru) (Çift Nikol, 4X)	55
Şekil 4.46. Rutilli kuvars içerisindeki rutil ve opak mineraller (Çift Nikol, 4X) ..	56
Şekil 4.47. Rutilli kuvars içerisindeki rutil (ru) (Çift Nikol, 4X)	57
Şekil 4.48. Rutilli kuvars (Q) içerisindeki rutil (ru) (Tek Nikol, 4X)	57
Şekil 4.49. Rutilli kuvars içerisindeki rutil (ru), muskovit (mu) ve kuvars (Q) (a:(Çift Nikol, 4X), b: (Tek Nikol, 4X))	58
Şekil 4.50. Şist içerisinde gözlenen porfiroblastik doku (Çift Nikol, 4X)	59
Şekil 4.51. Şist içerisinde gözlenen nematogranoblastik doku (Çift Nikol, 4X)...	59
Şekil 4.52. Plaser içerisindeki turmalin (tur) (Tek Nikol, 10X)	60
Şekil 4.53. D-6 kayaç numunesinin turmalin (dravit) ve kuvars içeriğini gösteren XRD analiz sonucu	63
Şekil 4.54. MS-7 kayaç numunesinin turmalin (dravit) ve kuvars içeriğini gösteren XRD analiz sonucu	64
Şekil 4.55. MS-4 kayaç numunesinin ilmenit ve kuvars içeriğini gösteren XRD analiz sonucu	65
Şekil 4.56. HH-4 rutil taneleri numunesinin rutil ve ilmenit içeriğini gösteren XRD analiz sonucu	66
Şekil 4.57. HH-2 dere kumu numunesinin muskovit, kaolen, ortoklas, albit ve kuvars içeriğini gösteren XRD analiz sonucu	67
Şekil 4.58. HH-1 dere kumu numunesinin albit, muskovit, kaolen, ortoklas ve kuvars içeriğini gösteren XRD analiz sonucu	68
Şekil 4.59. GH-2 kayaç numunesinin kuvars içeriğini gösteren XRD analiz sonucu	69
Şekil 4.60. ED-3 ilmenitli kuvars numunesinin ilmenit, muskovit, kuvars, ortoklas ve kaolen içeriğini gösteren XRD analiz sonucu	70

Şekil 4.61. Rutil örneklerinin SiO ₂ ve Fe ₂ O ₃ değerlerine karşılık TiO ₂ değerlerini gösteren varyasyon grafikleri	73
Şekil 4.62. Rutilli kuvars damarı örneklerinin TiO ₂ ve Fe ₂ O ₃ değerlerine karşılık SiO ₂ değerlerini gösteren varyasyon grafikleri	73
Şekil 4.63. Rutil örneklerinin TiO ₂ değerlerine karşılık çeşitli iz element değerlerini (Nb, Cr, Ta, V, Zr, W ve Sn) gösteren varyasyon diyagramları	79
Şekil 4.64. Rutil örneklerinin kondrit normalizasyonuna göre nadir toprak elementi modelleri.....	81
Şekil 4.65. Kuvars damarı örneklerinin kondrit normalizasyonuna göre nadir toprak elementi modelleri	81
Şekil 4.66. Nb (ppm) değerlerine karşılık Cr (ppm) değerlerinden yararlanılarak metamafik veya metapelitik köken litolojilerini gösteren rutillerin ayrımı.....	85
Şekil 4.67. Rutildeki Al ve Mg içeriğine bağlı olarak kabuktan veya mantodan türemiş rutillerin ayrımı	86
Şekil 4.68. Rutil örneklerinin Nb içerikleri ile Nb/Ta oranlarının varyasyonu ..	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Dünyada mevcut titanyum (rutil ve ilmenit) cevherinin yayılımı ve rezervleri	29
Çizelge 4.2. Dünya titanyum minerali üretimi ve ticareti (1998)	30
Çizelge 4.3. MTA Genel Müdürlüğü tarafından bulunan titanyum rezervleri	31
Çizelge 4.4 Türkiye'nin titanyum ithalatı	32
Çizelge 4.5. XRD analizi yapılan örneklerin numune numaraları ve numune içeriği	61
Çizelge 4.6. XRD analizi sonuçlarına göre kayaçların ve dere kumu numunesinin mineral parajenezleri	62
Çizelge 4.7. Çalışma sahasındaki rutilli sahalardan derlenen rutil ve rutilli kuvars damarı örneklerinin major oksit analiz sonuçları	72
Çizelge 4.8. Çalışma sahasındaki rutilli sahalardan derlenen rutil ve rutilli kuvars damarı örneklerinin iz element analiz sonuçları	76
Çizelge 4.9. İz element değerlerinin (ppm) daha önce yapılmış çalışmalarda iz element değerleriyle karşılaştırılması	77
Çizelge 4.10. Çalışma sahasındaki rutilli sahalardan derlenen rutil, rutilli kuvars damarı, kuvars damarı ve turmalinli kuvars damarı örneklerinin nadir toprak elementleri analiz sonuçları.	83
Çizelge 4.11. Çalışma sahasındaki rutil ve kuvars numunelerinin oksijen izotop analiz değerleri.	84
Çizelge 4.12. Rutil örneklerinin rutil içerisindeki Zr termometresine göre sıcaklık değerleri	88
Çizelge 4.13. Çalışma alanının ortalama tenör ve jeolojik rezervi	91

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ICP-MS	İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi
ICP-OES	İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi
kV	Kilovolt
Log	Logaritma
mA	miliamper
N ⁺	Çift Nikol
N ⁻	Tek Nikol
Ppm	Parts Per Million
Pzşe	Eşme Formasyonu
Qd	Dere Alüvyonu
Qt	Taraça
Qy	Yamaç Molozu
T	Sıcaklık
Tiab	Ahmetler Formasyonu'nun Balçıklıdere Üyesi
XRD	X-Işını Difraktometresi
%	Yüzde
‰	Binde
µm	Mikrometre

1. GİRİŞ

Titanyum Dünya'nın kıtasal kabuğundaki dokuzuncu en bol bulunan element olup, aynı zamanda mühendislikte kullanılan metaller içerisinde doğadaki yaygınlığı göz önüne alındığında alüminyum, demir ve magnezyumdan sonra dördüncü sırayı almaktadır. En önemli titanyum mineralleri ise rutil (TiO_2), ilmenit ($FeTiO_3$) ve titanittir ($CaTiSiO_5$). Bunlardan rutil ve ilmenit, ticari değer açısından en önemlilerini oluşturmaktadır. Son yıllarda titanyum metali çeşitli endüstrilerde giderek artan miktarda kullanılmakta olup rutil ve ilmenitten elde edilen TiO_2 ' in yaklaşık %95'i boya, kağıt, plastik, tekstil ve kozmetik sanayisinde beyaz pigment olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, titanyum hafif ve dayanıklı bir metal olmasından dolayı gelişen havacılık ve uzay endüstrisinde kendisine geniş kullanım alanları bulmaktadır.

Ekonomik öneminin yanında rutil, jeokimyasal açıdan da büyük öneme sahiptir. Bunun nedeni, rutilin Nb ve Ta'unda içinde bulunduğu yüksek alan kuvvet elementlerine (HFSE) ev sahipliği yapmasıdır. Bu elementler, özellikle magma evrimi ve dalma-batma zonu metamorfizması gibi jeolojik süreçler için önemli ipuçları sunmaktadır (Meinhold, 2010).

Bunun yanında, rutildeki Cr ve Nb içeriği kullanılarak rutil için en önemli köken kayaçları olan metapelitik kayaçlar (mika-şist, paragnays ve felsik granüliter...) ve metamafik kayaçlar (eklojit ve mafik granülitler...) gibi köken kayaç litolojileri belirlenebilmektedir (Zack vd., 2004). Dahası rutil içinde bulunan zirkonyumun, zirkon ve kuvars ile beraber bulunması, önemli ölçüde sıcaklığa bağlı olmasından dolayı bu ilişki bir jeotermometre olarak kullanılabilir (Zack vd., 2004). Bu konudaki çeşitli çalışmalar varolan söz konusu uygulamanın, yüksek ve ultra yüksek derece metamorfik kayaçların sıcaklıklarının belirlenmesi için cazip bir metod olduğunu göstermekte olup, rutil jeokimyası ile birleştirilmiş Zr jeotermometresinin sedimanter kökenin belirlenmesi amacıyla mevcut Dünya genelinde Prekambriyen'den Holosene kadar çeşitli sedimanter birimler için kullanılmaktadır (Meinhold, 2010).

Ağır mineral analizi ve yan kayaç petrografisi, yan kayaç ve spesifik mineral tanelerinin jeokimyasal çalışmaları köken karakterizasyonu için güçlü araçlardır. Kırıntılı sedimanların kökeninin anlaşılması mineral kaynaklarının araştırılması, havza analizi ve paleotektonik rekonstrüksiyonu için önem arz etmektedir. Zirkon, granat, turmalin ve krom spinel gibi en yaygın ağır mineraller kendi jeokimyasal ve izotop izleri vasıtasıyla uzunca bir süredir köken göstergesi olarak kullanılmasına rağmen, rutil 2000'li yılların başına kadar çok az dikkate alınmıştır (Meinhold, 2010). Buna rağmen, rutil jeokimyası köken kayaç litolojisi ve metamorfik fasiyes üzerine önemli tanısal veriler sağlamakla birlikte, sedimenter köken çalışmaları için son yıllarda geniş ölçüde kullanılan zirkon ile beraber önemli bir anahtar minerali konumuna gelebilir.

1.1. Amaç

Bu çalışmada amaç, inceleme alanındaki cevherleşme lokasyonlarının içinde bulunduğu sahanın ayrıntılı jeolojik özelliklerinin belirlenip, gerek plaser yataklanmalar üzerinden kırıntılı numuneler, gerekse yataklanmanın kökeni olan çevre kayaçlardan alınan numunelerin derlenmesi ve bu numuneler üzerinde ayrıntılı mineralojik ve jeokimyasal çalışmalar yapmaktır. Tez kapsamında yapılan bütün saha ve laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen verilerin yorumlanması ile plaslere rutil sağlayan rutilli kuvars damarlarının oluşum mekanizması, yayılımı, mineralojisi ve söz konusu rutilli kuvars damarları içerisindeki rutilin (TiO_2) özellikleri ve kökeni belirlenmeye çalışılmıştır.

1.2. Konu ve Kapsam

Tez kapsamında araştırılmış olan rutil (TiO_2) zuhurlarının jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin ortaya konulmasını amaçlayan bu çalışmada, plaser yatağın yayılımı ve rezervi, rutilin plaser yatak içerisindeki derişimi, tane yapısı sonucu taşınma ile birikim süreci ve kökeni araştırılmıştır. Bu kapsamda; a) rutil minerallerinin sahada bulunduğu alanlar ve bulunduğu litolojiler belirlenmiş,

- b) rutilli kuvars damarları ve rutilli plaserlerin parajenezleri,
- c) plaser içerisindeki rutillerin tane boyut dağılımı,
- d) plaser yatak ile ana (kaynak) kayacın ana oksit ve iz element kapsamı,
- e) alınan rutil numuneleri rutil üzerinde $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ izotop analizleri gerçekleştirilmiştir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Dünya’da rutil jeokimyası üzerine ve çalışma alanını da içinde bulunduran Batı Anadolu Bölgesindeki Menderes Masifi ve çevresi ile ilgili daha önceki yıllarda yapılmış, rapor, tez ve yayınlar kütüphanelerden ve internet ağı üzerinden derlenmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Ercan vd. (1978), Çalışma sahasında yaşlıdan gence doğru; Paleozoyik yaşlı alta paragnays, üste doğru ince taneli gnays, mikaşist, amfibolit şist, granatlı şist, klorit şist ve serizit şist ile temsil edilen Eşme Formasyonunun bulunduğu belirtmişlerdir. Bu formasyonun içerisinde sil ve dayk şeklinde bulunan kuvars damarlarında rutil kristalleri ve sıvama şeklinde ilmenit minerallerinin varlığını gözlemişlerdir. Eşme formasyonu üzerine Merdivenli kuyu, Balıkcıdere ve Gedikler olmak üzere üç üyeden oluşan Tersiyer yaşlı Ahmetler formasyonunun uyumsuz olarak geldiğini ve bu formasyonun içerisinde rutile rastlanmadığını saptamışlardır. En üstte de Kuvaterner yaşlı yamaç döküntüsü, çakıl-kum-mil ve dere alüvyonlarından oluşan genç birimlerin geldiği belirtilmiştir. Plaser rutil oluşumlarını bu birim içerisinde çakıl-kum-mil ve dere alüvyonlarının bulunduğu seviyelerde gözlemişlerdir.

Matthews vd. (1979), Rutil ve su arasındaki oksijen izotop farklılaşmasını ve bunun metamorfik eklojitlerde jeotermometre olarak kullanılabilirliği konusunu çalışmıştır. Rutil ve su arasındaki oksijen izotop farklılaşmasının denge reaksiyonları olarak titanyum metallerinin sulu oksidasyonunun kullanılması yoluyla söz konusu termometrenin 300 °C den 700 °C’ye kadar kullanılabileceğini belirtmiş ve bu hususta gerçekleştirilen daha önceki çalışmalardan elde edilen verileri de değerlendirerek ana farklılaşma faktörlerini belirtip metamorfik eklojitler ve şistlerdeki rutil ve kuvars oksijen izotop değerleri üzerinden kuvars-rutil mineral çiftleri kullanılarak oluşturulan kuvars rutil jeotermometresinin kullanılabilirliğini ele almıştır.

Şengör ve Yılmaz (1981), Türkiye’deki Tetis evrimini plaka tektoniği açısından ele almışlardır. Türkiye’deki tetis evriminin zamanla kısmen örtüşmelerine

rağmen paleo-tetis ve neo-tetis olmak üzere iki faza ayrılabilceğini belirtmişler ve paleotetyan evriminin Permo-Liassic süreçte kuzey Türkiye'nin altında paleo-tetis dalma batma zonunun ana güney dalımı tarafından yönetildiğini belirtmişlerdir. Permiyen devri boyunca günümüz Türkiye'sinin bulunduğu alanın Gondwana kıtasının kuzey kıyısını temsil ettiği ve bir kıyı havzasının dalma batma zonu üzerinde açılıp Erken Triasik dönem boyunca bu bölgeyi bozduğunu belirtmişlerdir. Erken-Jurasik döneminde kapanan söz konusu bu oluşumu Karakaya kıyı denizi olarak adlandırmışlardır. Günümüz doğu Akdeniz'inin Bitlis-Zagros okyanusu içine düşen doğudaki devamı genel olarak Karnian-Norian süreci boyunca açılmış ve bu açılmanın hali hazırda kuzey Gondwana'dan ayrılan Kimmeriyen kıtasının arkasında neo-tetisin doğumu olarak adlandırıldığını belirtip söz konusu bu iki fazın plaka tektoniği açısından gelişim süreci araştırmışlardır.

Broan vd. (1983), Kula - Selendi bölgesinde gerçekleştirilen çalışmada bölgenin jeolojisi ortaya konmuştur. Ayrıca, bölgenin ayrıntılı Senozoyik stratigrafisi ortaya konmuş, tüm Senozoyik boyunca etkin olan ve birkaç devrede türeyen volkaniklerin söz konusu stratigrafik sıralamadaki yerleri belirlenmiş ve bu volkanik kayalar üzerinde ayrıntılı petrokimyasal ve petrolojik incelemeler yapılmıştır.

Boynton (1984), Meteoritler üzerindeki nadir toprak elementlerinin jeokimyasını çalışmıştır. Nadir toprak elementlerinin kozmik jeokimyasının X-ray spektroskop yöntemini kullanarak Meteoritlerdeki nadir toprak elementlerinin zenginleşmelerini 1960'ların başlarında gerçekleştirilen çalışmalara kadar bu hususta herhangi bir çalışmanın mevcut olmadığını belirtip söz konusu bu ilk çalışmaların kozmik ölçekteki veya Güneş sistemindeki nadir toprak elementi zenginleşmelerini kapsadığını belirtmiştir. Daha sonraki süreçlerde ise bu konuda sayısız deneysel ve teorik çalışmanın yapıldığını ve nadir toprak elementlerinin jeokimyasının diğer özelliklerinin de anlaşıldığını belirtmiştir. Meteoritlerin birincil Güneş sistemi materyali olarak en iyi örneği temsil ettiğini belirten Boynton kondritlerdeki Ca, Al'ca zengin inklüzyonların ve diğer bileşenlerin nadir toprak elementi zenginleşmelerini çalışmıştır.

Açıklan vd. (1985), Küçük Menderes Havzasında bulunan Demirci-Gördes Benlieli Ovası, Turgutlu-Salihli (Manisa) ve Eşme (Uşak) civarında yapmış oldukları çalışmada titanlı alüvyal veya flüvyal çökellerin 12 200 000 tonluk bir muhtemel rezerve sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra, bu çökellerin tane iriliği 1,5cm'in altında ve ortalama tenörün %2 TiO₂ (rutil) olduğu saptanmıştır.

Gültekin (1993), Titanyum mineral yatakları, kayalarda titanyum içeriği ve bölünmesini çalışmıştır. Titanyumun doğada bulunuş şekli, minerallerdeki TiO₂ dağılımı hakkında ön bilgi vererek, başlıca mağmatik, metamorfik, plaser, alterasyon tipi, volkano-sedimanter ve titanyumun yan ürün olarak kazanıldığı titanyum yataklarının jeolojik, mineralojik ve petrografik özellikleri hakkında bilgi vererek söz konusu yataklanma türlerinin Dünya üzerindeki çeşitli lokasyonlarda oluşmuş örnekleri ile karşılaştırmıştır.

McDonough ve Sun (1995), Yer kürenin kimyasal bileşimini incelemişlerdir. Bu hususta ilk olarak yer kürenin fiziksel özellikleri hakkında genel bir bilgi vermişlerdir. Bununla birlikte yer kürenin tahmini kimyasal içeriği ve karbonlu kondritlerin elementsel bileşimleri üzerine daha önceki çalışmalardan elde edilmiş veriler ile kendilerinin bulmuş olduğu verileri karşılaştırmıştır. Birincil mantonun ve çekirdeğin kimyasal bileşimi hakkında ayrıntılı bilgiler veren McDonough ve Sun son olarak Dünya'nın erken evrimini değerlendirmişlerdir.

Chacko vd. (1996), Kalsit ile ilişkili muskovit, flogopit, floroflogopit ve rutilin laboratuvar sistemlerindeki oksijen izotop farklılaşmalarını belirlemişlerdir. Kiefler metodunu takip eden statik mekanik hesaplamaların deneysel verilerle uyduğu görülmüş ve düşük ve yüksek sıcaklıklarda sonuçların dış değerlerinin bulunmasında kullanmışlardır. Hesaplamalar 400°C'nin altında hesaplanmış söz konusu her mineral için azalmış bölünme fonksiyon oranına (β faktörleri) izin veren bir seri denklem ile yeniden temsil edilmiş olup bu denklemlerin izotopik termometre olarak kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. OH bağlarının yüksek frekans titreşimlerinin Δ 'ya T^{-2} grafiklerinde kayda değer doğrusalsızlık

göstermeyen bu gibi düşük miktarda farklılaşma faktörleri bulmuşlardır. Bununla birlikte, deneysel kuvars-rutil farklılaşmaları yine deneysel olarak belirlenmiş bir kalibrasyon ile birlikte bazı erken hidrotermal deneylerle uyum içerisinde olduğu belirtilmiştir.

Candan ve Dora (1998), Menderes Masifi'ndeki granülit, eklojit ve mavi şist kalıntılarını Pan Afrikan ve Tersiyer metamorfik evrim süreci içerisinde değerlendirmişlerdir. Menderes Masifi'nin metamorfik evrimi konusundaki yeni bulguların çekirdek ve örtü serileri içerisinde yaygın olarak rastlandığını belirtip söz konusu bulguları Çekirdek serisi içerisinde gözlenen yüksek basınç eklojit ve yüksek sıcaklık granülit fasiyesi metamorfizmaları ve örtü serileri içerisinde gözlenen Tersiyer yaşlı yüksek basınç/düşük sıcaklık epidot mavi şist-eklojit fasiyesi metamorfizması olarak özetlenebileceğini belirtmişlerdir. Menderes masifi çekirdek serisi metamorfik kayaçları ile ilgili çok evreli olaylar dizisinin Bitlis Masifi'ndekine benzer şekilde Pan-Afrikan orojenezi ile bağlantılı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, özellikle Tersiyer yaşlı bu metamorfizmalara ait yeni bulgular sonucunda Menderes Masifi'nin metamorfik evrim ve litostratigrafik kaya istifi açısından Kikladik Kompleks'le korele edilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Barth vd. (2000), Kıtasal kabuğun Nb ve Ta içeriğini ele almışlardır. Gerçekleştirdikleri çalışma sonucunda elde ettikleri verilerin üst kıtasal kabuk tahminleri ile uyumlu olduğunu fakat önemli revizyonların yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Gerçekleştirdikleri çalışmanın sonuçlarına göre üst kıtasal kabuğun 25 ppm yerine ortalama $11,5 \pm 2,6$ ppm Nb ve 2,2 ppm yerine $0,92 \pm 0,12$ ppm Ta içerdiğini ve bunun genel olarak kabuktaki Nb içeriğini 8 ppm, Ta içeriğini 0,7 ppm La/Nb değerini 2,2 ve Nb/Ta değerini ise 12-13 olarak değiştireceğini ortaya koymuşlardır. Bu revizyonların kabuksal yarıkondritik Nb/Ta oranı ve süperkondritik La/Nb oranlarını doğruladığını ve ayrıca, gözlemlerinin kıtasal kabul ve tükenmiş mantonun birbirleriyle güçlü bir şekilde bütünleyici olmadığı bilgisi ile pekiştirmişlerdir.

Tiepolo vd. (2000), Titanlı pargasit ve kaersutitlerdeki Nb ve Ta birleşmesi ve farklılaşmasının doğal sistemlerdeki kristal-kimyası kısıtlamaları ve çıkarımlarını ele almış ve likit ve pargasitik/kaersutitik amfiboller arasındaki farklılaşma katsayıları sentetik amfibolün tek-kristal yapısı rafinesi ile beraber üst manto şartlarındaki Nb ve Ta için deneysel olarak belirlemişlerdir.

DPT (2001), Titanyumun fiziksel ve kimyasal özellikleri, bileşiklerinin kullanım özellikleri ve kullanımları ile ilgili bir envanter hazırlamıştır. Yeryüzünde bolluk derecesi bakımından 9. sırada bulunan titanyum, fiziksel ve kimyasal açıdan üstün özellik gösteren bir metal olmasına rağmen, metal formuyla kullanımı çok özel alanlarla sınırlandırılmıştır. Buna karşın, titanyum mineralleri özellikle titanyum oksitlerin (TiO_2) geniş bir kullanım alanı vardır.

Zack vd. (2002), Orta Alpler'deki Trescolmen bölgesinde bulunan eklojitlerden gelen rutiler içerisindeki iz element bolluklarını incelemiş ve granat mika şistlerle olan ilişkisini incelemiştir. İz element değerlerinin elde edilmesi için microprob ve laser ablation mikroprob analiz yöntemlerini kullanmıştır. Analiz sonuçlarına göre rutilin Ti, Nb, Sb, Ta ve W ca zengin olduğunu bununla birlikte V, Cr, Mo ve Sn içeriklerinin de yan kayaç olan eklojitlere nazaran yüksek değerlere sahip olduğunu belirlemiştir. Elde ettiği değerler üzerinden rutil kimyasının sedimenter köken çalışmalarında kullanılabilirliğini değerlendirmiş ve kırıntılı rutil tanelerinin iz element ölçümlerinin hidrotermal yataklar ve kimberlitlerden gelen yüksek basınç granulitleri ve eklojitler gibi muhtemel köken kayaçlarının ayrılmasında kullanılabilirliğini incelemiştir.

Zack vd. (2004), Rutil mineralinin jeokimyası ve kantitatif köken çalışmalarındaki potansiyel uygulamalarını incelemiştir. Rutilin en önemli köken kayaçlarının metapelitler ve metamafikler olduğunu belirtip rutildeki Nb ve Cr içeriğinin köken kayaç litolojisinin belirlenmesinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, zirkon ve kuvars ile birlikte bulunan rutil içerisindeki Zr'un önemli ölçüde sıcaklık ile ilişkili olduğunu ve bu ilişkinin bir jeotermometre olarak kullanılabilirliğini belirtmiştir. Ayrıca, New York'un

güney Adirondacks bölgesinde yapılan benzer bir çalışma üzerinde uygulanabilirliğini ele almıştır.

Candan vd. (2006), Menderes Masifi'nde Pan Afrikan sonrası döneme tekabül eden uyumsuzlukları ele almışlardır. Arazi bulguları ile birlikte değerlendirildiğinde, radyometrik yaş verileri, Pan-Afrikan temel ile Paleozoik örtü serileri arasındaki ilksel dokanak ilişkisinin bir uyumsuzluk olduğunu (Pan-Afrikan sonrası uyumsuzluğu) ve Paleozoik serilerin ilksel tortullarının bu temelden beslendiğini ortaya koymuşlardır.

Watson vd. (2006), Zirkon ve rutil için kristalizasyon termometrelerini çalışmıştır. Sıcaklık ilişkilerine bağlı olarak zirkon içerisindeki Ti ve rutil içerisindeki Zr olmak üzere iki farklı jeotermometre belirlemişler ve bu jeotermometreler için sıcaklığın ifadesi olarak sırasıyla;

$$\log(Ti_{(Zirkon)}) = (6,01 \pm 0,03) - (5080 \pm 30 / T_{(K)})$$

ve

$$\log(Zr_{(Rutil)}) = (7,36 \pm 0,10) - (4470 \pm 120 / T_{(K)})$$

denklemlerini ortaya koymuşlardır.

Meinhold vd. (2008), Yunanistan'ın Chios adasında yapılan bu çalışmada rutil jeokimyası ve jeotermometresinin köken belirlenmesi açısından uygulamaları çalışılmıştır. Analiz edilen rutil tanelerinin Cr ve Nb konsantrasyonlarının geniş bir aralık sunduğunu belirtmiş ve Karbonifer süksesyonundaki bu mineralin çoğunlukla metamafik kayalardan ayrılmış olduğunu ortaya koymuştur. Söz konusu bu formasyonun hesaplanmış rutil içi zirkon termometresindeki sıcaklık aralığını ise 520 – 850 °C olarak sunmuştur.

Smythe vd. (2008), Kimberlit belirteci olarak rutilin minör ve iz element jeokimyasını çalışmışlardır. Bu çalışma için 6 farklı lokasyondan 115 manto kökenli zenolit ve 208 kabuk kökenli rutil örneği üzerinde inceleme yapmışlar ve manto kökenli rutillerde sigmoidal ilmenit lamellerinin çok yaygın bir özellik olduğunu ve bu ilmenit lamellerinin rutilin dekompozisyonu ya da ilmenit ile yer değiştirmesi ve önemli bir geykiyetit ($MgTiO_3$) bileşimi içeriğini temsil ettiği

düşünüldüğünü belirtmekle birlikte eklojitik rutilin yüksek Al konsantrasyonları içerdiğini belirtmişlerdir. Böylelikle bu durumun kabuk ve manto kökenli rutiller arasında çok net bir şekilde ayırım yapılabilmesine izin verdiğini ortaya koymuşlardır.

Karakaya (2009), Duraylı izotopların jeolojide kullanımını çalışmıştır. Bu kapsamda, ilk olarak duraylı izotoplar hakkında genel bilgileri aktarmış ve sonrasında jeotermal sistemlerdeki duraylı izotop çalışmaları, duraylı izotop jeokimyası ve oksijen, hidrojen, karbon ve kükürt izotoplarının kullanım alanlarını ayrıntılı olarak açıklamıştır. Ayrıca duraylı izotopların magmatik petrolojideki kullanım alanları hakkında ayrıntılı bilgi verip, ülkemizde bu hususta yapılmış çeşitli çalışmalardan örnekler sunmuştur.

Meinhold (2010), Rutil mineralinin jeokimyasal uygulamaları ve yorumlaması üzerine ayrıntılı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Rutil mineralinin kristal yapısı ve kimyası üzerine ayrıntılı bilgi vermekle birlikte metamorfik, sokulum, sedimanter ve hatta Dünya dışı kayaçlardaki rutil içeriği üzerine ayrıntılı bilgi vermiştir. Ayrıca, iz element, rutil içindeki zirkon üzerinden gerçekleştirilen termometre, oksijen izotopu, U - Pb jeokronolojisi, (U-Th)/He termokronolojisi ve Lu - Hf izotop çalışmaları gibi rutil üzerine gerçekleştirilen jeokimyasal çalışmalar hakkında ayrıntılı bilgi vererek ilgili konular üzerine yapılmış çalışmalardan örnekler vermiştir.

Candan vd. (2011), Menderes Masifi'nin Pan Afrikan temel ve Paleozoyik-Erken Tersiyer örtü serilerinin polimetamorfik evrimini incelemişlerdir. Pan-Afrikan temel içerisinde gözlenen ve granulit, eklojit ve amfibolit fasiyesi koşullarını tanımlayan kalıntı mineral topluluklarının bu temelin çok evreli metamorfik karakterini açıkça ortaya koyduğunu belirtip pelitik granulit, ortopiroksen gnays, ortopiroksen paragnays ve metagabro/metanoritik kayaların masifte gözlenen tipik granulit fasiyesi kayalarını oluşturduğunu ortaya koymuşlardır. Yaptıkları jeotermobarometrik hesaplamaların bu metamorfizma için ortalama 730 °C sıcaklık ve 6 kbar basınç koşullarını tanımlamakta olduğunu ve pelitik granulitlerdeki zirkonların granulit fasiyesi koşullarında büyümüş olduğunu

belirtmişlerdir. Bununla birlikte, Pan-Afrikan yüksek-basınç metamorfizmasının basınç/sıcaklık koşullarının, yaklaşık 50 km'lik bir gömülmeye karşılık gelecek şekilde, 644 °C ve minimum 15 kbar olarak hesaplandığını ortaya koymuşlardır. Eklojitik metagabrolardan TIMS ile elde edilen 529.9 ± 22 My lık $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ zirkon yaşları, yüksek-basınç metamorfizmasının Pan-Afrikan yaşlı olduğunu gösterdiğini ve Pan-Afrikan temelden elde edilen metamorfizma yaşları Gondvana süper kıtasının bütünleşmesi sürecinin son evresiyle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Koralay vd. (2011), Türkiye Batı Anadolu'daki Menderes Masifi'nin Pan Afrikan yaşlı metagranitoidlerinin jeolojisi ve jeokronolojisini incelemişlerdir. Jeolojik ve jeokronolojik veriler Menderes Masifi'nde, (i) Pan-Afrikan, (ii) Triyas ve (iii) Miyosen yaşlı üç asidik magmatik aktivitenin varlığını göstermekte olduğunu ve Pan-Afrikan ortognaysların ilksel kayalarını oluşturan asidik magmatikler dokusal ve mineralojik bileşimlerine göre; 1-Biyotit ortognays, 2-Turmalin lökokratik ortognays ve 3-Amfibol ortognays olmak üzere üç ana türe ayrılabilceğini belirtmişlerdir. Dokanak ilişkileri, bu ortognays türlerinin göreceli yaş ilişkilerine göre, yaşlıdan gence doğru 'biyotit ortognayslar, turmalin lökokratik ortognayslar ve amfibol ortognayslar' olarak ortaya koymuşlardır. Lökokratik ortognaysların jeokimyasal özellikleri, ilksel kayalarının tipik kalk-alkalin karakterli, S-tipi granitler olduğunu ve tek zirkon Pb/Pb evaporasyon yöntemine dayalı jeokronolojik çalışmalarda bu kayalardan 227-246 My arasında değişen yaşlar elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, son olarak Triyas yaşlı magmatik aktivitelerin bölgesel karakteri göz önüne alındığında, Menderes Masifi'ndeki bu lökokratik ortognaysların söz konusu magmatiklerle jenetik bir ilişkiye sahip olduğu ve bu kapsamda Neotetis Okyanusu'nun açılmasıyla ilişkilendirilebileceği ortaya koymuşlardır.

Bracciali vd. (2013), Yerinde jeokronoloji çalışmaları için nitelikli, zengin ve yüksek kalite U-Pb referans materyallerindeki genel eksiklik nedeniyle Quebec 'in Cape Smith kemeri olarak isimlendirilen Kanada kalkanının granit fasiyes kemeri ve Snowbird tektonik zonundan iki yeni potansiyel rutil- $1,8\text{Ga}$ referans materyalini karakterize etmişlerdir. Yapılan bu karakterizasyon ID-TIMS ve LA-

ICP-MS U-Pb yaşlandırma, görüntüleme ve iz element analizlerini içermektedir. Söz konusu bu materyaller, mevcut U-Pb yaşlandırmalarında kullanılan diğer rutillerle karşılaştırılıp kendi rutillerinin diğerlerine nazaran ölçülmüş U-Pb bileşimlerinin önemli ölçüde daha homojen olduğunu ortaya koymuşlardır. Köken bölgenin taneleri içindeki termal olaylar hakkında tamamlayıcı bilgiler sağlayan 10Ma yaşlı genç rutil içeren Himalaya örneklerinin zirkon ve rutil izleri verilmiştir.

Tonje vd. (2014), Kamerun'un güneyinde Neoproterozoyik Pan - Afrikan kuşağındaki Matomb alüvyal rutillerin jeokimyasal özelliklerini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre yığınsal sedimanların düşük TiO_2 (1-2 wt%), yüksek SiO_2 (~77-95 wt%) ve çeşitli oranda değişen Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Zr, Y, Ba, Nb, Cr, V ve Zn konsantrasyonları gösterdiğini belirlemiştir. Nadir toprak elementlerinin ise yüksek hafif nadir toprak elementleri zenginleşmesi ve negatif Eu anomalisi göstermesi bakımından karakteristik olmak üzere düşük-orta seviyede konsantrasyonlara sahip olduğunu ortaya koymuştur. Rutilce zengin fraksiyonlarda ise TiO_2 değerleri % 94 sınırını aşmakta olup iz element açısından başlıca V, Nb, Cr, Sn ve W olmak üzere yüksek konsantrasyonlara sahip olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, rutilce zengin fraksiyonların düşük nadir toprak element içeriklerine sahip olduğunu ortaya koyup Ce açısından negatif, Eu açısından ise pozitif bir anomaliye sahip olduğunu belirtmiştir.

İpekoğlu (2015), Ticari titantum minerali olarak en yaygın kullanım alanı bulunan rutil ve ilmenitin genel özelliklerini, kullanım alanlarını, niteliklerini ve sınırlamalarını belirtmiştir. Ayrıca, Dünya titanyum üretimi ve ticaretinde başı çeken ülkelerin Güney Amerika, Kuzey Amerika ve Afrikanın üretim, ithalat ve ihracatını tablolarla sunmuş ve Türkiye'de titanyum minerali içeren yataklarda sistematik bir üretim yapılmadığından ihracatının olmadığını ancak önümüzdeki yıllarda titan üretiminin bilinen ve belirli bir düzeye gelmesi durumunda üretim ve ihracat yapabilecek duruma gelmesinin muhtemel olduğunu belirtmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez araştırması; saha, laboratuvar ve büro çalışmalarından oluşmuştur.

1. Bu tez çalışması, ilk olarak saha incelemeleri ile başlamış ve daha sonra çalışma sahasının 1/25 000 ölçekli jeolojik haritası oluşturulmuştur. Sahanın jeoloji haritasına litolojik birimler ve tektonik hatların yanı sıra, rutil zuhurlarının lokasyonları işlenmiştir. Saha çalışmalarının sonucunda, rutil zuhurlarının arazideki konumu ve yataklanma şekli ortaya konmuştur (Ek A1.).

2. Cevherleşme lokasyonları üzerinde, flüvyal ve alüvyal dere kumları üzerinden drenaj ağını takiben sistematik olarak kırıntılı numuneler ve bununla birlikte söz konusu rutil cevherleşmelerinin içerisinde bulunduğu ana kayalardan alınan 6 kayaç ve 8 kırıntılı olmak üzere toplam 14 adet el örneği derlenmiş ve bunların ince kesitleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarında hazırlanarak, mineral tanımlamaları ve fotoğrafları Jeotermal Enerji, Yer altı Suyu ve Mineral Kaynakları AUM'de nikonoptiphol-POL polarizan mikroskopunda gerçekleştirilmiştir.

3. Alınan numunelerin mineralojisini belirlemek için X-ışını kırınımı (XRD) incelemeleri, Üniversite'nin Jeotermal Enerji, Yer altı Suyu ve Mineral Kaynakları AUM'de Philips X PERT PRO MPD ve Perkin Elmer- Termogravimetrik/Diferansiyel Termal Analiz cihazlarında analize tabi tutulmuştur.

4. Çalışılan sahadan sistematik olarak derlenen numuneler, laboratuvarında 80 mesh boyutunda öğütülerek ana kayaktan alınan numuneler ve cevherli numuneler üzerinde;

Ana oksitler: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, MnO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, Cr₂O₃

İz elementler; V, Cr, Fe, Al, Nb, Sn, Sb, Ta, W, Zr, Mo, Hf, Th, U

Nadir toprak element analizleri; La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y, Sc

ACME Laboratuvarında (Kanada) Inductively Coupled Plasma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemi ile analiz edilmiştir.

5. Seçilen temiz rutil minerallerinde $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ izotop analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylelikle cevher minerali olan rutil (TiO_2) ve yan kayacı olan kuvars damarı arasındaki oksijen izotop farklılaşması üzerinden oluşum sıcaklığı belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu duraylı izotop analizleri, Geochron Laboratuvarlarında (ABD) VG kaynaklı duraylı izotop oranı kütle spektrometresi ile gerçekleştirilmiştir.

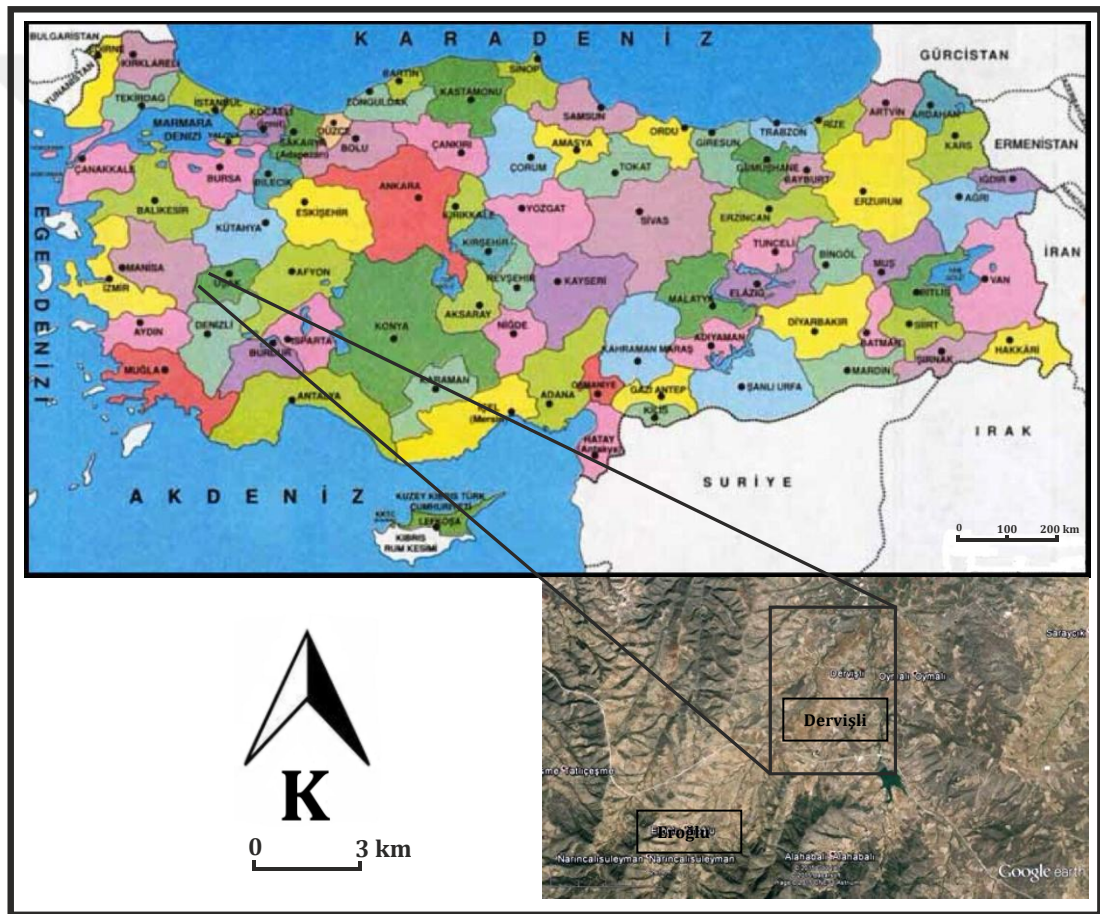
6. Çalışma sahasından derlenen rutilli plaser örnekleri üzerinde elek analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi Uygulamalı Jeoloji Laboratuvar'ında gerçekleştirilerek söz konusu numuneler tane boyu dağılımına göre +200 (75 μm), +10 (2 mm), +4 (4.75 mm) ve +1/2 (12,5 mm) olmak üzere 4 farklı gruba ayrılmıştır. Tane boyu dağılımına göre gruplara ayrılan bu rutilli plaser örneklerindeki Ti içeriğinin belirlenmesi amacıyla Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yer altı Suyu ve Mineral Kaynakları AUM'de ICP-OES analizleri gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen bütün veriler, tablo, grafik ya da haritalar üzerinde yorumlanarak rapor haline getirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Çalışma Alanı

Araştırma sahası, Menderes Masifi'nin kuzey kesiminde yer alan Manisa'nın Kula ilçesi ile Uşak ilinin Eşme ilçesi arasında, Eşme ilçesinin yaklaşık 10 km kuzeybatısında Uşak K21-c4 ile Uşak L21-b1 paftaları arasında kalan Dervişli köyü ve yakın çevresini içerisine alan 30 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Çalışma alanını gösteren yer bulduru haritası.

4.1.1. Coğrafi Özellikler

Çalışma sahası, Uşak iline yaklaşık 30 km mesafede, Eşme ilçesi ile Manisa'nın Kula ilçesi arasında bir bölgede bulunmaktadır. Çalışılan bölgedeki önemli yerleşim yerleri; Dervişli Köyü, Oymalı, Hacıhüseyinli, Mollasüleymanlı, Gökhasanlı, Mollahalilli, Yahya, Karamahmut, Halimli, Dıgıllı ve Kenanlı Mahalleleridir.

Bölge genel olarak yüksek röliyefli bir yapıya sahip değildir (Şekil 4.2.). Bununla birlikte, çalışma sahası içerisinde Topuz Tepesi, Aşağıkepez Tepesi (724m), Karaguz Tepesi (729m), Kepez Tepesi ve Sırçanlı Tepe mevkileri mevcuttur.



Şekil 4.2. Çalışma sahasının bulunduğu bölgenin topoğrafik özelliklerinin arazi görünümü (Sırçanlı Tepe).

Ayrıca, çalışma sahası içerisinde Eroğlu, Karaöz, Kepez, Çinice, Şarlak, Sarıgöl, Karaoğlan, Kenan, Güngörmez, Höyük, Eşmeli, Kokar, Kolontaş, Deliktaş ve Mıcıklı dereleri ile Kudret pınarı ve Coş, Yayla, Hacımahmut ve Kemikli Kuyuları mevcuttur.

4.1.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Uşak ili içerisinde bulunan bölgede, Akdeniz ikliminden karasal iklime geçiş özelliği gösteren iklim koşulları egemendir. Kar yağışlarının büyük bir kısmının kışın gerçekleştiği bölgede yaz ayları sıcak ve kurak geçmektedir. Bölgede yıllık ortalama yağış metre kareye 241,8 kg dır. Yağışların aylara ve mevsimlere göre dağılımı düzensizdir.

Bölgede coğrafik olarak Ege bölgesi ile İç Batı Anadolu bölgesi arasında geçiş güzergahında bulunduğu için her iki bölgenin de iklim koşulları görülmele birlikte Ege bölgesine nazaran daha sert iklim koşulları hakimdir. Bu nedenle Ege bölgesinin tipik bitki örtüsü olan zeytin ağaçlarına rastlanılmamaktadır. Bölgede dağlar, sık bir orman örtüsüne sahip olup çok çeşitli ağaç türlerini barındırır. Bu ağaç türlerinden en yaygın olanları ise; meşe, karaçam, kızılçam, dış budak, ahlat, karaağaç, çınar ve ardıçtır.

4.1.3. Ekonomik Durum

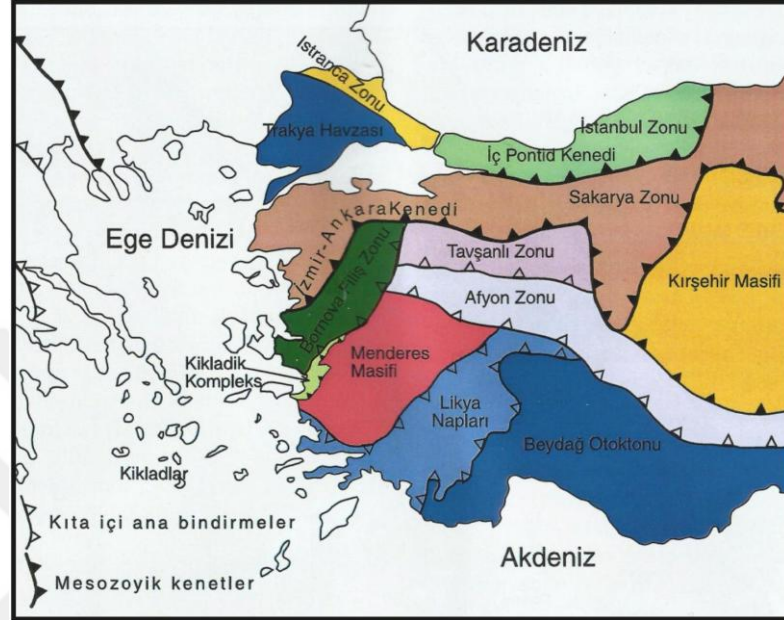
Yöre halkı geçimini çiftçilik ile sağlamaktadır. Ağırlıklı olarak tahıl ürünleri yetiştirilmektedir. Ayrıca, yörede küçük ve büyük baş hayvancılıkla birlikte kümes hayvancılığı da yapılmaktadır.

4.2. Bölgesel Jeoloji

Araştırma sahası, Menderes masifi'nin kuzey kesiminde Manisa'nın Kula ilçesi ile Uşak ilinin Eşme ilçesi arasında, Eşme ilçesinin yaklaşık 10 km kuzeybatısında K21-c4 ile L21-b1 paftaları arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır.

Alpin sıkışma tektoniği ürünü kuvvetli içsel ekaylanmalar sunan, kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı Menderes Masifi Batı Anadolu'nun jeolojik evriminde büyük öneme sahiptir. Menderes masifi, batı ve kuzeybatıda Bornova Filiş Zonu'nunu da içeren İzmir-Ankara Zonu ve Kikladik Kompleks'in Türkiye'deki uzantısı,

kuzeyde yüksek basınç/düşük sıcaklık metapelit ve metakarbonatları içeren Afyon Zonu ve güneyde yüksek basınç metasedimentleri ve kalın ofiyolit dilimlerden oluşan Likya Napları tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir (Şekil 4.3.)(Şengör ve Yılmaz, 1981).



Şekil 4.3. Batı Anadolu'nun genelleştirilmiş tektonik haritası (Koralay vd., 2011).

Stratigrafik açıdan Menderes Masifi iki ana üniteye ayrılmaktadır. Bu üniteler; Geç Neoproterozoyik yaşlı Pan-Afrikan temel ve Paleozoyik Erken Tersiyer yaşlı örtü serileridir (Candan vd., 2006)(Şekil 4.5.). Araştırma sahasının bulunduğu bölgede ana kayaç olarak Geç Neoproterozoyik yaşlı şist paragnaylardan oluşan temel gözlenmektedir. Kısmen migmatitleşme sunan paragnays ve mika şistlerden oluşmakta olan metakırıntılı seri Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan temelinin en yaşlı birimini oluşturur. Geç Proterozoyik yaşlı bu kayaçlar Prekambriyen-Kambriyen'de Pan-Afrikan orojenezi ile ilişkili granulit, eklojit ve amfibolit fasiyesi koşullarında çoklu metamorfizmadan etkilenmişlerdir (Candan ve Dora, 1998). Söz konusu bu çoklu metamorfizma Gondvana süper kıtasının bütünleşmesinin en son evresi olan Mozambik okyanusunun kapanması ile Doğu-Batı Gondvana kıtasının çarpışması süreci ile ilişkilidir. Bu süreç boyunca söz konusu temel derin gömülmeye uğramış ve yüzeyleme

sırasında yüksek sıcaklık ve yüksek basınç metamorfizmaları orta basınç koşullarında etkin geri dönüşüme uğramıştır. Bu basınç azalması kayaçlarda yaygın olarak migmatizasyon ve anatektik granit gelişimine neden olmuştur (Candan vd., 2011).

Araştırma sahasının güney kesimlerinde geniş bir yayılıma sahip olan ve “Eşme Formasyonu” olarak adlandırılan bu birimin tabanını temsil eden paragnaysların kalınlığı tam olarak bilinmese de minimum 4 km’lik bir kalınlığa sahip olduğu kabul edilmektedir. Söz konusu bu paragnayslar uyumlu ve geçişli bir dokanak göstererek baskın bir şekilde ilksel kayaçları çamurtaşı ve subarkoza karşılık gelen mika şist ve biyotit-albit şist ardaşanmasından oluşan şistler tarafından üzerlenmektedir. Şistlerin üst düzeylerinde ise ender olarak en fazla yarım metre kalınlığa sahip kuvarsit düzeyleri gözlenmektedir (Candan vd., 2011).

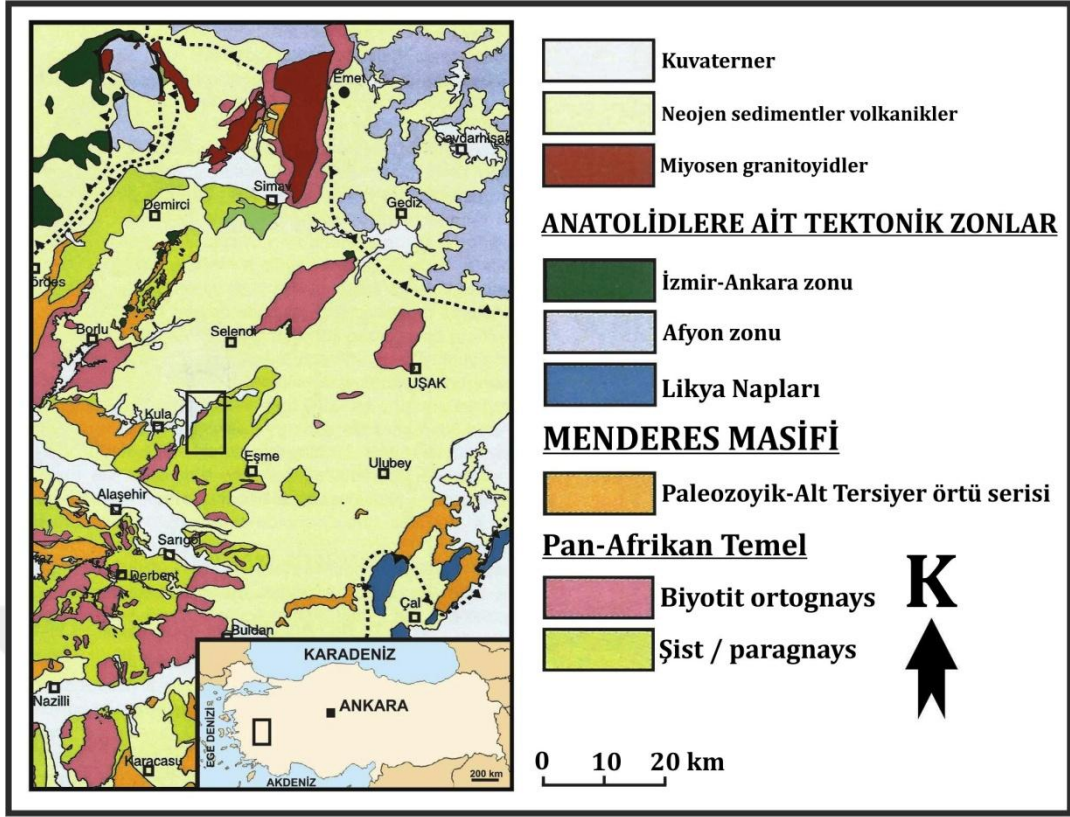
Çalışma sahasının özellikle kuzey kesimlerinde Menderes Masifi’nin temelini oluşturan yükselme deviniminden büyük ölçüde etkilenmiş, Neojen yaşlı karasal sedimentler ve volkanikler geniş bir mostra sunmaktadır. Orojenik devinim olmamasına karşın karasal çökellerin kıvrımlanıp eğim kazanmaları, Tersiyer döneminde oluşmuş olup günümüzde de etkinliğini korumaya devam eden grabenlerin özellikle Salihli-Alaşehir grabeninin pek çok sayıdaki fay dizgeleri, deprem ve volkanizma yönünden görülen aşırı etkinlik, akarsulardaki yan aşındırmaya oranla çok hızlı bir şekilde gerçekleşen derine kazma durumu ve masif bölgenin çevresine oranla fazla yüksek olmamasına karşın aşınma nedeni ile üzerindeki Mesozoyik yaşlı örtünün yok olması söz konusu sürekli yükselme deviniminin kanıtlarını oluşturmaktadır (Ercan vd., 1978).

Bölgede Miyosen döneminde karasal bir ortam hakim olup özellikle Üst Miyosen döneminde küçük ölçekli göl oluşumları söz konusu olmuştur. Bu dönemin sonlarına doğru bu göllerin kuruması ile taşlaşan kara birimleri üzerinde Alt Pliyosen döneminde güçlü bir akarsu rejimi oluşmuştur. Söz konusu bu akarsu rejimi sonucu meydana gelen birim ise literatürde “Ahmetler Formasyonu” olarak adlandırılmıştır. Ahmetler Formasyonu, “Merdivenlikuyu”, “Balçıklıdere”

ve “Gedikler” olmak üzere üç üyeye ayrılmaktadır. Bu dönemde tepe eteklerinde meydana gelen çekim kaymaları ve aşırı sellenme nedeni ile yamaç molozları oluşmuş olup söz konusu bu birim Ahmetler Formasyonu’nun Merdivenlikuyu Üyesi ile temsil edilmektedir. Tüm Pliyosen dönemi boyunca yaygın ve şiddetli andezit volkanizması, akarsu yataklarındaki çökellerin oluşumuna tuf gereci sağlamış olup, aynı zamanda volkanik tepeleri oluşturması sayesinde akarsular için uygun morfolojileri meydana getirmiştir (Ercan vd., 1978). Alt Pliyosen döneminde söz konusu bu volkanik tepelerin eteklerindeki akarsuların meydana getirdiği çökeller ise “Balçıklıdere Üyesi” olarak adlandırılmaktadır. Alt Pliyosen’in sonuna doğru ise bölgede bitümlü şeyller içeren küçük ölçekli göller gelişmiş olup bu göllerde oluşan çökeller ise “Gedikler Üyesi”ni oluşturmaktadır (Ercan vd., 1978).

Çalışma sahası çevresinde ise Eşme Formasyonu’nu temsil eden Geç Neoproterozoyik yaşlı şist paragneysları üzerleyen Pliyosen yaşlı Ahmetler Formasyonu’nun genellikle beyaz, açık gri renkli yatay katmanlı konglomera, kumtaşı-tüfit-kiltaşı-marn ve kireçtaşı ardalanması şeklinde gözlenen “Balçıklıdere Üyesi” mostra vermektedir.

Çalışma sahasının içinde bulunduğu bölgedeki en genç birimi Kuvater yaşlı güncel çökeller oluşturmaktadır.



Şekil 4.4. Çalışma sahasını gösteren bölgesel jeoloji haritası (Koralay vd., 2011 den düzenlenmiştir.).

4.3. Stratigrafi

İnceleme bölgesinde en yaşlı birim Paleozoik yaşlı Eşme Formasyonudur. Eşme Formasyonu, altta paragnays, üstte doğru ince taneli gnays, mikaşist, amfibolit şist, granatlı şist, klorit şist, serizit şist ile temsil edilir. Formasyon bünyesinde sil ve dayk şeklinde bulunan kuvars damarları içerisinde rutil kristalleri ve sıvama şeklinde ilmenit mineralleri gözlenmektedir. Eşme Formasyonu üzerine uyumsuz olarak Tersiyer yaşlı Ahmetler Formasyonu gelmektedir. Bu formasyon alttan üste doğru; Merdivenli kuyu, Balçıklıdere ve Gedikler olmak üzere üç ayrı üyeden oluşmaktadır. Çalışma alanında sadece Balçıklıdere üyesi gözlenmektedir. Ahmetler Formasyonu üzerine uyumsuz olarak çalışma alanındaki en güncel birim olan Kuvaterner yaşlı yamaç döküntüsü, çakıl-kum-mil ve dere alüvyonlarından oluşan birim gelmektedir. Çalışmanın amacını oluşturan plaser rutil oluşumları, bu birim içerisinde çakıl-kum-mil ve dere

alüvyonlarının bulunduğu seviyelerde serpinti şeklinde gözlenmektedir (Şekil 4.5.).

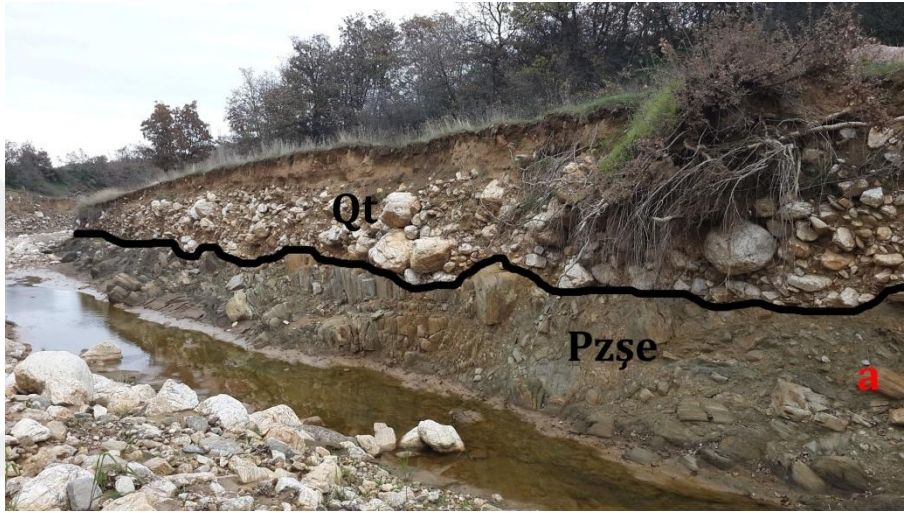
ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	ÜYE	KALINLIK	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER				1 m	Qd		Dere Alüvyonu; Metamorfik çakıllar, kum, mil ve sellenme ile gelen bloklar
						Qt		Rutilli Çakıl-Kum-Mil; Gnays, kuvars, şist çakılları ve kum, mil, silt gibi elemanlardan oluşan çimentolanmamış taraça oluşukları
					4 m	Qy		Yamaç Döküntüsü; Kuvars-kuvarsit ve gnays çakılları
NEOJEN	PLİYOSEN	AHMETLER FORMASYONU	BALÇIKLIDERE ÜYESİ	200 m	Tiab		Konglomera, kumtaşı-tüfit-kiltaşı-marn ve kireçtaşı ardalanması	
PALEOZOYİK			EŞME FORMASYONU		8 km	Pzşe		Gözlü Gnays - Gnays - Mikaşist - Amfibolşist - Granatlı Şist - Kloritli Şist - Kalkşist

Şekil 4.5. Çalışma bölgesine ait stratigrafik sütun kesit (Ölçeksiz).

4.3.1. Paleozoyik

4.3.1.1. Eşme Formasyonu (Pzşe)

Menderes Masifinin örtü şistleri içerisinde bulunan bu formasyon, gnays ve çeşitli şistlerden meydana gelmektedir. Formasyon, çalışma alanının en yaşlı ve en yaygın gözlenen birimidir. Çalışma alanında Dervişli köyü etrafında yüzlek verir (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6. Eşme Formasyonuna ait şistlerin arazi görünüşleri ("a" Eroğlu Deresi dere yatağı, "b" Mollasüleymanlı mevkesine ait mostraları.).

Metamorfitlelerden oluşan bu birim, altta granitik gnayslarla yanal ve dikey geçişli olan para kökenli gnayslar ile başlar. Bunlar iri feldspat ve kuvars gözlü,

yer yer turmalinli kuvars damarlı, yer yer de hematit ve manyetit içerirler. Üst seviyelere doğru ince taneli gnayslar, mikaşist, amfibol şist, granatlı şist, klorit şist ve serizit şist ile devam eder. En üst seviyelerde de, yer yer ince mermer bantları içeren örtü şistleri bulunur (Ercan vd., 1978). Sahada yaygın olarak bulunan bu formasyon içinde, metamorfitlere uyumlu, yer yer de dayk şeklinde kuvars damarları gözlenir (Şekil 4.7.). Sahada kuvars damarları içinde rutil kristalleri ve sıvama şeklinde ilmenit minerali izlenir.



Şekil 4.7. Eşme Formasyonuna ait şistleri kesen kuvars damarını gösteren arazi fotoğrafı (Gökhasanlı Mevkii).

Eşme Formasyonunu oluşturan metamorfitler, Paleozoyik yaşlı bir çökel topluluğunun bölgesel termodinamo metamorfizma geçirmesiyle oluşmuşlardır. Metamorfizma birkaç evrelili olabilen orta dereceli Barrow tipinin, yeşil şist fasiyesi ve amfibolit fasiyesi koşullarında oluşmuştur (Broan vd., 1983).

4.3.2 Neojen

4.3.2.1. Ahmetler Formasyonu (*Tia*)

Eşme formasyonu üzerine uyumsuz gelen bu formasyon Pliyosen yaşlıdır. Ahmetler Formasyonu alttan üste doğru “*Merdivenli kuyu üyesi*”, “*Balçıklıdere*

üyesi” ve “Gedikler üyesi” olarak üç üyeye ayrılmıştır (Açıkalın vd., 1985) (Şekil 4.8.). İnceleme alanında Ahmetler formasyonunun sadece Balçıklıdere üyesi gözlenmektedir.



Şekil 4.8. Eşme Formasyonu (Pzşe) ile Ahmetler Formasyonu (Tia) arasındaki dokanağın görünümü (Sırçalı Tepe).

Konglomera-kumtaşı-tüfit-kiltaşı-marn ve kireçtaşı ar dalanmasından oluşan bu üye, akarsu ortamı ürünü olup en çok 200 m kalınlık sunar. Genellikle beyaz, açık sarı renkli ve yatay katmanlıdır. Yer yer çapraz katmanlanma ve laminalanma, oygu-dolgu yapıları, kuruma çatlakları ve sürüklenme izleri görülür. Killi düzeylerde bitki kök ve parçaları bulunur. Balçıklıdere üyesi, sadece metamorfiklerden malzeme aldığı yerlerde açık mavi, yeşilimsi renkte ve tek kökenli konglomera-kumtaşı-kiltaşı ar dalanması şeklindedir. Ayrıca, bu üye metamorfiklerin dışında Miyosen çökelleri ve eş yaşlı Beydağı Volkaniklerinden de malzeme alır. Bu yerlerde birim, çok kökenli konglomera-kumtaşı-tüfit-kiltaşı-marn ve kireçtaşı ar dalanması şeklinde olup beyaz açık sarı renklidir. Bu üyenin bütün katmanları yatay veya yataya yakın olup, en çok 15° lik bir eğim sunar (Broan vd., 1983).

4.3.3. Kuvaterner

4.3.3.1. Yamaç döküntüsü (*Qy*)

Bu birim, Eroğlu deresi boyunca ve derenin her iki yanındaki yamaçlarda gözlenir. Eşme Formasyonu'nun aşınma ve ayrışma ürünü olan bu birim, kuvars-kuvarsit ve gnays çakılları ile temsil edilir. Tabakalanma göstermeyen ve tutturulmamış yapıda gözlenen bu birim, yaklaşık 4m kalınlığa sahiptir.

4.3.3.2. Rutilli çakıl-kum-mil (*Qt*)

Çimentolanmamış taraça oluşuklarıdır. Yaklaşık olarak; gnays, kuvars şist çakılları birimin %75'ini, kum, mil, silt gibi elemanlar ise birimin %25'ini meydana getirir. Bu birim içerisinde boyutları 1,5-0,1cm aralığında değişen rutil taneleri gözlenmiştir (Şekil 4.9a. ve 4.9b.).



Şekil 4.9a. Taraça profilinin arazi görünümü (Sarıgöl Deresi).



Şekil 4.9b. Taraça içerisindeki rutil tanelerinin yakın görünümü (Sarigöl Deresi).

4.3.3.3. Dere alüvyonu (Qd)

Bu birim, Eroğlu deresi boyunca güneybatı-kuzeydoğu yönünde şerit halinde uzanım gösterir. Ortalama 1,5m kalınlık gösteren bu birim elemanlarını; metamorfik çakıllar, kum, mil ve sellenme ile gelen bloklar oluşturur. Birim içinde, döküntü ve serpinti halinde rutil taneleri gözlenmektedir (Şekil 4.10a ve 4.10b.).



Şekil 4.10a. Sarigöl Deresine ait dere alüvyonunu gösteren arazi fotoğrafı.



Şekil 4.10.b. Eroğlu Deresi dere yatağındaki döküntü ve serpinti şeklindeki rutil tanelerinin yakın görünümü.

4.4.Ekonomik Jeoloji

Titanyum fiziksel ve kimyasal açıdan üstün özellikler gösteren bir metaldir. Ancak elde edilmesi ve işlenmesi çok zor olduğundan, metal olarak kullanılması çok özel alanlarla sınırlandırılmıştır. Buna karşılık, gerek titanyum mineralleri gerekse titanyum oksitin (TiO_2) geniş kullanım alanları vardır.

Ülkemizde şu ana kadar kayda değer ölçüde bir titanyum cevheri bulunamamıştır. Ancak son yıllarda Ülkemizdeki eklojitlerin % 1.5-2.0 civarında Ti tenörüne sahip olduğu belirlenmiştir (Gültekin,1993).

Dünya'da şu anda ne titanyum cevherleri ne de TiO_2 eldesi ve arzı konusunda herhangi bir sorun yoktur. Mevcut rezervler dünya ihtiyacını çok uzun süre karşılamaya yetecek düzeydedir. Ancak mevcut teknolojilerin karmaşık olması nedeni ile ürün fiyatları yüksektir. Fiyatların yüksekliği de tüketimi sınırlamaktadır (DPT, 2001).

4.4.1. Dünya’da Mevcut Durum

4.4.1.1. Rezervler

Dünya titanyum cevherlerinin yayılımı ve rezervleri konusunda elde sınırlı bilgi vardır. Değişik kaynaklardan derlenen bilgilerden şu sonuçlar çıkartılabilmektedir (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4.1. Dünyada mevcut titanyum (rutil ve ilmenit) cevherinin yayılımı ve rezervleri (DPT, 2001).

ABD	100 000 000 ton üzerinde
Avustralya	100 000 000 ton üzerinde
Sri Lanka	5 600 000 ton
Yeni Zellanda	17 000 000 ile 31 000 000 ton arası
Uruguay	3 300 000 ton
Mozambik	166 000 000 ton

4.4.1.2. Tüketim alanları

Titanyum kullanımını metal ve alaşımları ve oksit ve diğer bileşikler olmak üzere iki ayrı bölümde değerlendirmek gerekir.

Metalik titanyum üstün fiziksel ve kimyasal özellikler gösterir. Bu nedenle; uzay aracı, uçak ve füze yapımında yeri doldurulamaz bir metaldir. Yüksek hız, titreşim ve yüksek basınç söz konusu olduğu araç kısımlarında, motor türbin kanatlarında ve benzeri aşırı yüklenen diğer araç bölümlerinde çok kullanılır. Kimyasal dayanıklılığı ise aşındırıcı kimyasal madde üreten fabrikalarda kullanılmasının nedenidir.

Titanyum oksit şu anda bilinen en beyaz boya maddesidir. Titanyum beyazı adı altında boya endüstrisinde geniş çapta kullanılır. Bunun dışında; kozmetik endüstrisi, linolyum (muşamba), yapay ipek, beyaz mürekkep, renkli cam, seramik sırası, deri ve kumaş boyanması, kaynak elektrotları yapımı ve kağıt

endüstrisi gibi pek çok alanda da kullanılabilir. Bu kadar çok kullanım alanları olmasına karşın; üretilen tüm titan oksidin %60 'ı boya endüstrisi tarafından tüketilir. Diğer bileşiklerinden titanklorit, kumaşların rengini ağartmada; tetraklorit yapay sis eldesinde; titanyum karpit aşındırıcı olarak kullanılır.

4.4.1.3. Dünya'da titanyum mineralleri üretimi, tüketimi ve ticareti

En önemli üretici ülke konumunda Avustralya yer almaktadır. En önemli rutil ve ilmenit tüketici ve ithalatçı ülke ise A.B.D 'dir. Avustralya, Güney Afrika Cumhuriyeti, Sri Lanka, Hindistan gibi önemli üretici ülkeler daha çok dış pazarlar için üretim yaparlar. Çizelge 4.2.'de ülkelerin 1998 yılına ait titanyum mineralleri ve metali üretim tüketim ve ithalat değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Dünya Titanyum Minerali Üretimi ve Ticareti (1998) (İpekoğlu, 2015 ile DPT, 2001 verileri karşılaştırılarak hazırlanmıştır).

Ülkeler	Üretim(ton)	İhraç(ton)	İthal(ton)
Kuzey Amerika	2 250 000	1 000 000	700 000
Güney Amerika	2 500 000	1 100 000	781 657
Afrika	2 000 000	-	500 000

4.4.2. Türkiye'de Durum

4.4.2.1. Titanyumun Türkiye'de bulunuş şekli ve rezervleri

Türkiye'de İzmir, Manisa ve Uşak çevresinde plaserlerde, Trakya'nın Karadeniz sahillerinde plaj kumlarında ve Hakkari civarında da kuvarsitlerde titanyum minerallerine rastlanmıştır. Ancak tenör hemen hiçbir yerde %1'i aşmamaktadır (DPT, 2001).

Gerek Doğu Anadolu'da gerekse Batı Anadolu'da yapılan çalışmalarda ekonomik olabilecek değerde bir rezerve henüz rastlanmamıştır. Bunların en önemlisi Manisa yöresinde bulunan; %1,11 TiO₂ içeren 1 272 000 ton dolayındaki rezervdir. Doğu Anadolu'da Hakkari yöresinde yapılan çalışmalar sonucu

kuvarsitlerin içinde titanyum cevherlerine rastlanmıştır. Ekonomik açıdan pek umutlu görülmemekle birlikte, bu yörede yeterli ayrıntıları içeren bir çalışma yapılmamıştır. Kesin bir sonuca varabilmek için bu yörede ayrıntılı bir etüd yapılması gerekir. Batı Anadolu'da % 0,5-1 TiO₂ li toplam 100 milyon ton kadar bir potansiyel olduğu sanılmaktadır. Ülkemiz de ayrıca Manisa-Gördes ve Uşak-Eşme bölgelerinde iri kristaller halinde siyah renkli rutile rastlanılmıştır. Geniş bir bölgede yayılmış olan bu rutil mineralleri bölgelerdeki taraçalarda, yamaç molozlarında, plaserlerin içerisinde bulunmaktadır.

MTA Genel Müdürlüğü tarafından Batı Anadolu'da yapılan rezerv çalışmalarının sonuçları Çizelge 4.3.'de görülmektedir.

Çizelge 4.3. MTA Genel Müdürlüğü Tarafından Bulunan Titanyum Rezervleri (DPT, 2001).

YÖRE		REZERV(ton)	%TiO ₂
İzmir-Ödemiş-Aktaş Deresi	2	3 200 000	1,2
İzmir-Ödemiş-Rahmanlar	2	7 200 000	1,1
İzmir-Ödemiş-Işıklar Deresi	2	600 000	1,8
Manisa-Gördes-Demirci	1	1 272 000	1,11
Köseler-Benlieli	2	45 000 000	0,5
Manisa-Gördes-Demirci	2	1 700 000	0,5
Manisa-Gördes-Gördes Çayı	2	6 800 000	0,5
Manisa-Salihli-Turgutlu	3	30 000 000	1
Uşak-Eşme	3	12 000 000	1,2

4.4.2.2. Türkiye'de tüketim alanları

Titanyumun genel kullanım alanları Türkiye için de geçerlidir. Titanyum tüketimimiz; kaynak elektrotları endüstrisi, boya endüstrisi, tekstil endüstrisi başlıca kullanım alanlarıdır. Bunların yanı sıra; deri, yapay elyaf, matbaa mürekkebi, lastik, likid gaz, çelik ve seramik endüstrilerinde de kullanılır.

4.4.2.3. Üretim, ithalat ve ihracat

Ülkemizde halen titanyum mineralleri içeren yataklardan sistematik bir üretim yapılmadığı bilinmektedir. Bu sebepten dolayı dış ülkelere ihracatımız yoktur.

Titanyum cevheri üretimimiz söz konusu olmadığından titanyumla ilgili herhangi bir ihracatımız da söz konusu değildir. Titanyum ithalatımız aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.4.).

Çizelge 4.4. Türkiye'nin titanyum ithalatı (DPT, 2001).

Yıl	Ton	Değer(\$)
1997	5514	2.101.711
1998	5824	1.058.558
1999	5464	1.508.136

4.5. Çalışma Alanındaki Rutil Zuhurları

Çalışma sahasındaki rutil cevherleşmeleri, 1/25.000 ölçekli Uşak L21-b1 ve Uşak K21-c4 paftaları arasında, Karaöz Deresi, Hacıhüseyinli Mahallesi, Mollasüleymanlı Mahallesi, Gökhasanlı Mahallesi olmak üzere 4 mevkii de bulunmaktadır. Bu sahalarla ilgili gözlem ve incelemeler aşağıda verilmiştir.

4.5.1. Karaöz Deresi Mevkii Rutil Zuhuru

Bu zuhurlar, Dervişli köyüne bağlı Mollahalilli Mahallesi batısında bulunan Karaöz Deresi ve Eroglu Deresi kesişim noktasında bulunmaktadır (Şekil 4.11.). Dere yatağında Paleozoik yaşlı metamorfiklerden oluşan Eşme Formasyonu yaygın olarak gözlenmekte olup, söz konusu bu birimi uyumsuz olarak üzerleyen Balçıklıdere üyesi bulunmaktadır. Yamaçlarda serbest olarak bulunan kuvars damarlarından kopmuş rutilli kuvars çakıl ve blokları ve rutil taneleri ise stratigrafik olarak en üst birimi temsil eden Kuvaterner yaşlı taraçalar içerisinde gözlenmektedir.



Şekil 4.11. Sırçalı Tepeden Karaöz Deresine bakış.

Bölgede ağırlıklı olarak çakıl ve blok boyutundaki kuvars damarlarından oluşan yamaç molozları ve Eroğlu deresinin taraçası üzerinde olduğu tahmin edilen rutilli plaserler gözlemlenmiş (Şekil 4.12.) ve bölgenin şematik kesiti çizilmiştir (Şekil 4.13.).



Şekil 4.12. Eroğlu ve Karaöz derelerinin kesişim noktasındaki birimlerinin dokanak ilişkisi.



Şekil 4.13. Eroğlu ve Karaöz derelerinin kesişim noktasındaki birimlerin dokanak ilişkisini gösteren stratigrafik şematik kesit.

Rutil söz konusu bu yamaç molozlarında çok az gözlenmekle beraber dere yatağındaki alüvyal plaserler de milimetre boyutlarında kayaç içerisinde ise santimetre boyutlarında bulunmaktadır (Şekil 4.14.). Kuvarsitler içerisinde ayrıca, turmalin damarları (Şekil 4.15.) ve sıvama şeklinde ilmenit mineralleri de sıklıkla gözlenmektedir.

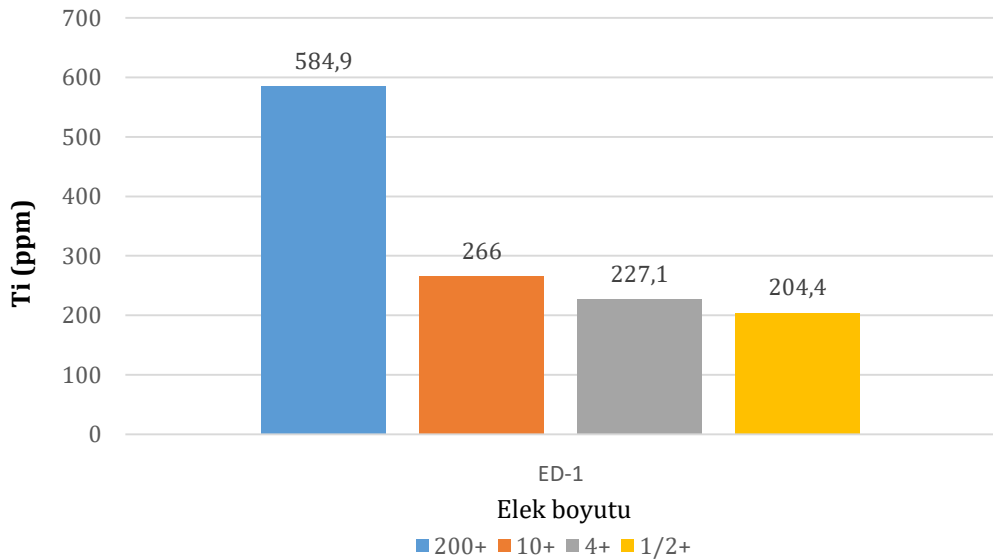


Şekil 4.14. Eroğlu Deresi içerisindeki rutil taneleri (ru: rutil, Q: kuvars).



Şekil 4.15. Eroğlu Deresi ve Karaöz Deresi kesişim noktasından alınan turmalin damarlı kuvars (tur: turmalin, Q: kuvars).

Eroğlu deresi ve Karaöz deresinin kesişim yerine yakın bölgeyi temsilen alınan plaser örneğinin 1/2+ (12,5mm), 4+ (4,75mm), 10+ (2,00mm), 200+ (75µm) numaralı eleklerde boyutlara ayrılmıştır ve 4 farklı boyuta ayrılan bu örneğin titan içeriği ICP-OES analizi yöntemiyle belirlenmiş olup sonuçlar Şekil 4.16.'da sunulmuştur.



Şekil 4.16. Eroğlu deresi ile Karaöz deresinin kesişim yerine yakın Eroğlu deresi içerisinde alınan plaser örneğinin ICP-OES analiz sonucunun elek boyutuna göre gösterimi.

4.5.2. Hacıhüseyinli Mevkii Rutil Zuhuru

Dervişli köyünün batısına düşen Hacıhüseyinli Mahallesi ile arasında bulunan Eroğlu deresi ve Sarıgöl deresi keşişim noktasında Balçıklıdere üyesi üzerinde uyumsuz olarak bulunan rutilli dere taraçası ile yamaç döküntüsü ve alüvyon birimleri arasındaki ilişki net bir şekilde görülmektedir. Sarıgöl deresi boyunca da yamaçlarda aynı stratigrafik kesit izlenmektedir (Şekil 4.17.-4.18.-4.19.).



Şekil 4.17. Eroğlu deresi içerisindeki yamaç döküntüsü içerisinde kuvars içinde rutil minerali.



Şekil 4.18. Eroğlu deresi içinde ve taraçadan rutil mineralleri.



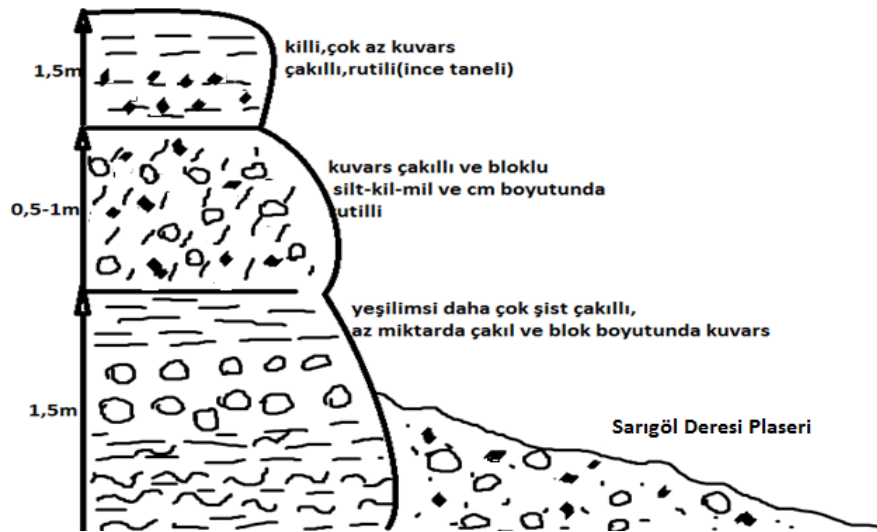
Şekil 4.19. Eroğlu deresi rutilli dere taraçası (Qt) ve metamorfik kayaların (Pzşe) dokanak ilişkisi.

Taraça içerisinde renkli kuvarsit parçaları blok, çakıl, kum ve silt boyutunda gözlenmekte olup rutil taneleri zaman zaman bu kuvarsitler içerisinde veya

serbest halde 2mm den - 3cm ye kadar uzanan boyutlarda gözlenmektedir (Şekil 4.20.). Bununla birlikte, makroskobik olarak gözlenen bu rutil tanelerinin yanı sıra daha küçük boyutta rutil tanelerinin de olma olasılığı mümkün görülmektedir. Bu bölgeden derlenen rutil minerallerinin toplu görüntüsü Şekil 4.23.'de sunulmuştur.



Şekil 4.20. Sarıgöl taraçası içerisindeki rutil minerali.



Şekil 4.21. Sarıgöl Deresi taraçasının şematik stratigrafik kesiti.



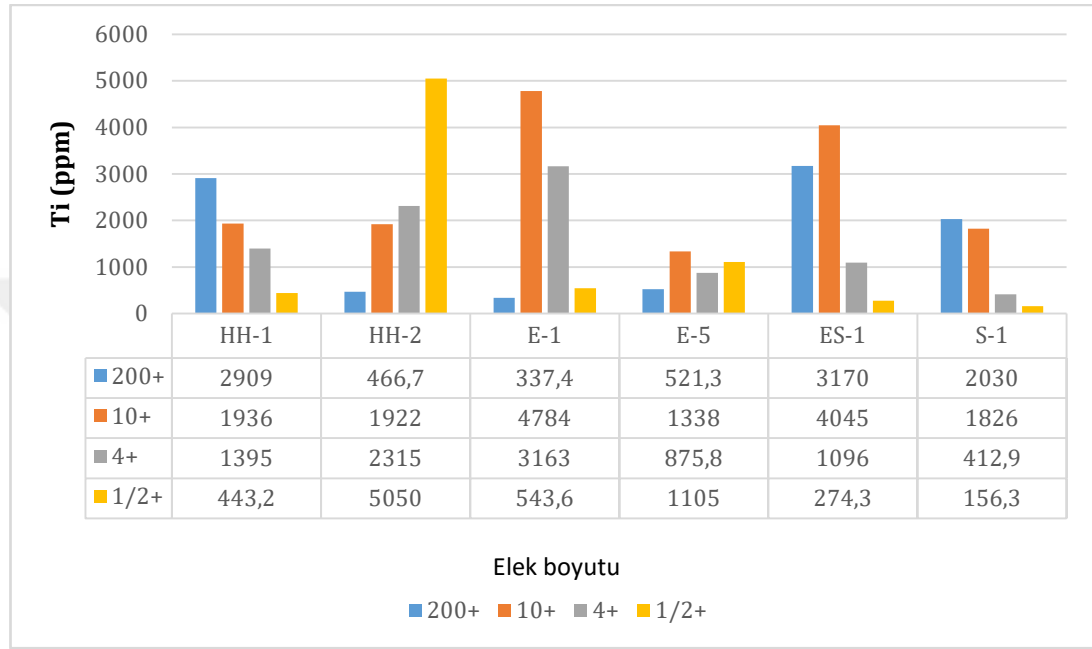
Şekil 4.22. Sarıgöl ve Eroğlu deresi kesişiminde bulunan plaser içerisindeki rutil taneleri birikimi.

Sarıgöl deresi ve Eroğlu deresinin kesişim noktasında yer alan plaserlerde rutil birikimleri bol miktarda gözlenmektedir (Şekil 4.23.). Bölgede kuvarsit içerisinde ve serbest olarak bireysel taneler şeklinde çeşitli boyutlara sahip rutil kristalleri bulunmaktadır.



Şekil 4.23. Eroğlu deresi ve Sarıgöl deresi kesişim noktasındaki taraçadan toplanan rutil taneleri.

Bölgeden alınan plaser örneklerinin titan içeriğinin hesaplanması için bölgeyi temsilen alınan plaser örneği ½ (12,5 mm), 4+ (4,75 mm), 10+ (2,00 mm), 200+ (75 µm) numaralı eleklerde tane boyutlarına göre ayrılmıştır. 4 farklı boyuta ayrılan söz konusu bu örneğin titan içeriği için ICP-OES analizi yapılmış olup sonuçlar Şekil 4.24.'de grafik şeklinde sunulmuştur.



Şekil 4.24. Eroğlu deresi ve Sarıgöl deresinden alınan plaser örneklerinin Ti analiz sonuçlarının elek boyutuna göre grafik görünümü.

4.5.3. Mollasüleymanlı Mevkii Rutil Zuhuru

Dervişli köyünden Mollasüleymanlı Mahallesi ve Sırçanlı Tepe'sini kapsayan bu bölgede metamorfik kayalar ve bu metamorfik kayalar içerisinde bulunan kuvars damarlarından kopmuş blok, çakıl, kum ve silt boyutlarında kuvarsitler tarla kenarlarına yığılmış olarak gözlenmektedir. Bu yığıntıların içerisinde; turmalinli kuvars damarları ile kuvarslar içerisinde sıvama ve damar şeklinde ilmenitler gözlenmektedir (Şekil 4.25.). Damardan kopmuş kuvarslar içerisinde rutiller bulunduğu gibi (Şekil 4.26.), tarlalarda ve taraçalarda serbest rutil tanelerine de çok sık rastlanmaktadır.



Şekil 4.25. Kuvarsit içerisindeki turmalin (Sırçanlı Tepe).



Şekil 4.26. Kuvarsit içerisindeki rutil kristali (Sırçanlı Tepe).

Mollasüleymanlı Mahallesi kuzeydoğusunda bulunan sırtın üzerinde ana kayacık olan Eşme formasyonu mostrasını temsilen şistler (Şekil 4.27.), şistleri kesen kuvars damarları (Şekil 4.28.) ve pembe renkli kuvarsitler bulunmaktadır. Bu kuvars damarları içerisinde rutil tanelerine rastlanmamakla birlikte damarlardan kopmuş olduğu varsayılan blok ve çakıl boyutundaki kuvarsitler içerisinde rutil mineralleri gözlenmektedir.

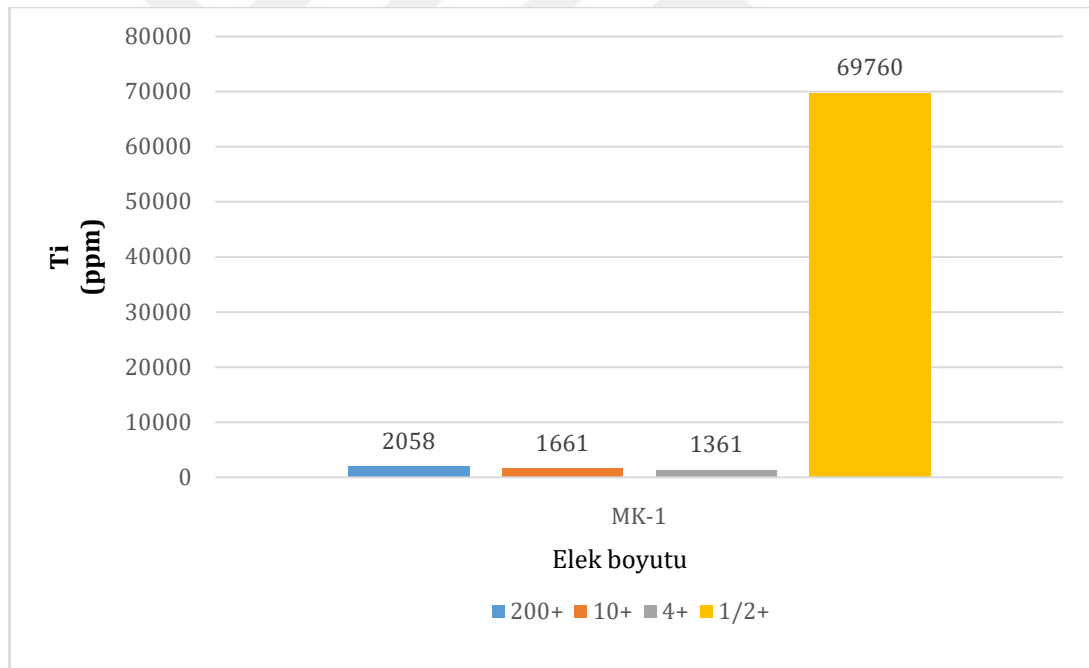
Mollasüleymanlı sahasından alınan plaser örneği üzerinde elek analizi yapılmış olup 4 farklı tane boyutuna ayrılmıştır. Bu tane boyutlarına ayrılan bu numunenin analiz sonucuna göre ½+elek boyutunda incelenen numunenin Ti (ppm) oranının diğer oranlara göre oldukça yüksek çıktığı görülmektedir (Şekil 4.29.).



Şekil 4.27. Dervişli Köyünden Mollasüleymanlı'ya gidişteki metamorfiklerin mostrası.



Şekil 4.28. Şist kayacını kesen kuvars (Q) damarı (Dervişli Köyü Mollasüleymanlı Mahallesi yolu).



Şekil 4.29. Mollasüleymanlı sahasından alınan plaser örneğinin Ti analiz sonucu ve elek boyutu ilişkisinin grafiksel görünümü.

4.5.4. Gökhasanlı Mevkii Rutil Zuhuru

Bölge, Dervişli köyüne bağlı Gökhasanlı Mahallesi ile Kula-Eşme yolunun hemen kuzeyinde bulunmaktadır (Şekil 4.30.). Bu bölgede taraçaların kalınlığı 5m den

fazla olup renkli kuvarsitlerle beraber serbest rutil tanelerinin varlığı gözlenmektedir (Şekil 4.31.) .

Gökhasanlı Mahallesi-Eroğlu köyü yolunu kesen Eroğlu deresi içerisinde boyutları 1cm'ye ulaşan rutil taneleri gözlenmektedir (Şekil 4.32.). Dere plaserleri içerisinde ana kayaç olan şistler içerisinde bulunan kuvars damarlarından kopmuş blok, çakıl, kum ve silt boylarında kuvarsitler bulunmasına rağmen içerisinde rutil tanesine rastlanmamaktadır. Ancak Gökhasanlıdan Eroğlu köyüne giderken yol boyunca taraçalarda 0,5cm-1cm boyutlarında değişen rutil taneleri gözlenmekte olup taraça üzerinde yer alan tarlalarda kuvarsitler içerisinde rutil tanelerinin varlığı gözlenmektedir. Sahadan derlenen rutil taneleri ile Hacıhüseyinli mevkinden derlenen rutil tanelerinin tane boyutu dağılımı grafikte sunulmuştur (Şekil 4.33.).



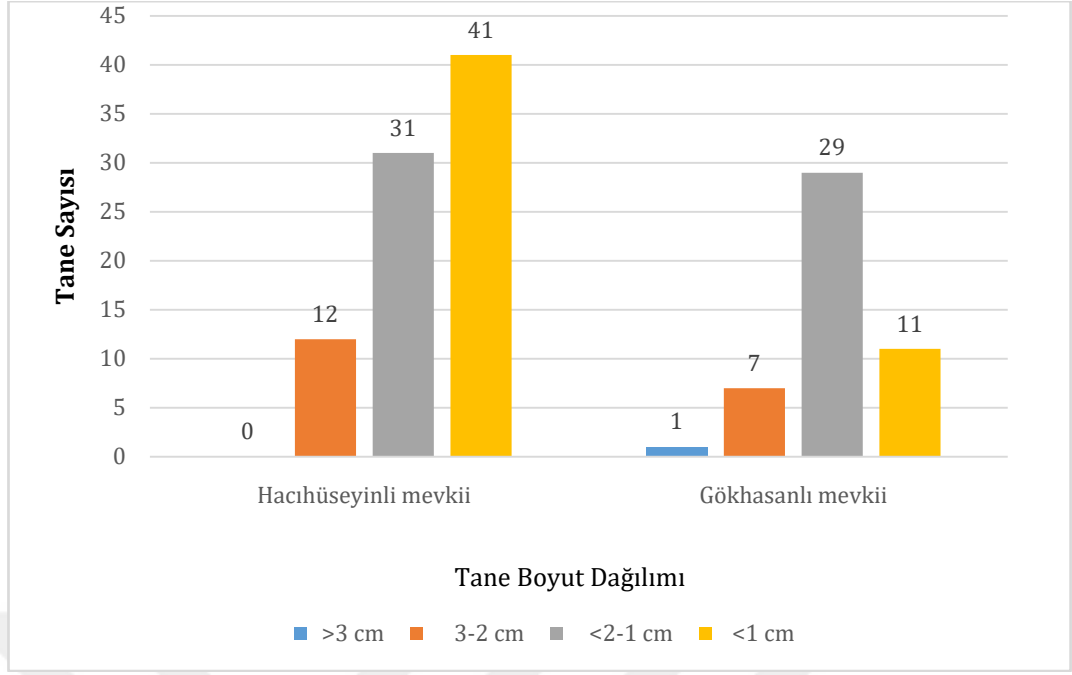
Şekil 4.30. Gökhasanlı Mahallesine bakış.



Şekil 4.31. Gökhasanlı mahallesi Eroğlu köyü arasındaki yol yarması.



Şekil 4.32. Gökhasanlı Eroğlu köyü yolunu kesen Eroğlu deresinde rutil minerali birimi.



Şekil 4.33. Hacıhüseyinli ve Gökhasanlı rutil sahalarından toplanan rutil tanelerinin, tane boyutu dağılım grafiği.

4.6. Mineralojik Özellikler

Rutil kristalleri, metalik koyu gri renkte, dirsek ikizlenmeleri belirgin ve yörede hemen hemen kuvars damarlarının bulunduğu her alanda ve el örneklerinde 0,3 cm ile 5 cm arasında değişen boyutlarda gözlenmiştir. Rutil taneleri dere yatakları içerisindeki alüvyonlarda, kuvarsit kırıntıları, kuvarsit parçaları ile zengin tarlalarda ve yer yer de kuvarsit parçaları ile zengin yamaç molozları içerisinde bulunur.

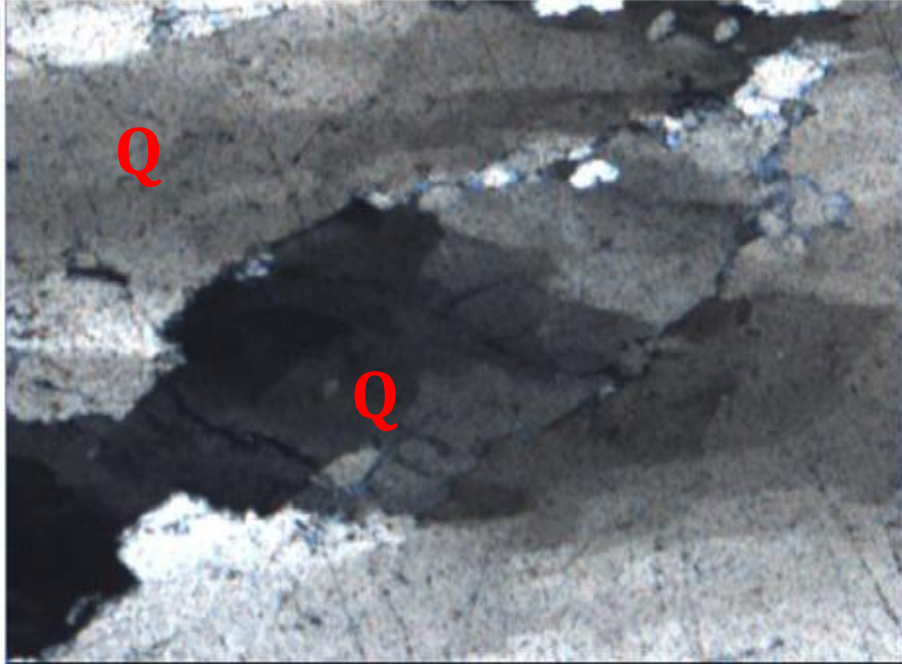
İncelenen hemen hemen tüm rutil zuhurları, gerek yataklanması, gerek mineral parajenezi ve gerekse yapısal kontrollü olma bakımından benzer özelliklere sahiptir.

Bölgedeki kuvars damarı kalınlığı 10cm ile 1,5m arasında değişmekte olup genellikle şistler içerisinde ağsal damarlar ve damarcıklar şeklinde bulunur. Fakat ağsal damar ve damarcıklar da doğrudan rutil minerali görülmemiş olmakla birlikte, incelenen sahada sıklıkla rutilli kuvarsit çakılı ve bloklarına rastlanılmıştır.

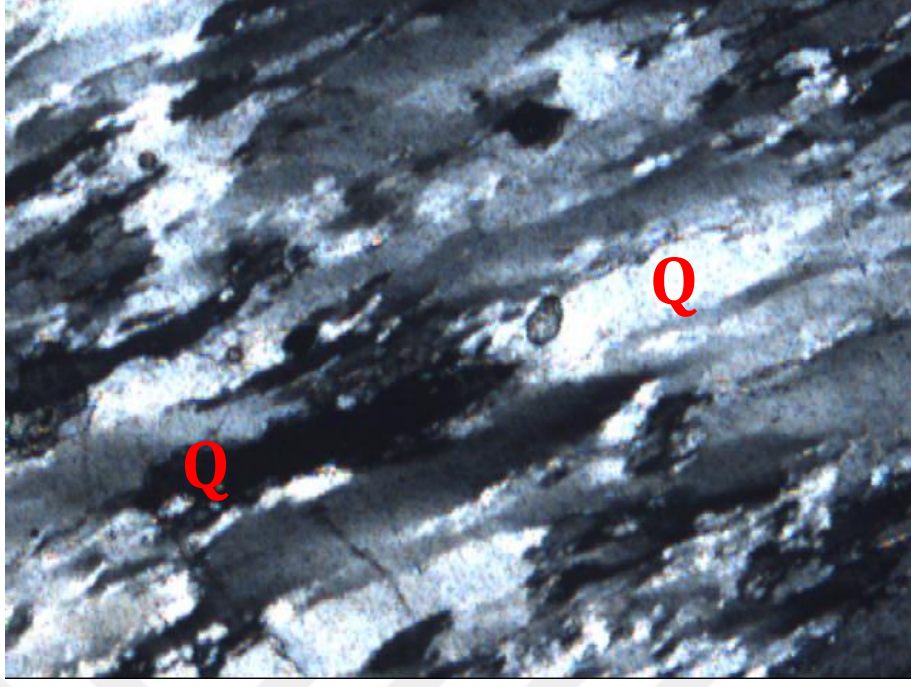
4.6.1. Polarizan Mikroskop İncelemeleri

Araziden alınan kayaç ve plaser örneklerinden yapılan ince kesitlerin polarizan mikroskop üzerinde incelenmesi ile aşağıdaki bulgular saptanmıştır.

Yapılan incelemeler ile kesitlerdeki titanyum mineralleri; egemen olarak rutil ve ilmenittir. Bunların dışında gözlenen başlıca diğer mineraller; kuvars, amfibol (aktinolit), ortoklas, granat, feldispat (albit), biyotit, plajioklad, muskovit ve turmalindir. Dalgalı sönmesi (Şekil 4.34.) ve paralel sönmesi (Şekil 4.35.) ile net bir şekilde ayırt edilen kuvars tek yönde, özşekilsiz ve ince yassı şekillerde gözlenir. TN'de sönme özellikleri gözlenmez.

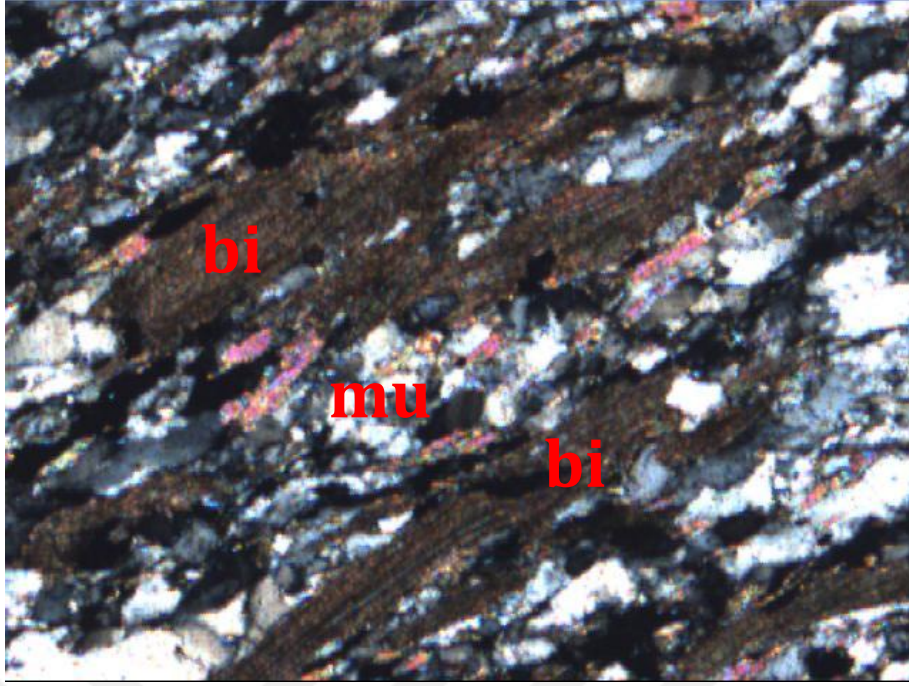


Şekil 4.34. Rutilli kuvars içerisindeki kuvars (Q) (Çift Nikol, 4X).

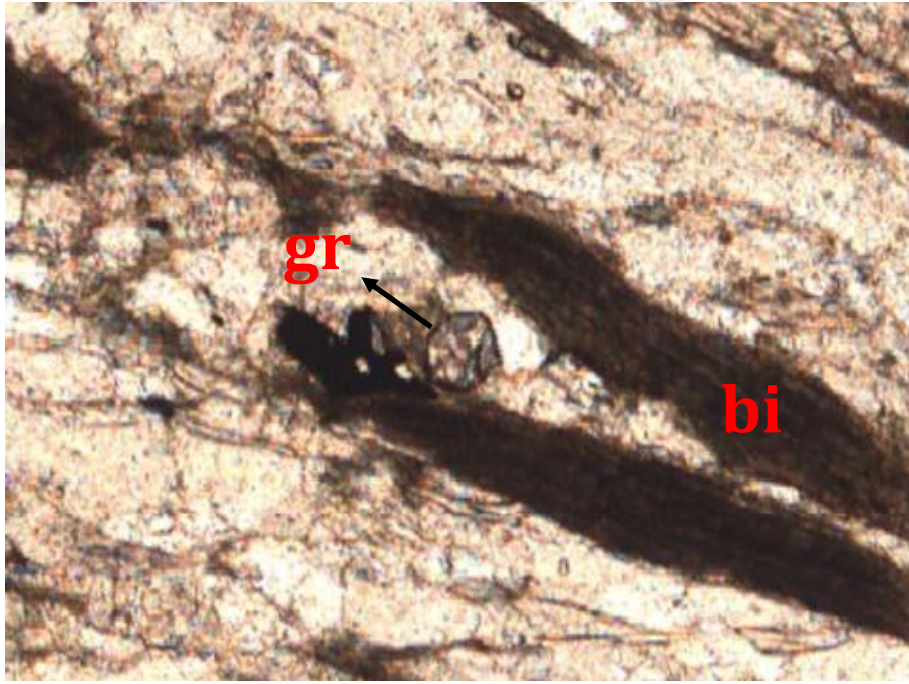


Şekil 4.35. Kuvars (Q) (Çift Nikol, 4X).

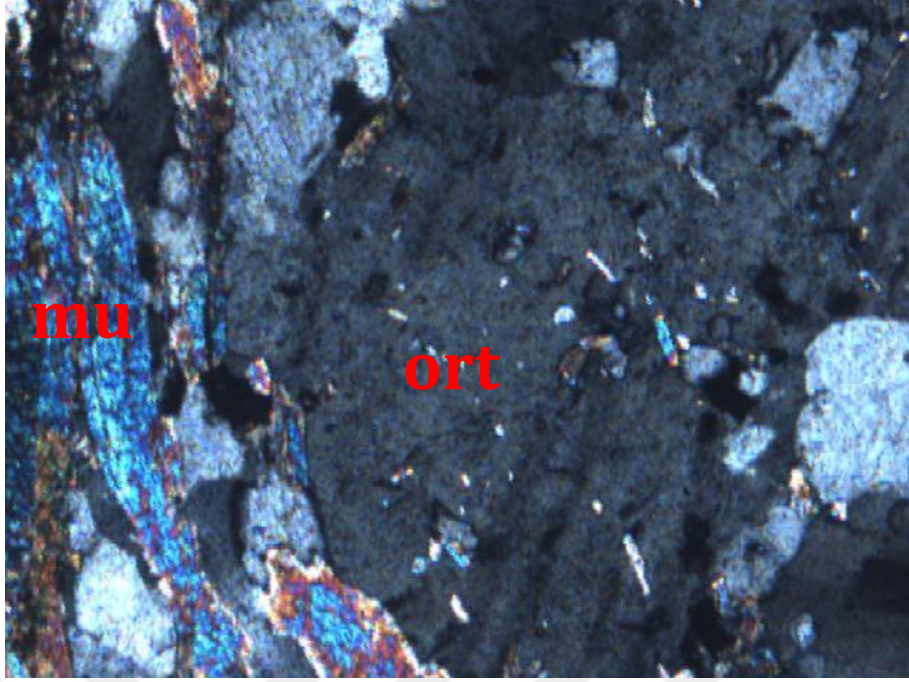
Biyotitler, prizmatik ve daha çok levhamsı şekilde (Şekil 4.36.), T.N'de kahverengi pleokrizma sunmaktadır (Şekil 4.37.) Maruz kaldığı metamorfizma şiddeti etkisi ile yer yer belirli yönlenme sunan biçimlerde görülmektedir. TN'de renksiz görülen muskovitler ÇN'de parlak ve alacalı renkleri ile dikkat çekmektedir (Şekil 4.36.). TN'de renk girişimleri gözlenmezken kesitlerde turmalin ve biyotit çevrelerinde çok sık rastlanılmaktadır. Ortoklas içinde inklüzyon şeklinde de gözlenebilmektedir (Şekil 4.38.).



Şekil 4.36. Şist içerisindeki biyotit (bi) ve muskovit (mu) (Çift Nikol, 4X).

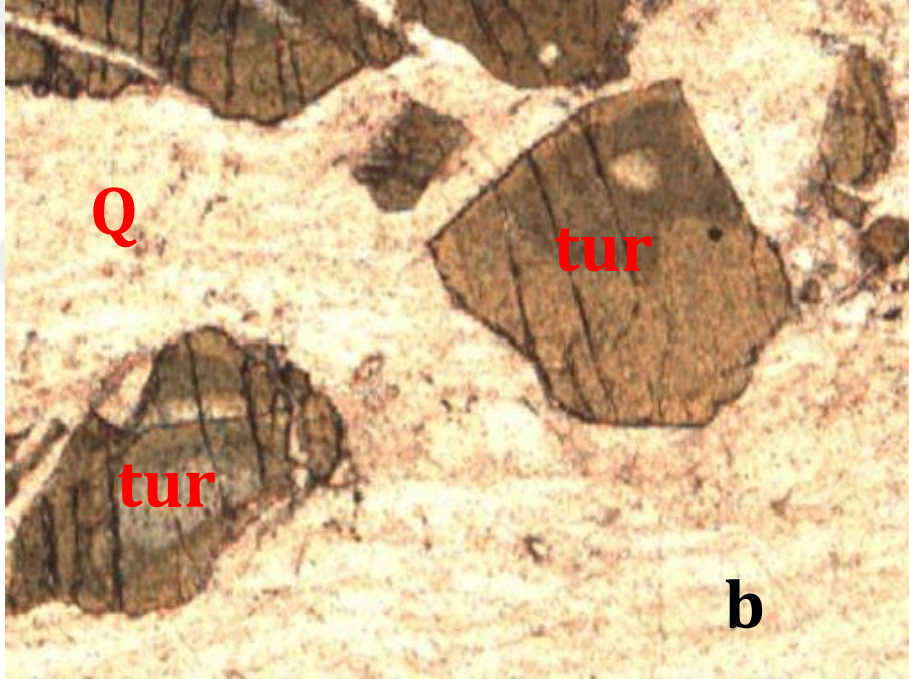
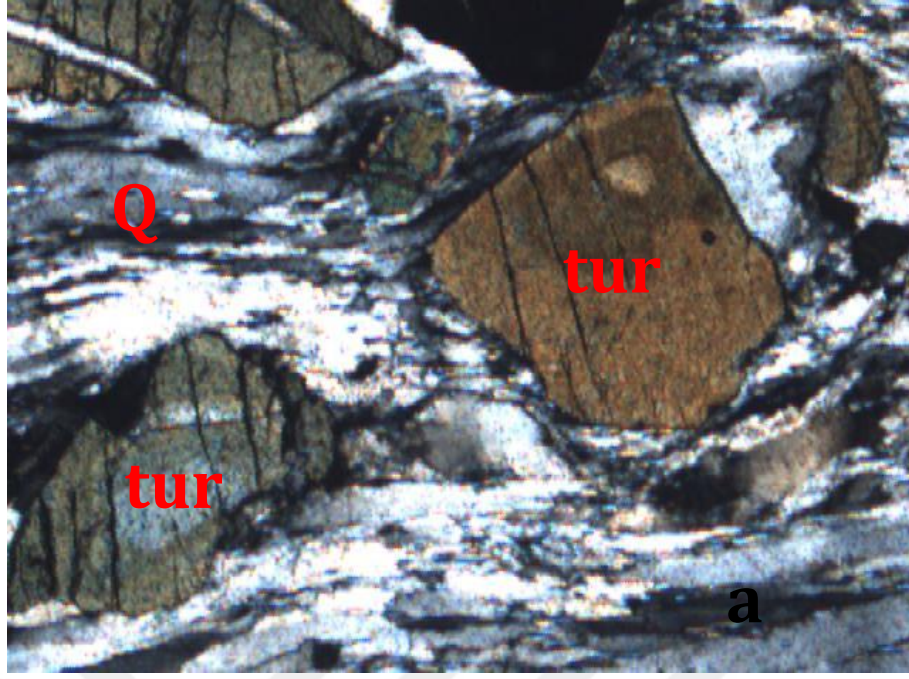


Şekil 4.37. Şist içerisindeki biyotit (bi) ve granat (gr) (Tek Nikol, 10X).

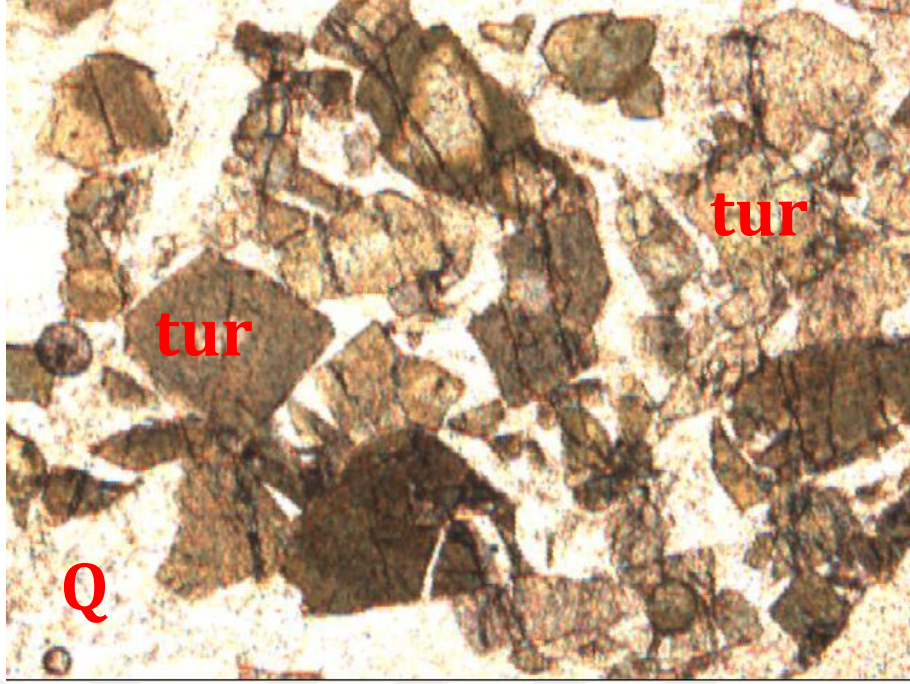


Şekil 4.38. Şist içerisindeki ortoklas (ort) ve muskovit (mu) (Çift Nikol, 10X).

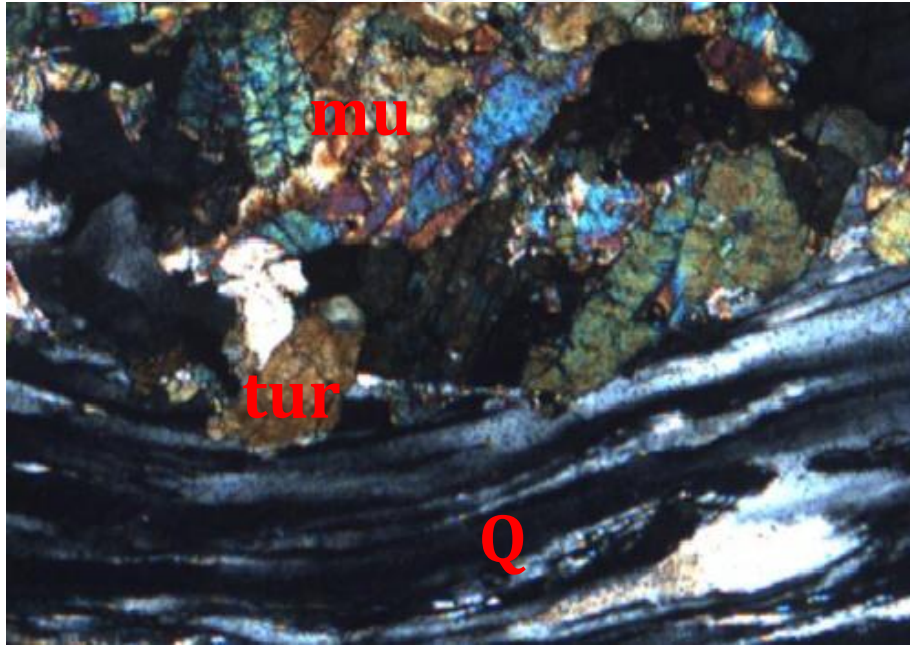
Özşekli ve yarı özşekilsiz şekillerde gözlenen turmalinler kendi içinde de zonlanma sunmaktadırlar (Şekil 4.39.). Kuvars ve muskovitle beraber gözlenen turmalinlerin ÇN' de gösterdiği zonlanma ve yüksek röliyef TN'de de gözlenmektedir (Şekil 4.40.).



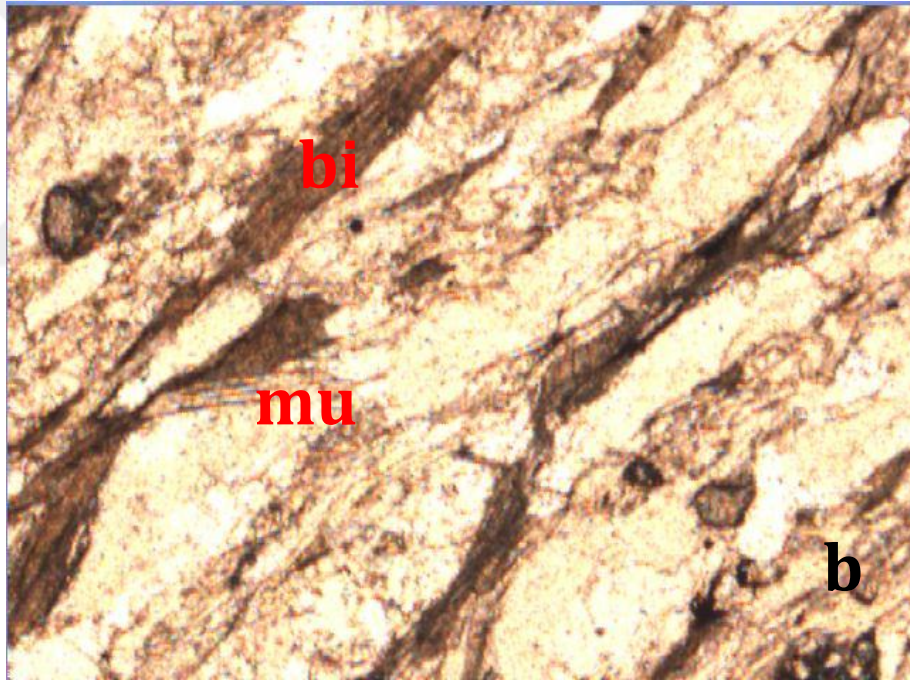
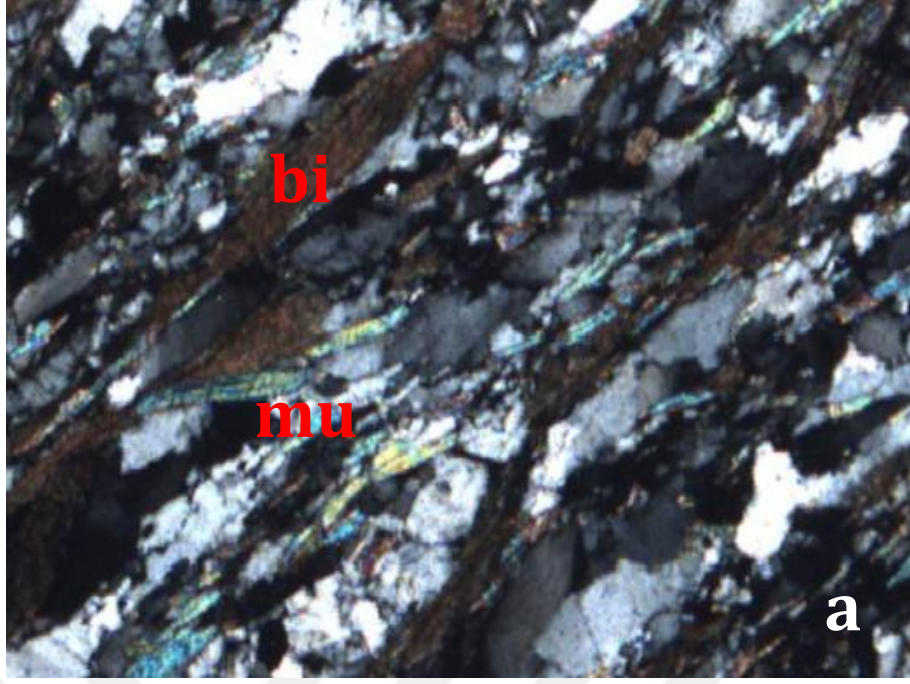
Şekil 4.39. Kuvarsit (Q) içerisinde turmalin (tur) (a: (Çift Nikol, 4X), b: (Tek Nikol, 4X)).



Şekil 4.40. Kuvarsit (Q) içerisindeki turmalin (tur) (Tek Nikol, 4X).

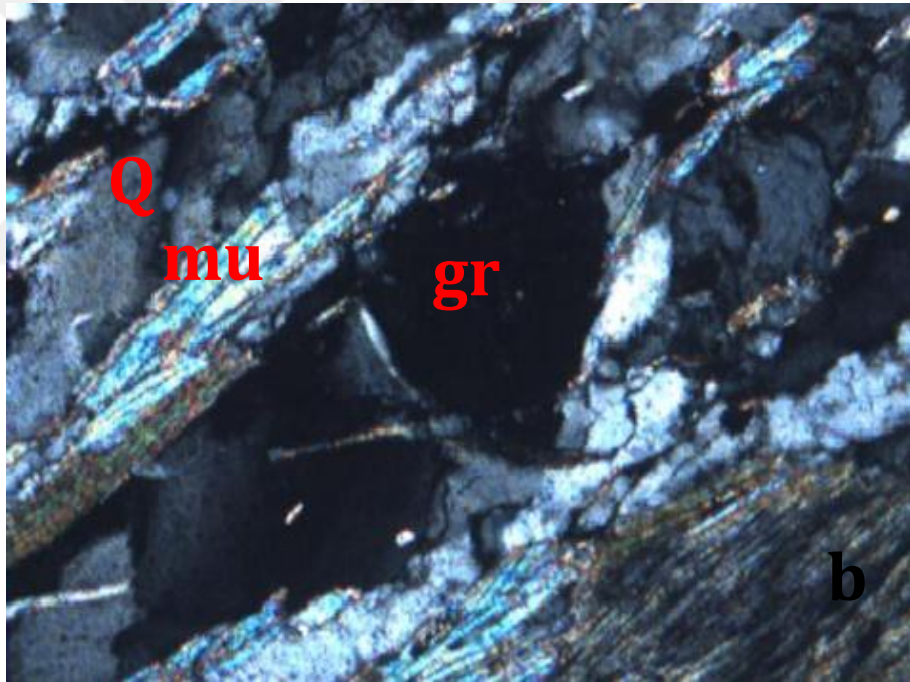


Şekil 4.41. Kuvarsit içerisindeki kuvars (Q) turmalin (tur) ve nuskovit (mu) (Çift Nikol, 4X).



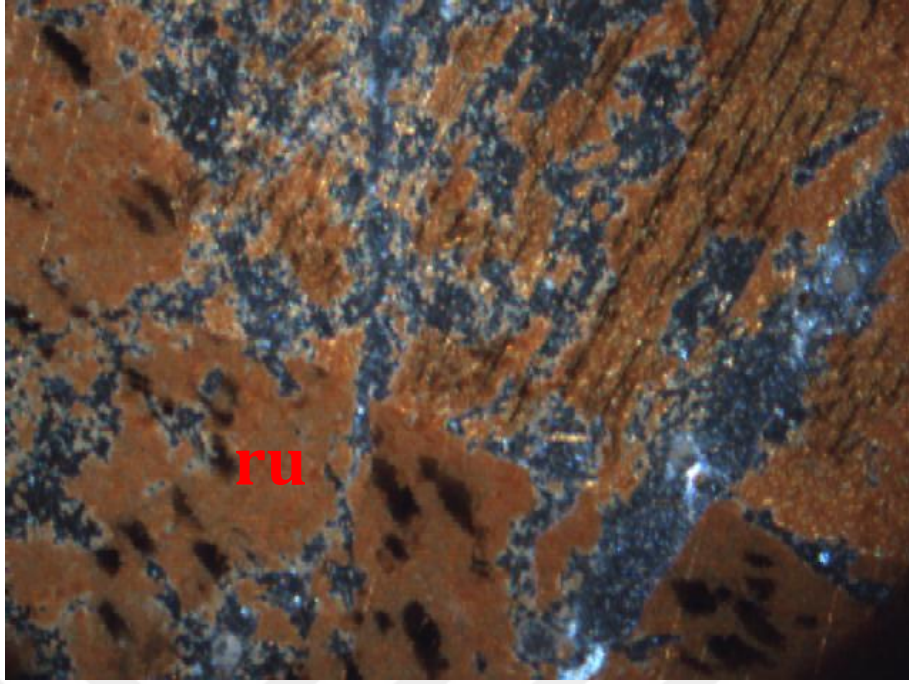
Şekil 4.42. Şist içerisindeki muskovit (mu) ve biyotit (bi) (a (Çift Nikol, 4X), b (Tek Nikol, 4X)).

Röliyefi ve diğer optik özellikleriyle net şekilde ÇN ve TN'de gözlenen granatlar özşekilli ve yarı özşekilsiz formlarda bulunmaktadır (Şekil 4.43.).

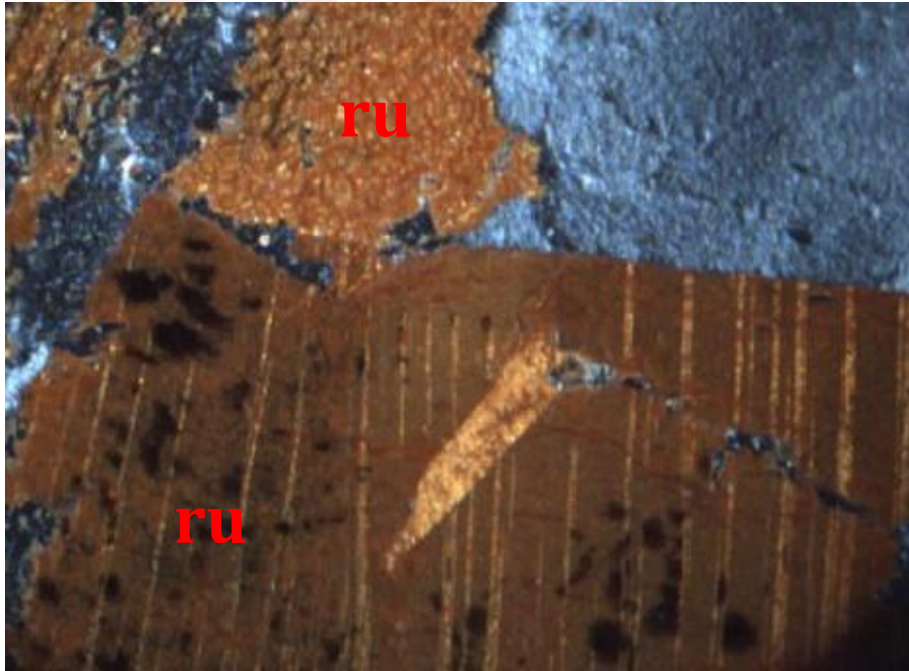


Şekil 4.43. Şist içerisindeki granat (gr), muskovit (mu) ve kuvars (Q) (a (N-,4X), b (N+,4X)).

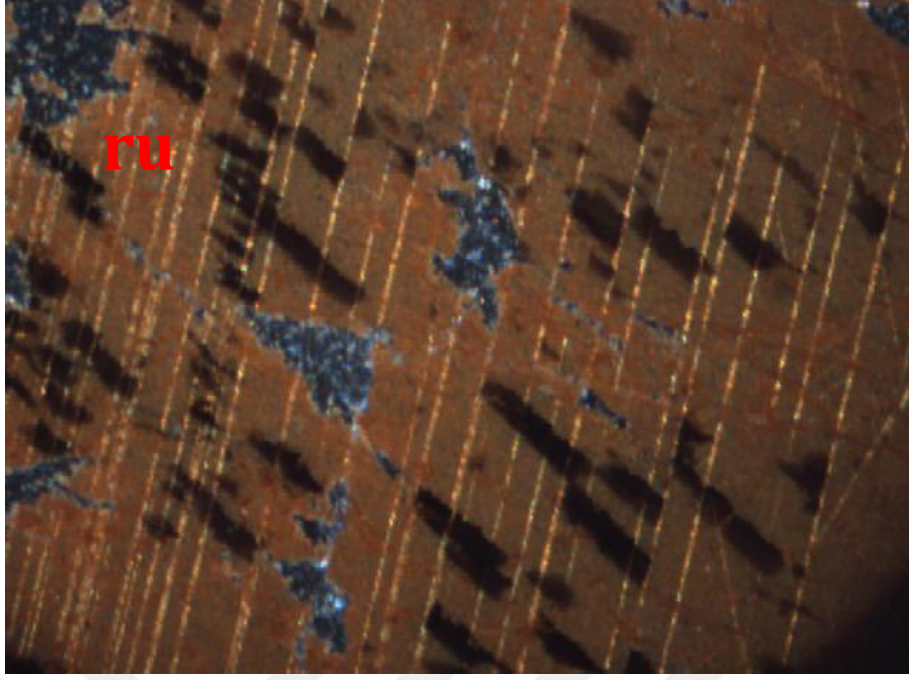
Opak mineraller (hematit, ilmenit, magnetit) (MTA-raporu) şistli kayalarda kuvars, biyotit, granat, muskovit, feldspat mineralleri ile beraber az oranda görülmektedir. Rutil minerali içerisinde ise dilimler ile paralel ve dilinimleri dik kesecek şekilde yönelme göstermektedir (Şekil 4.44.-4.45. ve 4.46.).



Şekil 4.44. Rutilli kuvars içerisindeki rutil (ru) (Çift Nikol, 4X).

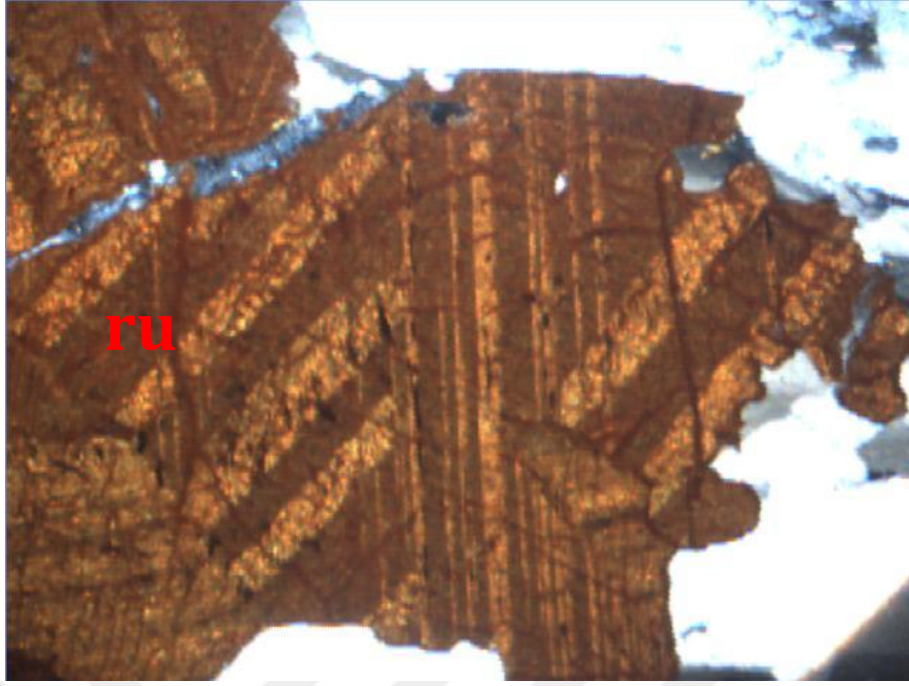


Şekil 4.45. Rutilli kuvars içerisindeki rutil (ru) (Çift Nikol, 4X).

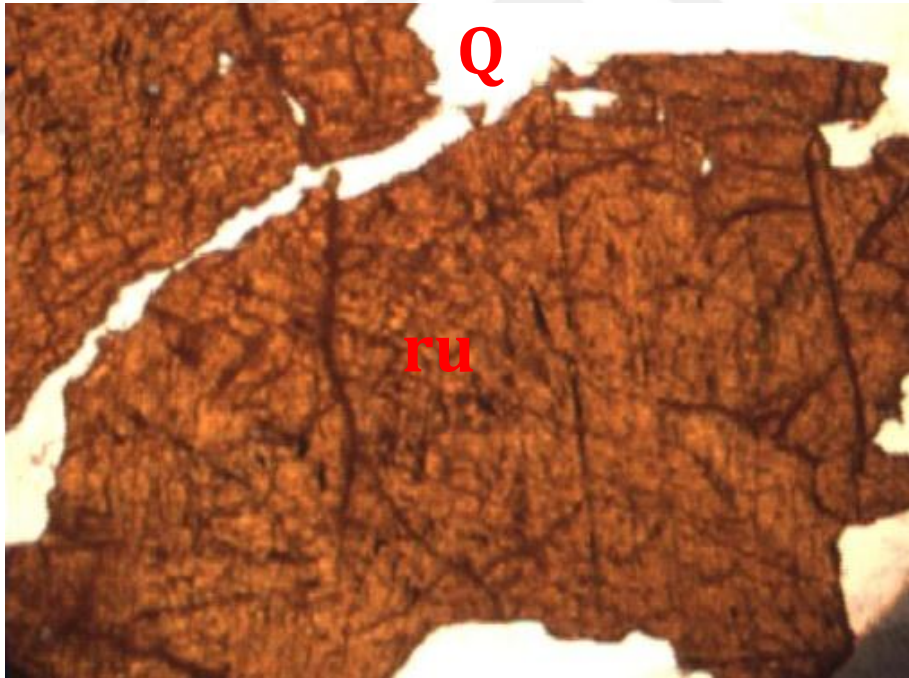


Şekil 4.46. Rutilli kuvars içerisindeki rutil ve opak mineraller (Çift Nikol, 4X).

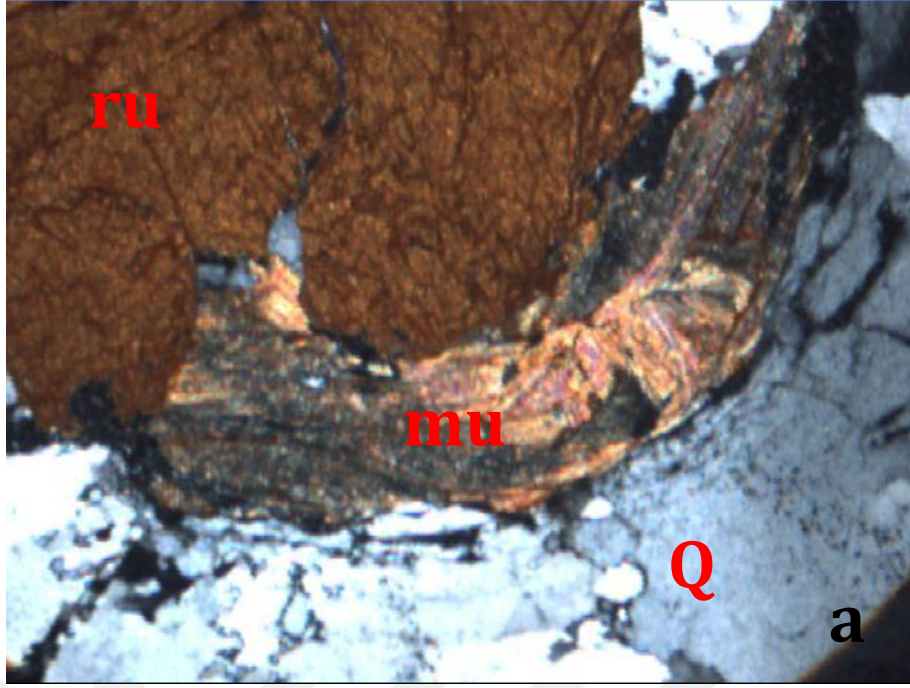
ÇN'de dirsek ikizlenmesi ve polisentetik ikizlenmesi (Şekil 4.47.) net bir şekilde gözlemlenmesine rağmen, rutil mineralinin T.N'de bu optik özelliği gözlenmez (Şekil 4.48.). İnce kesit içerisindeki rutil genelde kuvarsla birlikte izlenmesine rağmen çok olmamakla beraber muskovit ile de birlikte bulunabilmektedir (Şekil 4.49.).



Şekil 4.47. Rutilli kuvars içerisindeki rutil (ru) ikizlenmesi (Çift Nikol, 4X).

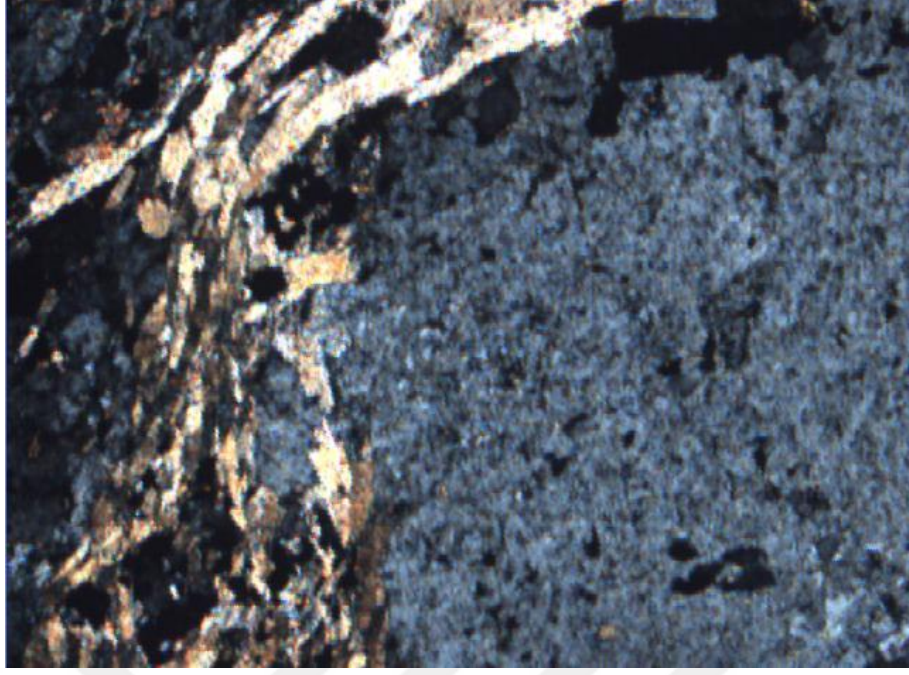


Şekil 4.48. Rutilli kuvars (Q) içerisindeki rutil (ru) (Tek Nikol, 4X).

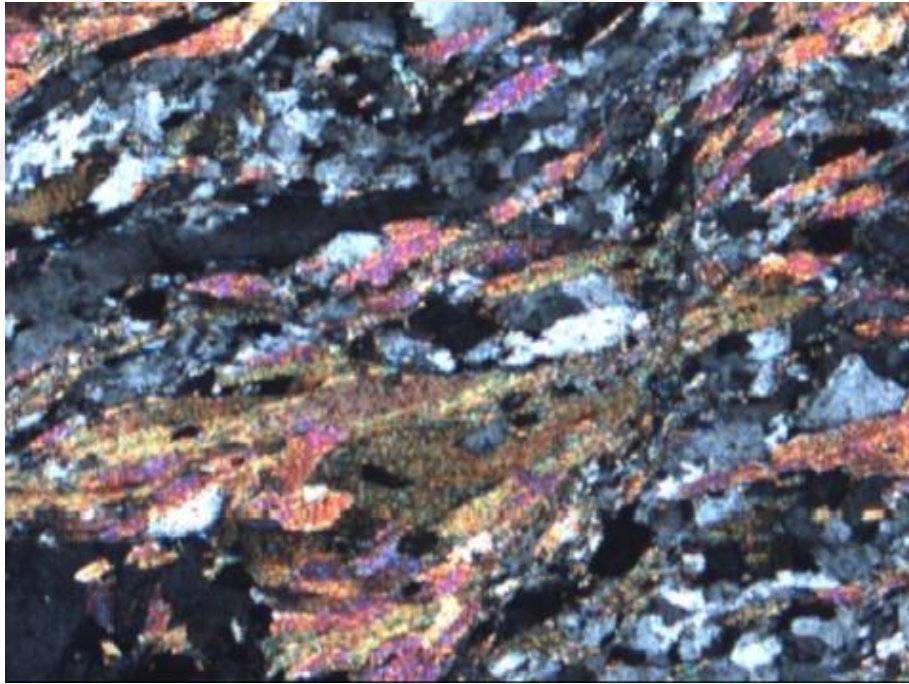


Şekil 4.49. Rutilli kuvars içerisindeki rutil (ru), muskovit (mu) ve kuvars (Q) (a: (Çift Nikol, 4X), b: (Tek Nikol, 4X)).

Kayaç örnekleri geçirdikleri metamorfizmanın şiddeti ile farklı doku ve yapılar göstermektedir. Şistli doku, metamorfik kayaçların hepsinde belirgindir. Mollasüleymanlı mevkisinden alınan kayaç örneklerinin ince kesitlerinde porfiroblastik doku (Şekil 4.50.) ve nematogranoblastik doku (Şekil 4.51.) net bir şekilde gözlenmektedir.

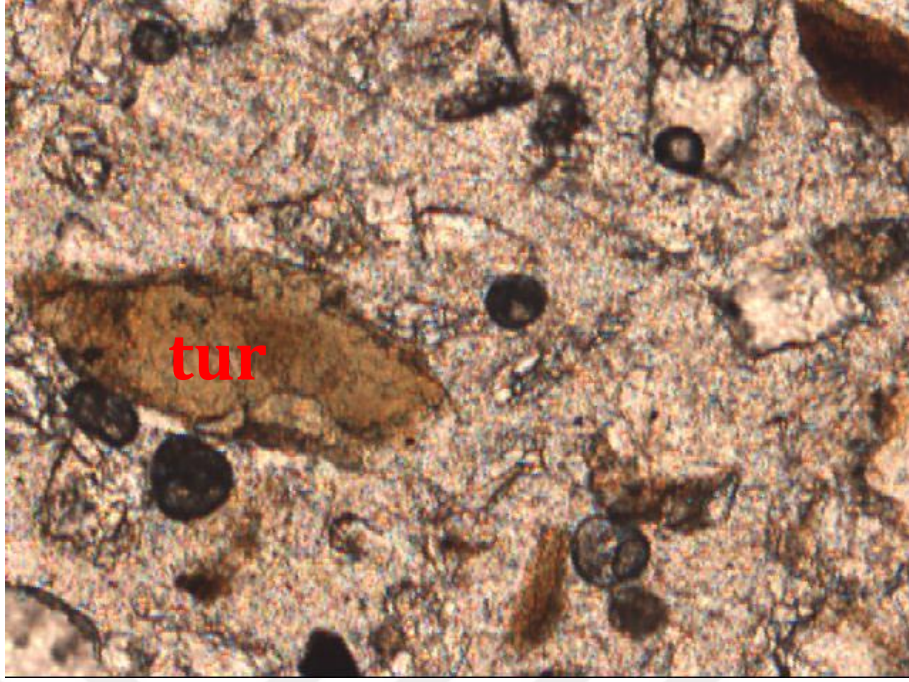


Şekil 4.50. Şist içerisinde gözlenen porfiroblastik doku (Çift Nikol, 4X).



Şekil 4.51. Şist içerisinde gözlenen nematogranoblastik doku (Çift Nikol, 4X).

Plaserlerden alınan kırıntılı örnekler kesitlerdeki minerallerle yaklaşık aynı mineral parajenezini sunmasına rağmen optik özellikleri çok net bir şekilde saptanamamıştır (Şekil 4.52.).



Şekil 4.52. Plaser içerisindeki turmalin (tur) (Tek Nikol, 10X).

4.6.2. X-Işını Kırınımı Analizleri

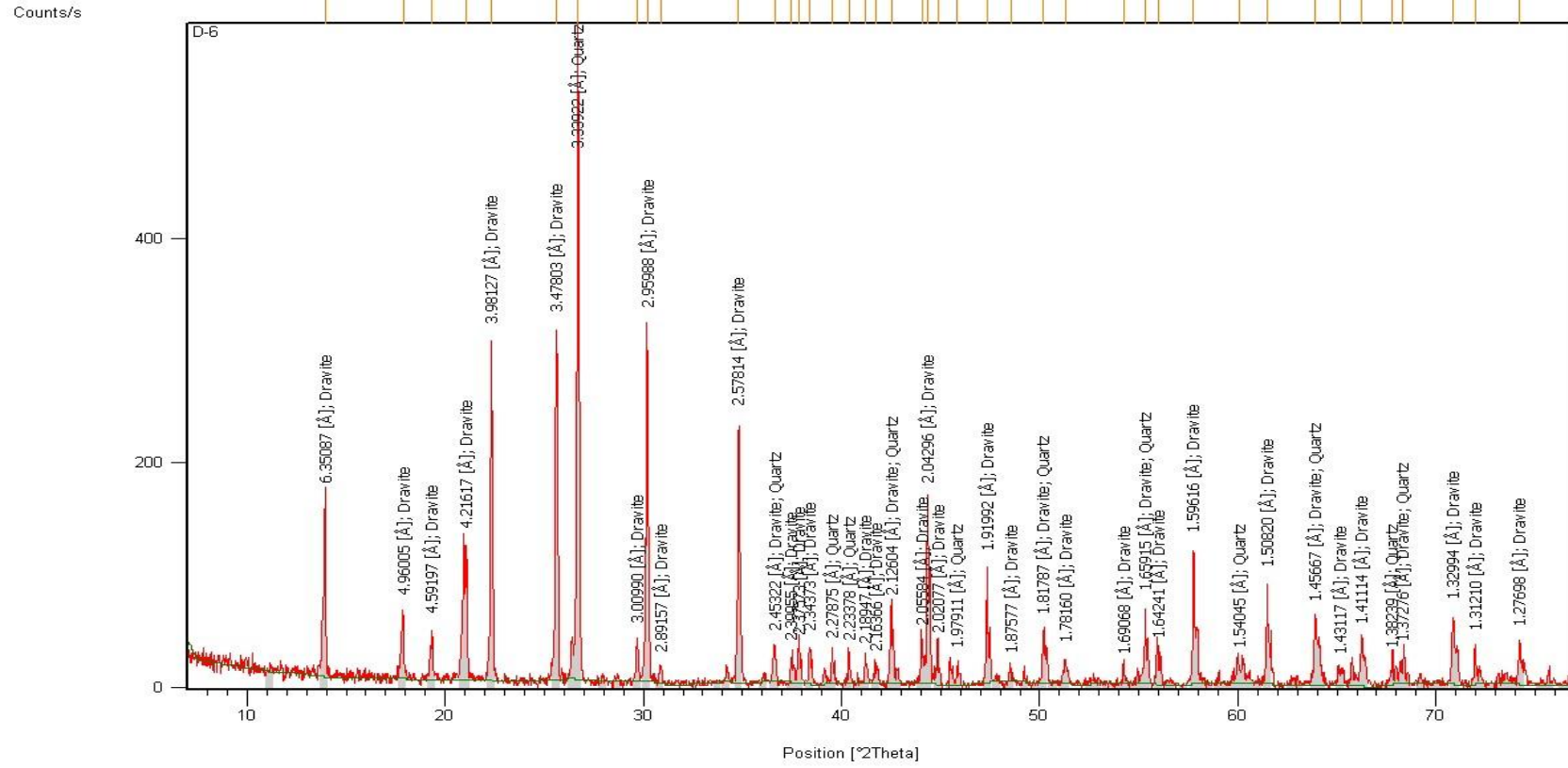
Sahada farklı lokasyonlardan derlenen 2 adet dere kumu numunesi (HH-1 ve HH-2) ve 6 adet kayaç numunesi (D-6,MS-4,MS-7,HH-4,GH-2 ve ED-3) (Çizelge 4.5.) için X-Işını Difraktometre analizi Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji yeraltı Suyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarında, Panalytical X'pert Pro MPD modelindeki XRD cihazında gerçekleştirilmiş olup, çalışma amacına uygun olacak şekilde 45 kV ve 40 mA'da 7° ile 76°'lik açı aralıkları kullanılmıştır. Bu analiz sonuçları ile kayaçların mineralojik olarak kuvarsitlerin içerisinde rutil, ilmenit ve turmalin minerali olan dravit bulunmuştur. İlmenitli kuvarsit (ED-3) numunesinde diğer ilmenitli numuneden farklı olarak parajenezinde kuvars ve ilmenitin yanı sıra ortoklas, muskovit, albit ve kaolen mineralinin de bulunduğu görülmüştür. Plaser örneklerinde ise; kuvars, albit, kaolen, muskovit, ortoklas mineralleri gözlenmektedir (Çizelge 4.6.) (Şekil 4.53.-4.54.-4.55.-4.56-4.57.-4.58.-4.59.-4.60.).

Çizelge 4.5. XRD analizi yapılan örneklerin numune numaraları ve numune içeriği.

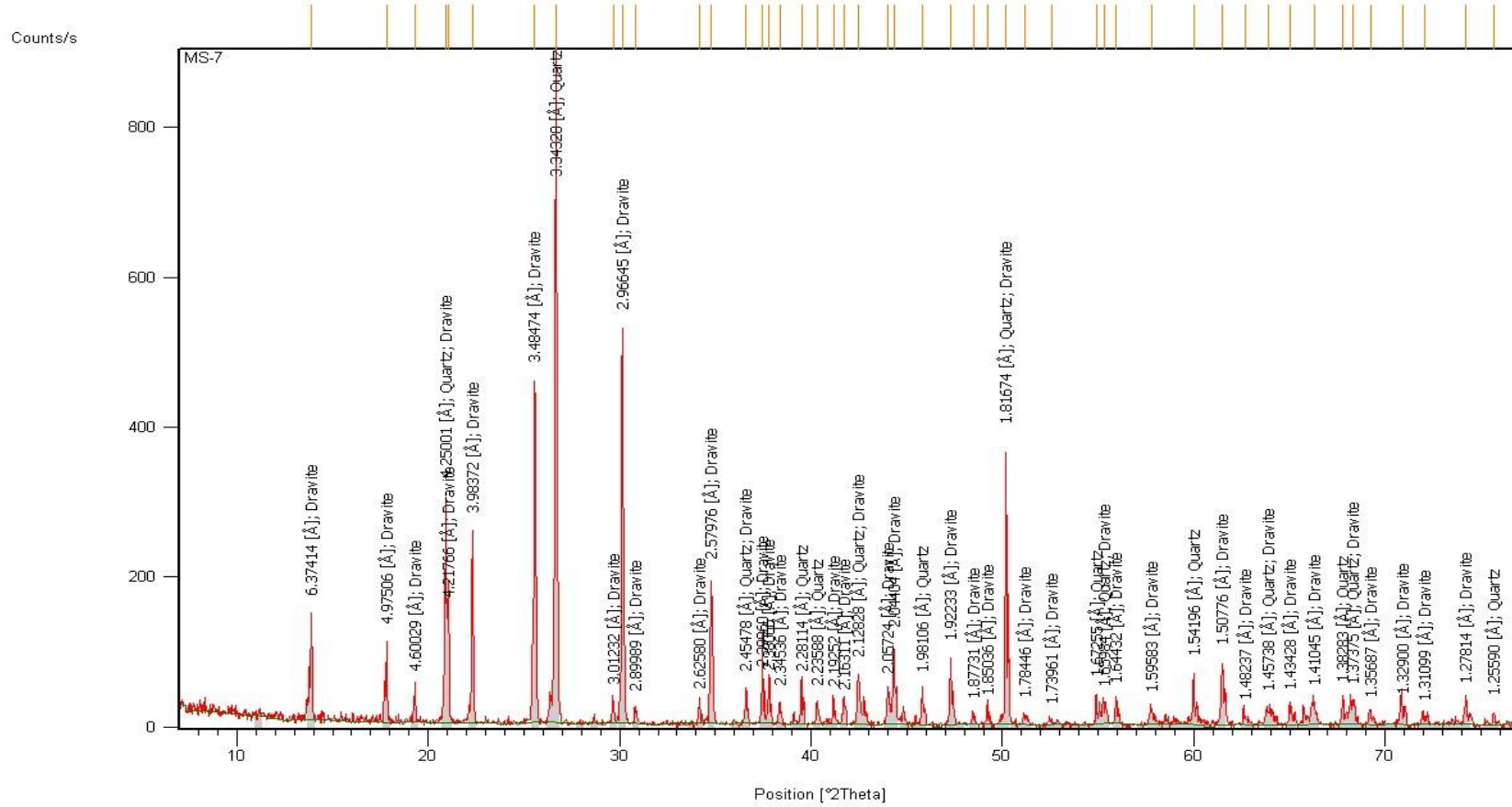
Numune No	Numune Türü
D-6	Turmalinli kuvarsit
MS-4	İlmenitli kuvarsit
MS-7	Turmalinli kuvarsit
HH-4	Rutil ve ilmenitli kuvarsit
GH-2	Kuvarsit
ED-3	İlmenitli kuvars
HH-1	Dere kumu numunesi
HH-2	Dere kumu numunesi

Çizelge 4.6. Sahadan alınan numunelerin XRD analizi ile elde edilen mineral bolluğu (***) (Minerallerin XRD sonuçlarına göre pik sayıları).

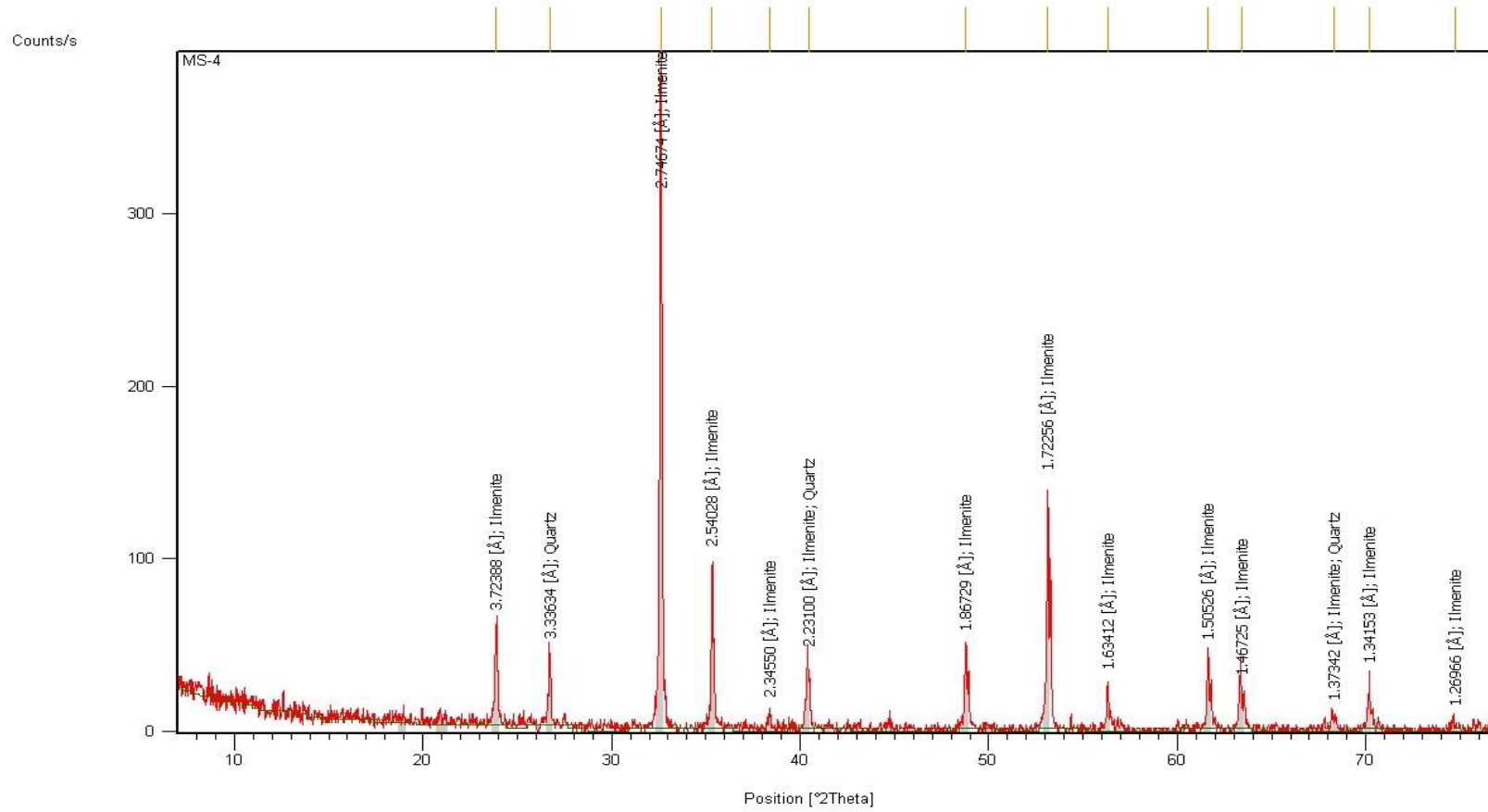
Örnek No	Kuvars	İlmenit	Albit	Kaolen	Muskovit	Ortoklas	Dravit	Rutil
D-6	*****						*****	
MS-7	*****						*****	
MS-4	****	*****						
HH-4	***	***						*****
HH-2	*****		*****	*****	****	*****		
HH-1	*****		*****	*****	****	*****		
GH-2	*****							
ED-3	*****	*****		*****	*****	*****		



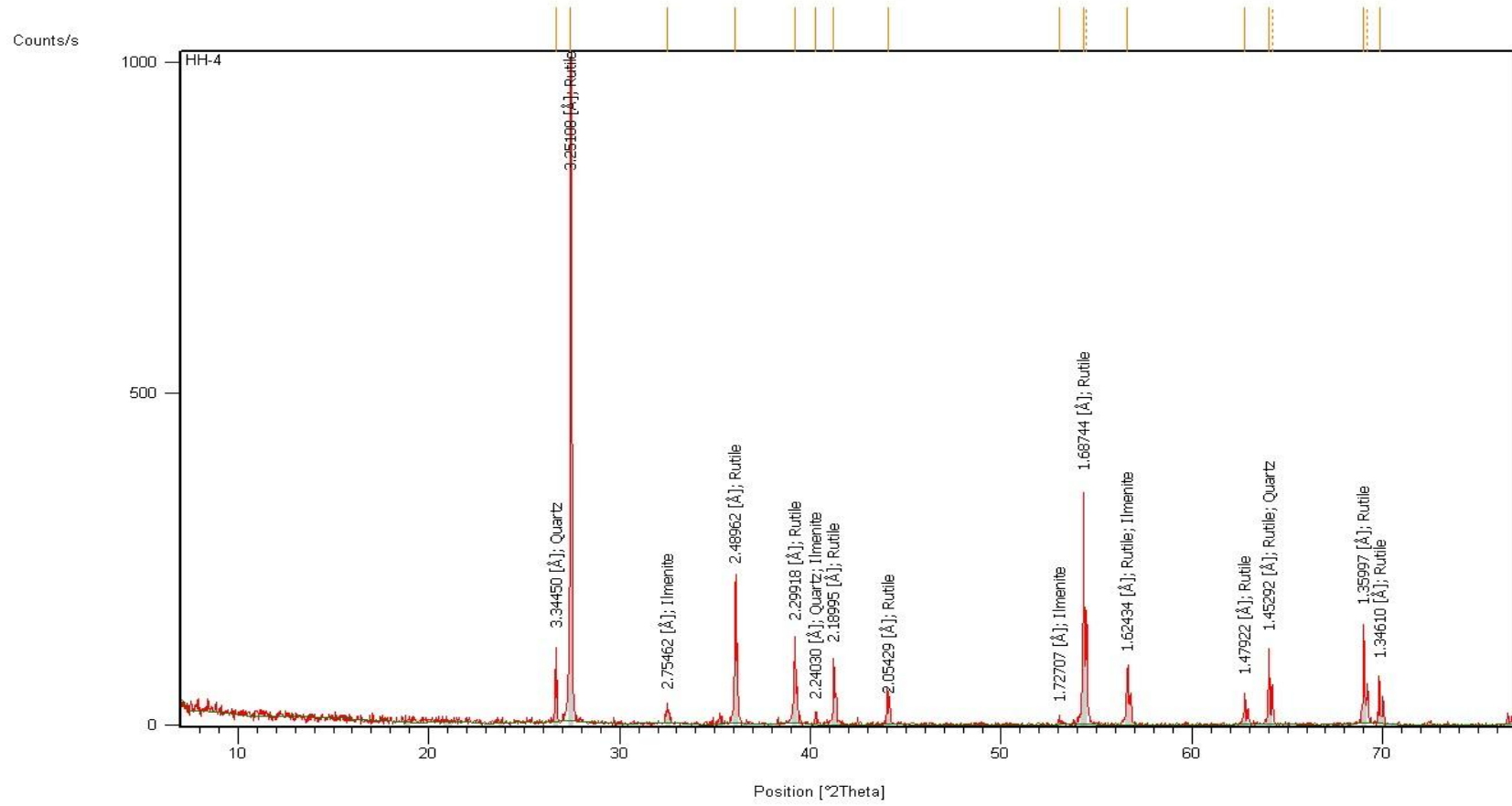
Şekil 4.53. D-6 kayaç numunesinin turlalin (dravite) ve kuvars içeriğini gösteren XRD analiz sonucu



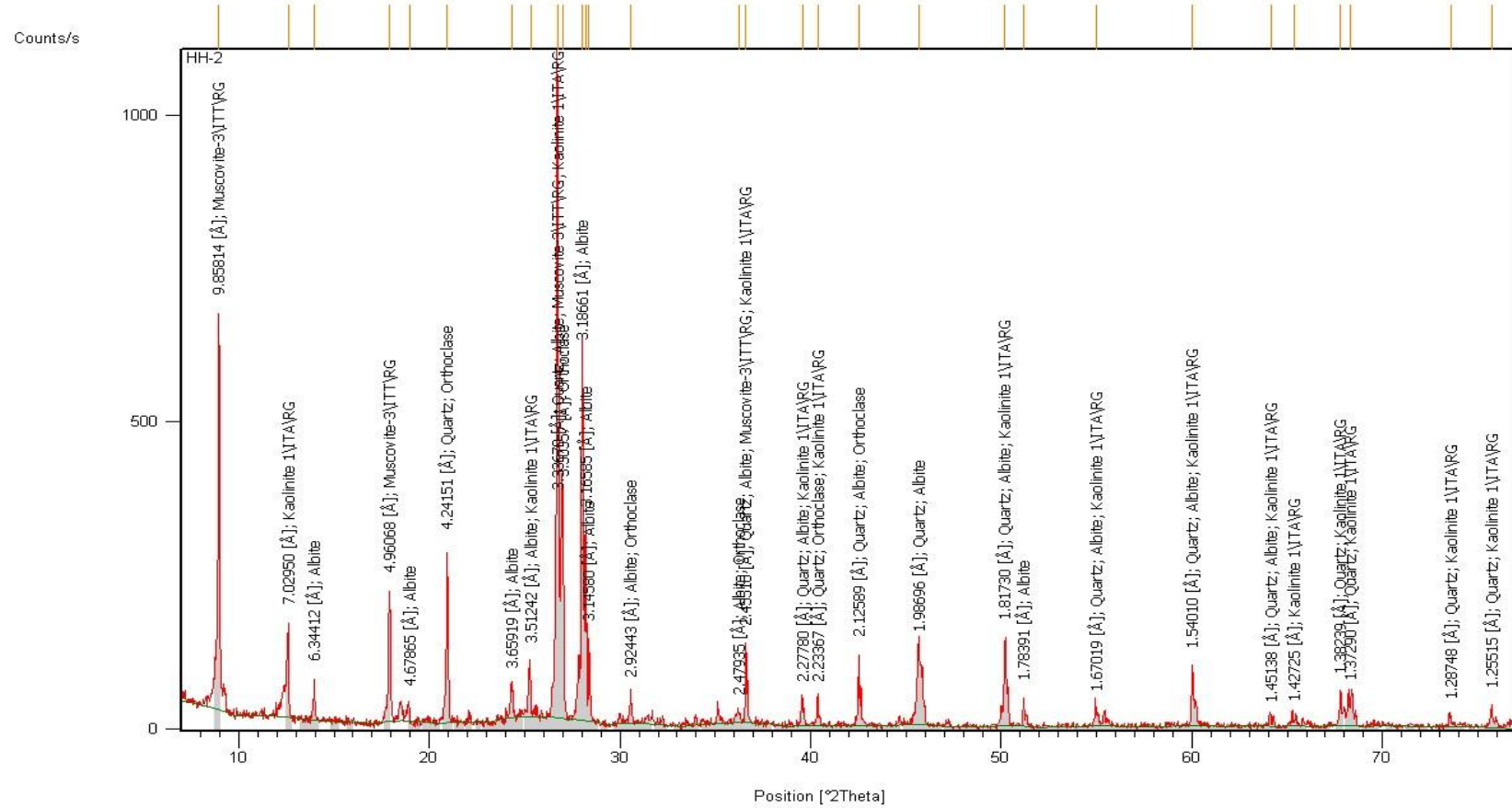
Şekil 4.54. MS-7 kayac numunesinin turmalin (dravite) ve kuvars içeriğini gösteren XRD analiz sonucu



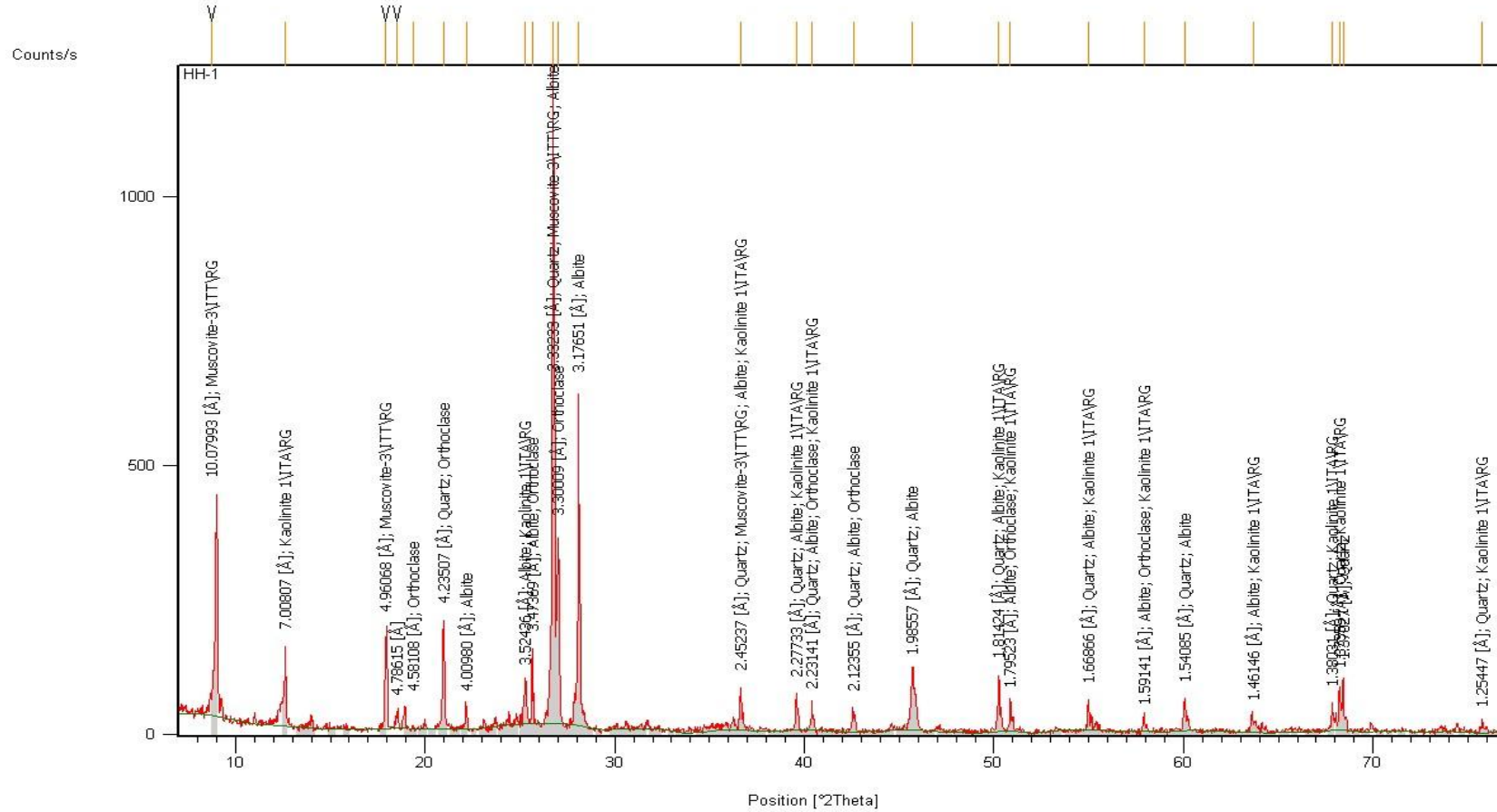
Şekil 4.55. MS-4 kayaç numunesinin ilmenit ve kuvars içeriğini gösteren XRD analiz sonucu



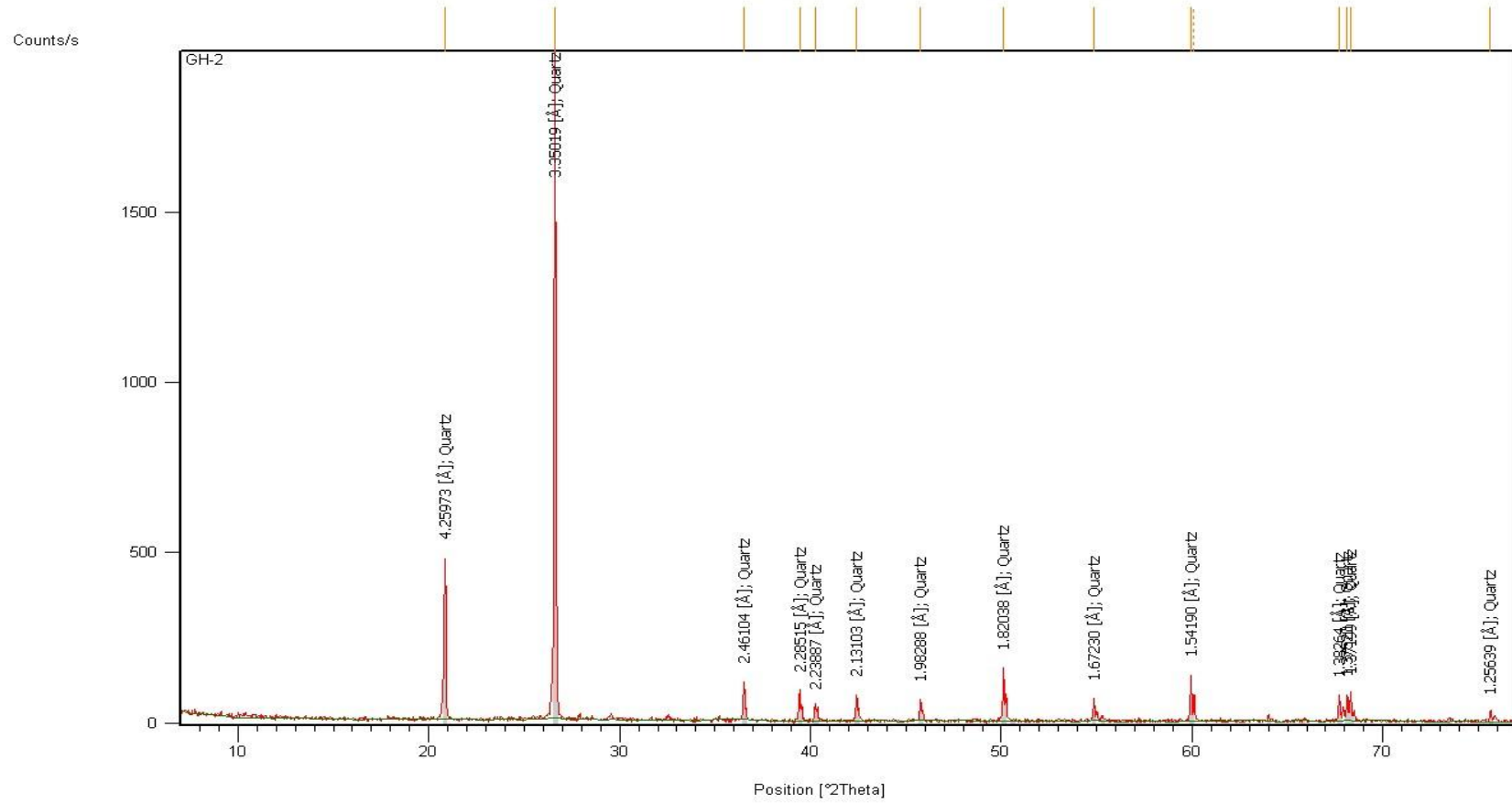
Şekil 4.56. HH-4 rutil taneleri numunesinin rutil ve ilmenit içeriğini gösteren XRD analiz sonucu



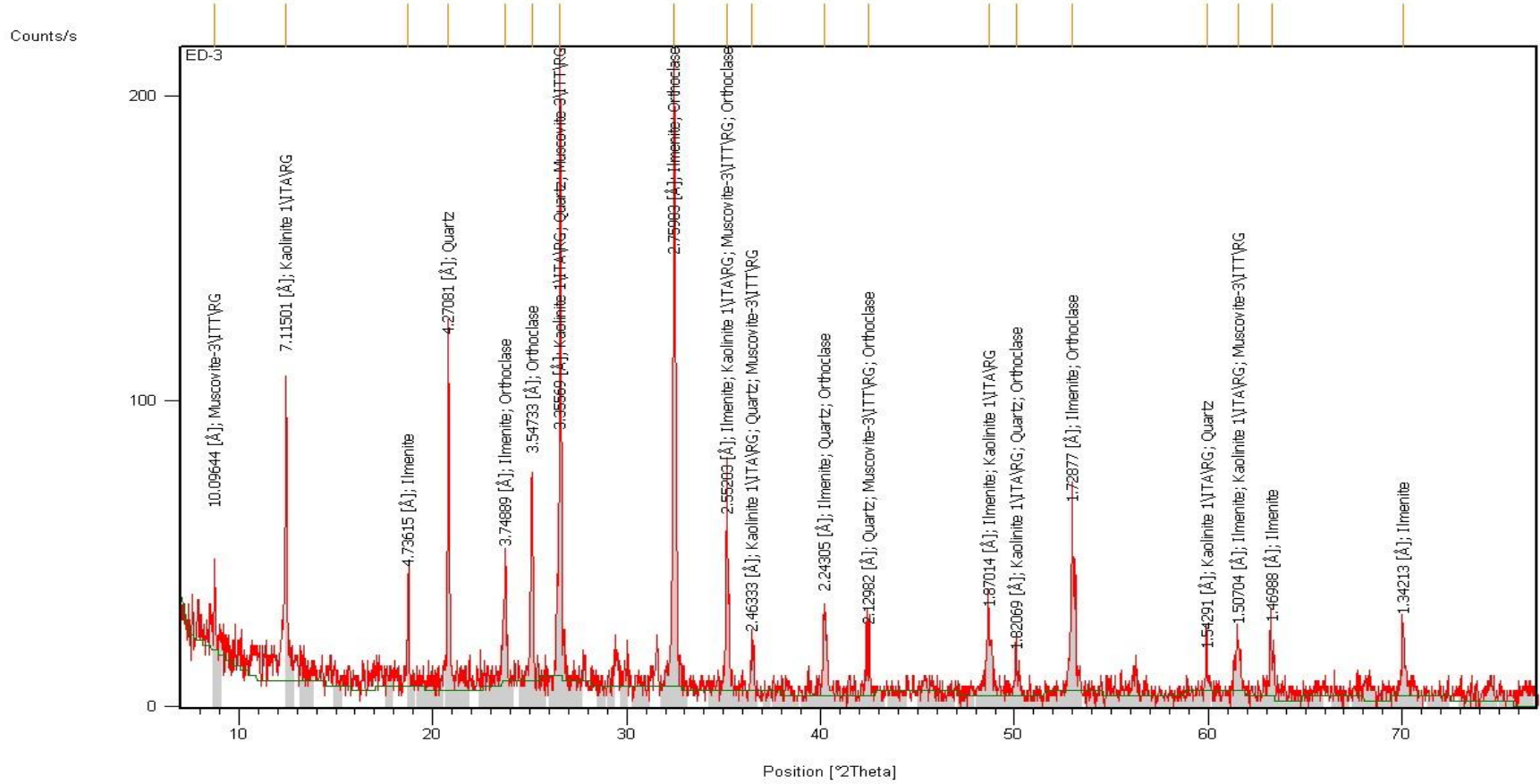
Şekil 4.57. HH-2 dere kumu numunesinin muskovit, kaolen, ortoklas, albit ve kuvars içeriğini gösteren XRD analiz sonucu



Şekil 4.58. HH-1 dere kumu numunesinin albit, muskovit kaolen, ortoklas ve kuvars içeriğini gösteren XRD analiz sonucu



Şekil 4.59. GH-2 kayaç numunesinin kuvars içeriğini gösteren XRD analiz sonucu



Şekil 4.60. ED-3 ilmenitli kuvars numunesinin ilmenit, muskovit, kuvars, ortoklas ve kaolen içeriğini gösteren XRD analiz sonucu

4.7. Çalışma Alanındaki Rutillerin Jeokimyasal Özellikleri

Çalışma alanından derlenen 4 adet rutil ve 4 adet rutilli kuvars damarı, 1 adet kuvars damarı ve 1 adet turmalinli kuvars damarı olmak üzere toplam 10 adet örneğin major oksit, iz element ve nadir toprak elementleri analizleri, Kanada ACME Laboratuvarlarında ICP-MS yöntemiyle yapılmış olup, elde edilen sonuçlar çizelgede sunulmuştur (Çizelge 4.7., 4.8. ve 4.11.).

4.7.1. Major Oksitler

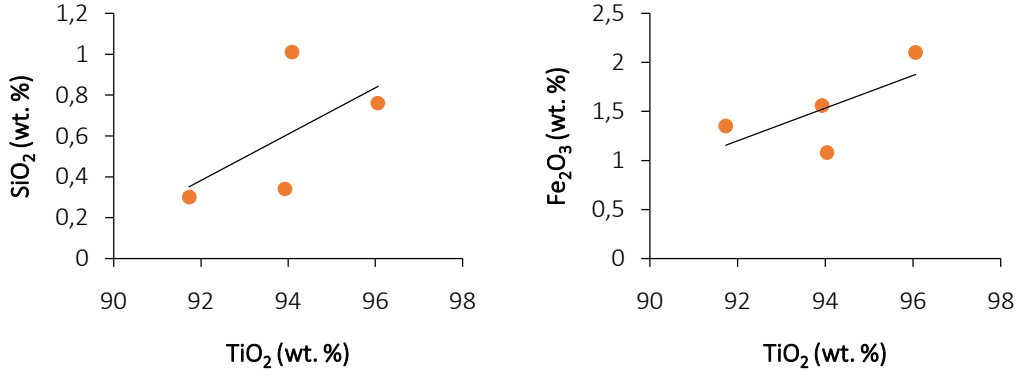
Çizelge 4.7.'deki verilere göre D-2a, E-3, E-6 ve HH-2 numaralı rutil örneklerindeki TiO_2 değerleri %91,73 ve %96,06 arasında olup başta SiO_2 olmak üzere diğer major oksitler ise düşük değerler göstermektedir. Bununla birlikte, yine bu örneklerin Fe_2O_3 değerleri sırasıyla %1,08 ve %2,1 arasında ölçülmüştür.

D-2c, ED-3, HH-4, GE-1, D-6 ve GH-2 numaralı kuvars damarı örneklerindeki SiO_2 değerleri ise sırasıyla %96,12, %93,99, %91,8, %96,76, %60,41 ve %98,55 olarak tespit edilmiştir. ED-3, HH-4, EG-1 ve D-6 dışında kalan örneklerin ise diğer major oksit elementleri görece düşük değerlere sahiptir. D-6 numaralı turmalinli kuvars damarı örneğinde gözlenen yüksek Al_2O_3 ve MgO değerlerinin (%21,39 Al_2O_3 ve %5,46 MgO) aynı örnek üzerinde yapılan XRD analizi sonucuna göre turmalin grubu minerallerden olan dravitten kaynaklandığı tespit edilmiştir ve yine bu örnekteki Fe_2O_3 değerinin ise diğer örneklerle göre yüksek (%7,75) olduğu belirlenmiştir. ED-3, HH-4 numaralı rutilli kuvars damarı örnekleri diğer major oksit değerlerine göre görece yüksek çıkan Fe_2O_3 ve TiO_2 değerleri (ED-3: %2,21 Fe_2O_3 ve %2,17 TiO_2 , HH-4: %1,36 Fe_2O_3 ve %6,38 TiO_2) ile GE-1 numaralı rutilli kuvars damarı örneğindeki görece yüksek TiO_2 değerinin (%2,06) yine bu örnekler üzerinde ve aynı lokasyondan alınmış diğer örnekler üzerinde yapılan XRD analiz sonuçları değerlendirilerek söz konusu bu major oksit değerlerinin ilmenitten kaynaklandığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. Çalışma sahasındaki rutilli lokasyonlardan derlenen rutil, rutilli kuvars damarı, kuvars damarı ve turmalinli kuvars damarı örneklerinin ana oksit analiz içerikleri.

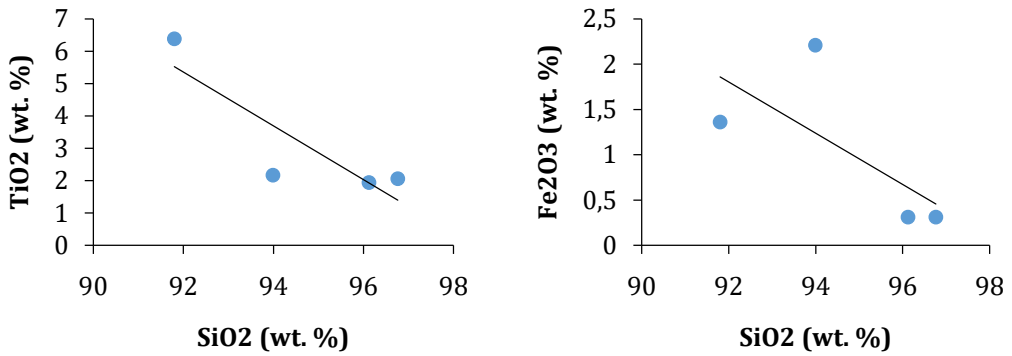
Elementler	Ded.Lim.	Rutil				Rutilli Kuvars Damarı				Kuvars Damarı	Turmalinli Kuvars Damarı
		D-2a	E-3	E-6	HH-2	D-2c	ED-3	HH-4	GE-1	GH-2	D-6
SiO ₂	0,01	1,01	0,34	0,30	0,76	96,12	93,99	91,8	96,76	98,55	60,41
Al ₂ O ₃	0,01	0,51	0,24	0,17	0,31	0,35	0,61	0,08	0,05	0,08	21,39
Fe ₂ O ₃	0,04	1,08	1,56	1,35	2,10	0,31	2,21	1,36	0,31	0,94	7,75
MgO	0,01	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,01	<0,01	0,01	5,46
CaO	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,43	0,17	<0,01	<0,01	<0,01	0,35
Na ₂ O	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,15	<0,01	<0,01	0,03	1,52
K ₂ O	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,03	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,04
TiO ₂	0,01	94,09	93,93	91,73	96,06	1,94	2,17	6,38	2,06	0,02	0,30
P ₂ O ₅	0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,32	0,09	0,02	0,01	0,01	0,07
MnO	0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,03	<0,01	0,03	0,01	<0,01	0,05	0,02
Cr ₂ O ₃	0,002	0,056	0,071	0,060	0,044	<0,002	<0,002	0,005	<0,002	<0,002	<0,002
Ni (ppm)	20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Sc (ppm)	1	6	5	5	6	<1	2	<1	<1	<1	26
Toplam/C	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05
Toplam/S	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03
Ateş Kaybı	-5,1	0,3	0,1	0,4	0,1	0,5	0,6	0,3	0,8	0,3	2,5
Toplam	0,01	97,08	96,24	93,97	99,51	100,01	100,02	99,99	100,01	100,01	99,82

Şekil 4.61.'de çalışma sahasından derlenen rutil örneklerinin SiO_2 ve Fe_2O_3 değerlerine karşılık TiO_2 değerini gösteren varyasyon diyagramlarında hem SiO_2 'nin hem de Fe_2O_3 'nin TiO_2 ile pozitif bir korelasyon gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.61. Rutil örneklerinin SiO_2 ve Fe_2O_3 değerlerine karşılık TiO_2 değerlerini gösteren varyasyon grafikleri.

Bununla birlikte, Şekil 4.62.'de çalışma sahasından derlenen rutilli kuvars damarı örneklerinin TiO_2 ve Fe_2O_3 değerlerine karşılık SiO_2 değerlerini gösteren varyasyon diyagramlarında ise her iki major oksitde SiO_2 ile negatif bir korelasyon sunmaktadır.



Şekil 4.62. Rutilli kuvars damarı örneklerinin TiO_2 ve Fe_2O_3 değerlerine karşılık SiO_2 değerlerini gösteren varyasyon grafikleri.

4.7.2. İz Elementler

Rutil genel itibariyle TiO_2 den oluşmaktadır. Bununla birlikte, rutil jeokimyası için önem arz eden çeşitli iz elementleri de bünyesinde bulundurmaktadır. Bu konuda yapılmış çalışmalar göz önüne alındığında, bu iz elementler içerisinde en önemlilerinin Nb, Ta, V, W, Cr, Zr, Fe, Mg, Al ve Sn olduğu görülmektedir. Bunun yanında, özellikle 1000 ppm'in üzerindeki Fe'in metamorfik kökeni temsil etmesi açısından Fe'de rutil jeokimyası için önemli bir iz elementtir (Zack vd., 2004).

Çizelge 4.8.'deki iz element değerleri göz önüne alındığında D-2a, E-3, E-6 ve HH-2 numaralı rutil örneklerinde başta Nb (min. 1329 ppm; max. 1682,4 ppm; ort. 1538,05 ppm) olmak üzere V (min. 921 ppm; max. 1048 ppm; ort. 989,7 ppm), W (min. 172,8 ppm; max. 246,8 ppm; ort. 203,8 ppm), Ta (min. 75,5 ppm; max. 119 ppm; ort. 99,7 ppm), Zr (min. 57,2 ppm; max. 78,6 ppm; ort. 68,5 ppm) ve Sn (min. 59 ppm; max. 68 ppm; ort. 63,7 ppm) iz element değerleri yüksek konsantrasyon sunmaktadır. Bununla birlikte, Ba, Be, Co, Cs, Ga, Rb, Sr, Th ve U değerlerinin ise çok düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Rutil örneklerindeki Hf değerleri ise ortalama 3,5 ppm olup yüksek konsantrasyona sahip diğer iz elementlere nazaran düşük bir konsantrasyon sunmaktadır. Rutil örnekleri içerisinde D-2a ve HH-2 numaralı örneklerdeki Ba içeriği ise sırasıyla 9 ppm ve 18 ppm'lik değerleri ile yüksek konsantrasyonlara sahiptir ve diğer iz elementlerin yanında çok düşük konsantrasyonlardadır. Diğer rutil örneklerinin Ba içerikleri ile karşılaştırıldığında yüksek değerler sunmaktadır.

Rutilli kuvars damarı örnekleri, Çizelge 4.8.'deki değerler göz önüne alındığında rutil örneklerine nazaran düşük iz element konsantrasyonları göstermektedir. Rutil örneklerindeki en yüksek konsantrasyona sahip iz element olan Nb, kuvars örneklerinde 0,9 - 76,4 ppm arasında değişen değerlere sahiptir. Bununla birlikte, vanadyum; GH-2 numaralı kuvars damarı örneği dışında geri kalan tüm rutilli kuvars damarı örneklerinde ve ayrıca, turmalinli kuvars damarı örneğinde görece yüksek konsantrasyonlara sahiptir ve rutilli kuvars damarlarında 10 - 71 ppm arasında değişen değerlere ve turmalinli kuvars

damarında ise 230 ppm'lik bir değere sahiptir. Zr ise ortalama 2,6 ppm'lik bir değer sunmaktadır. Ayrıca, D-6 numaralı turmalinli kuvars damarı örneği 277,8 ppm Sr, 39,4 ppm Ga ve 20,4 ppm'lik Co değeri göstermektedir. D-2c, D-6 ve GH-2 numaralı rutilli kuvars damarı, turmalinli kuvars damarı ve kuvars damarı örneklerindeki Ba değerleri, diğer örneklere nazaran yüksek olup sırasıyla 20 ppm, 22 ppm ve 40 ppm'lik değerlere sahiptir.

Rutil tanelerinin Fe₂O₃ değerleri üzerinden (Çizelge 4.7.) çekilen Fe'in ppm değerlerinin ise ortalama 10648,73 ppm olması, rutildeki 1000 ppm'in üzerindeki demir içeriğinin metamorfik kökeni temsil ettiği (Zack vd., 2004) göz önüne alındığında önem arz etmektedir.

Çizelge 4.9.'de ise çalışma sahasından derlenen rutilerin iz element sonuçlarıyla Dünya'nın çeşitli bölgelerinde ve farklı zamanlarda gerçekleştirilmiş benzer çalışmaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Cr, V, Ta, Zr, Sn ve Hf değerlerinin, Tonje vd. (2014) güney Kamerun Pan-Afrikan Kemerindeki Matomb bölgesinde, Yaounde grubundaki metapelitler, amfibolitler ve pegmatitlerden gelen alüvyal rutiler üzerinde yapmış olduğu çalışma ile elde ettiği verilerle uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, Nb değerlerinin ise Bracciali vd. (2013)'de Kanada Kalkanı'ndaki granolit fasiyesi kemerlerindeki kuvarsitlerden gelen rutiler üzerinde yaptıkları çalışmalarla kıyaslandığında birbirine yakın olduğu görülmektedir. Yine Meinhold vd. (2008)'de Yunanistan'ın Chios adasındaki farklı jeolojik yaşlara sahip, metamafik ve metapelitik litolojilerdeki birimlerden gelen rutiler üzerinde yaptıkları analiz sonuçlarına göre elde ettikleri Nb değerlerinin çalışma sahasındaki rutilerin Nb değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Bunun yanında, W, Sn ve Al değerlerinin ise diğer tüm çalışmalarla kıyaslandığında yüksek değerler almış olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.8. Çalışma sahasındaki rutilli sahalardan derlenen rutil, rutilli kuvars damarı, kuvars damarı ve turmalinli kuvars damarı örneklerinin iz element analiz içerikleri (Rutil, rutilli kuvars damarı ve kuvars damarı örneklerindeki Cr, Al, Mg ve Fe değerleri Çizelge 4.7.'deki major oksit % değeri üzerinden ppm cinsinden değerinin bulunması yoluyla elde edilmiştir.).

Elementler	Ded. Lim.	Rutil				Rutilli Kuvars Damarı				Kuvars Damarı	Turmalinli Kuvars Damarı
		D-2a	E-3	E-6	HH-2	D-2c	ED-3	HH-4	GE-1	GH-2	D-6
Ba (ppm)	1	9	<1	<1	18	20	5	3	2	40	22
Be (ppm)	1	<1	<1	<1	2	2	<1	<1	<1	<1	3
Co (ppm)	0,2	0,5	0,7	0,4	1,1	0,2	1,3	0,8	<0,2	2,2	20,4
Cs (ppm)	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ga (ppm)	0,5	1,3	0,5	0,9	2,3	0,9	1,2	<0,5	<0,5	<0,5	39,4
Hf (ppm)	0,1	3,8	3,7	3,8	2,7	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1
Nb (ppm)	0,1	1682,4	1669,0	1329,0	1471,8	42,0	5,0	76,4	29,4	0,9	1,9
Rb (ppm)	0,1	0,2	<0,1	<0,1	1,4	1,6	0,7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sn (ppm)	1	68	66	59	62	<1	<1	4	1	<1	4
Sr (ppm)	0,5	1,3	0,9	0,6	3,2	20,1	10,3	1,5	<0,5	3,1	277,8
Ta (ppm)	0,1	110,8	119	93,5	75,5	2,7	0,3	6,4	2,5	<0,1	0,1
Th (ppm)	0,2	0,2	<0,02	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,3
U (ppm)	0,1	0,4	0,5	0,4	0,6	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5
V (ppm)	8	984	1048	1006	921	25	10	71	21	<8	230
W (ppm)	0,5	172,8	221,6	246,8	174,1	5,2	<0,5	11,5	6,8	<0,5	<0,5
Zr (ppm)	0,1	78,6	70,8	67,5	57,2	3,3	2,8	5,1	1,6	1,5	1,4
Cr (ppm)	-	383,1	485,7	410,5	301,0	-	-	34,2	-	-	-
Al (ppm)	-	2699,1	1270,2	899,7	1640,6	1852,3	3228,4	423,4	264,6	423,4	-
Mg (ppm)	-	241,2	180,9	120,6	180,9	120,6	241,2	60,3	-	60,3	-
Fe (ppm)	-	7553,79	10911,03	9442,2	14687,9	2168,2	15457,2	9512,1	2168,2	6574,5	-
Nb/Ta	-	15,1	14,0	14,2	19,4	15,5	16,6	11,9	11,7	-	19,0

Çizelge 4.9. İz element değerlerinin (ppm) daha önce yapılmış çalışmalardaki iz element değerleriyle karşılaştırılması (Tonje vd., 2014: Güney Kamerun'da Pan-Afrikan Kemerindeki Matomb Bölgesinde bulunan alüvyal rutillerin iz element sonuçları; Bracciali vd., 2013: Quebec ve Snowbird tektonik zonunun Kuzey Cape Smith Kemerini olarak adlandırılan Kanada Kalkanı'nın granülit fasiyesi kemerinden gelen kuvarsitlerdeki rutillerin iz element sonuçları; Meinhold vd., 2008: Yunanistan'ın Chios adasındaki farklı jeolojik yaşlardaki birimlerden alınan rutillerin iz element sonuçları; Zack vd., 2002: Orta Alpler'deki Trescolmen bölgesinde bulunan eklojitlerdeki rutillerin iz element değerleri.).

		Cr	Nb	V	Ta	Zr	W	Sn	Al	Hf
Bu araştırma	Min.	301,00	1329,00	921,00	75,50	57,20	172,80	59,00	899,70	2,70
	Max.	485,70	1669,00	1048,00	119,00	78,60	246,80	68,00	2699,10	3,80
	Ort.	395,07	1538,05	989,75	99,70	68,52	203,82	63,75	1627,40	3,50
Tonje vd., (2014)	Min.	333,00	387,00	435,00	77,74	29,00	17,44	41,25	-	1,29
	Max.	458,00	969,00	1343,00	100,04	95,00	58,99	56,55	-	3,77
	Ort.	397,37	714,12	763,37	88,02	52,75	36,70	48,23	-	2,25
Bracciali vd., (2013)	Min.	590,00	1140,00	1680,00	19,00	602,00	5,00	26,00	5,00	36,00
	Max.	1450,00	1850,00	6150,00	177,00	1260,00	803,00	35,00	89,00	67,00
	Ort.	971,46	1460,71	2972,85	105,21	836,39	221,32	30,92	42,71	51,28
Meinhold vd., (2008)	Min.	246,00	70,00	836,00	-	111,00	-	-	53,00	-
	Max.	8888,00	5697,00	4480,00	-	5256,00	-	-	1530,00	-
	Ort.	1948,62	1493,18	1987,56	-	1375,25	-	-	147,18	-
Zack vd., (2002)	Min.	142,00	109,00	1293,00	3,06	84,00	17,00	27,00	79,00	3,00
	Max.	16421,00	786,00	2008,00	48,20	245,00	235,00	87,00	293,00	11,00
	Ort.	3302,40	391,00	1683,75	21,10	140,44	96,00	41,71	178,00	5,93

Rutil, rutilli kuvars damarı ve kuvars damarı örneklerindeki Cr, Al ve Mg değerleri Çizelge 4.7.'deki major oksit % değeri üzerinden ppm cinsinden değerinin bulunması ile elde edilmiş olup, bu amaçla sırasıyla;

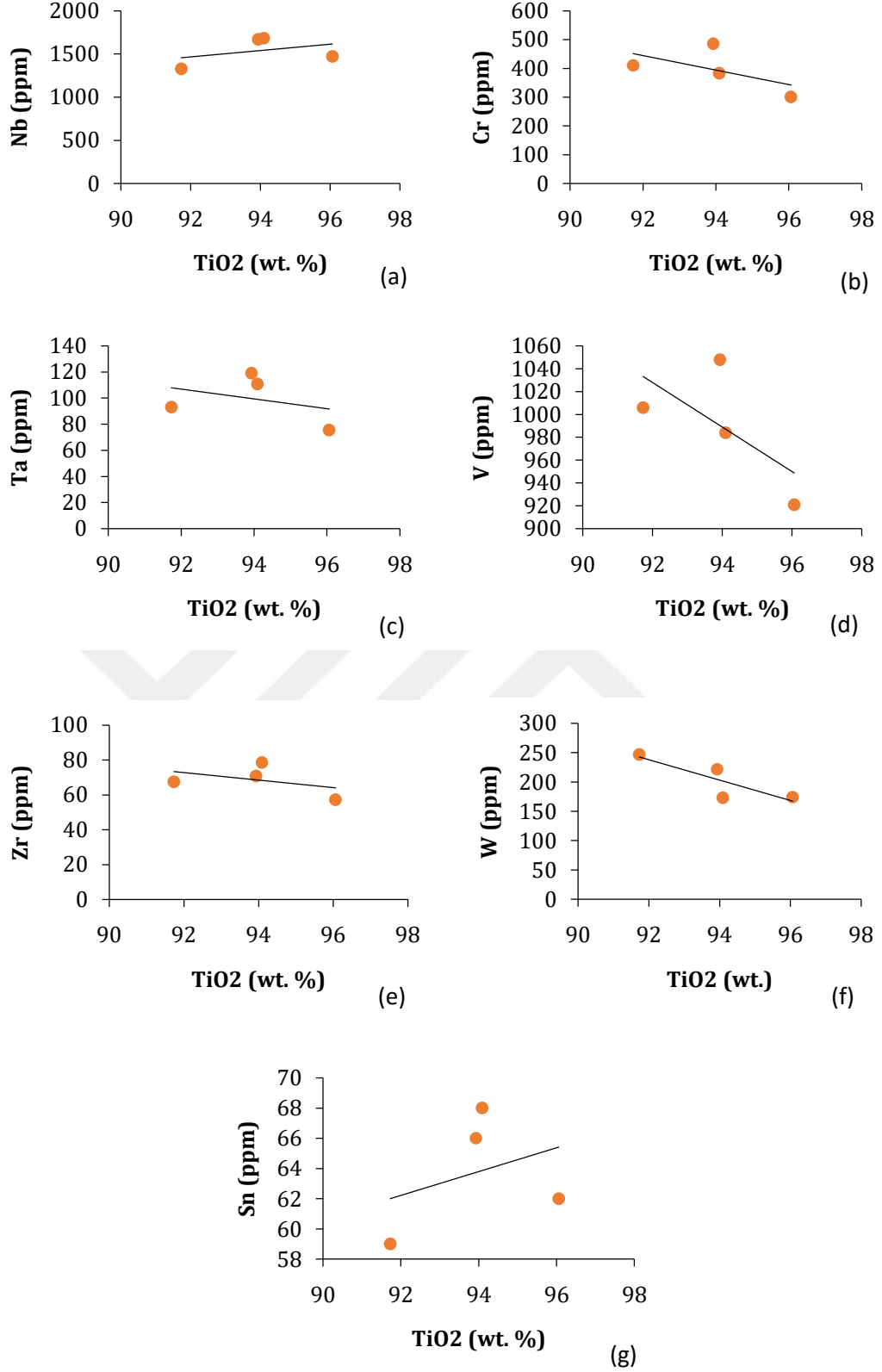
(1) ppm cinsinden değerinin elde edileceği söz konusu elementin atom ağırlığından gidilerek major oksitindeki ağırlıkça bulunma yüzdesinin belirlenmesi,

(2) söz konusu elementin major oksitinin örnekteki bulunma yüzdesi, elementin major oksitindeki ağırlıkça bulunma yüzdesi değeriyle beraber değerlendirilip elementin örnekteki ağırlıkça bulunma yüzdesinin elde edilmesi,

(3) örnekteki ağırlıkça bulunma yüzdesi belirlenen elementin % cinsinden alınan değerinin ppm'e çevrilmesi.

İşlemleri takip edilmek suretiyle değerler elde edilmiştir.

Rutil örneklerinin TiO_2 değerlerine karşılık çeşitli iz element değerlerini gösteren ikili diyagramlarda TiO_2 değerlerinin Nb ve Sn değerleri ile pozitif bir korelasyon göstermekte (Şekil 4.63. a, g), diğer söz konusu iz element değerleriyle özellikle Ta ve Zr ile çok zayıf olmakla birlikte negatif bir korelasyon gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.63. b, c, d, e, f).



Şekil 4.63. Rutil örneklerinin TiO₂ değerlerine karşılık çeşitli iz element değerlerini (Nb, Cr, Ta, V, Zr, W ve Sn) gösteren varyasyon diyagramları.

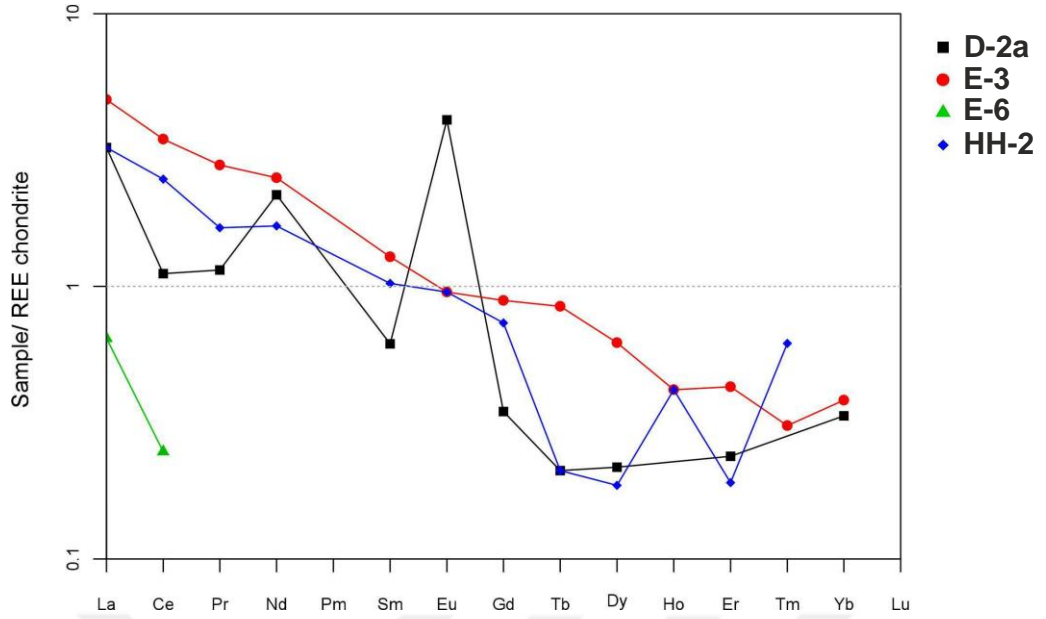
4.7.3. Nadir Toprak Elementleri

Çalışma sahasından derlenen rutil, rutilli kuvars damarı, kuvars damarı ve turmalinli kuvars damarı örneklerinin nadir toprak elementi analiz sonuçları Çizelge 4.10.'de verilmiştir.

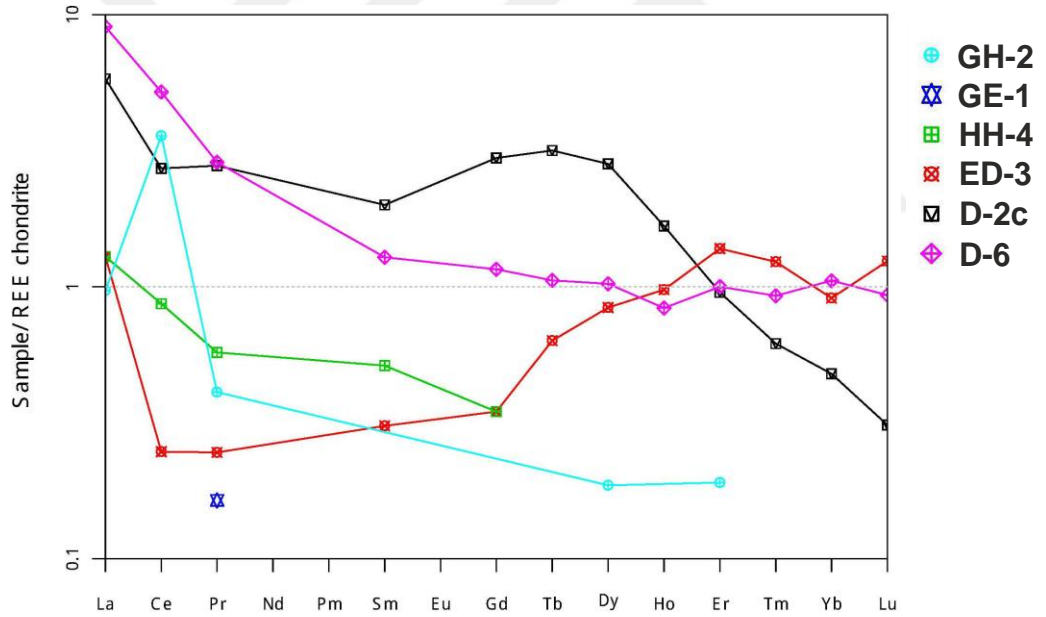
Analiz sonuçlarına göre rutil örnekleri düşük nadir toprak elementi konsantrasyonlarına sahip olup, başlıca 0,2-0,9 ppm Y, 0,2-2,8 ppm Ce, 1,0-1,5 ppm La, 0,14-0,34 ppm Pr, 1,0-1,5 ppm Nd, 0,12-0,25 ppm Sm, 0,07-0,30 ppm Eu ve 0,09-0,23 ppm arasında değişen Gd değerlerine sahiptir (Çizelge 4.10.). E-6 numaralı rutil örneğinin ise Y, La ve Ce değerleri diğer rutil örneklerine nazaran çok düşük olmakla birlikte, diğer nadir toprak elementi değerlerinin deteksiyon limitleri altında olduğu görülmektedir (Çizelge 4.10.).

Kuvars damarları ise yine rutil örnekleri ile paralel olarak düşük nadir toprak elementi konsantrasyonlarına sahip olmakla birlikte, başlıca 0,2-3,0 ppm Y, 0,3-2,8 La, 0,2-4,2 ppm Ce, 0,02-0,35 ppm Pr, 0,06-0,39 ppm Sm, 0,09-0,77 ppm Gd ve 0,06-0,91 ppm arasında değişen Dy değerlerine sahiptir (Çizelge 4.10.). GE-1 numaralı rutilli kuvars damarı örneğinin tüm nadir toprak elementi değerleri, deteksiyon limitinin altında olmasına rağmen, D-6 numaralı turmalinli kuvars örneğinin nadir toprak elementi değerlerinin rutilli kuvars damarı ve kuvars damarı örneklerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.10.).

Şekil 4.65.'da rutil örneklerinin kondrit normalizasyonuna göre nadir toprak elementi modelleri verilmiştir. Buna göre başta D-2a olmak üzere E-3 ve HH-2 numaralı rutil örnekleri pozitif Nd anomalisi göstermekte olup, yine D-2a numaralı rutil örneğinin pozitif Eu anomalisi gösterdiği görülmektedir. Bununla birlikte, HH-2 numaralı rutil örneği pozitif Ho ve negatif Er anomalisi gösterirken, E-3 numaralı rutil örneğinin pozitif Er ve negatif Tm anomalisi gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.64.).



Şekil 4.64. Rutil örneklerinin kondrit normalizasyonuna göre nadir toprak elementi modelleri (Boynton, 1984).



Şekil 4.65. Kuvars damarı örneklerinin kondrit normalizasyonuna göre nadir toprak elementi modelleri (Boynton, 1984).

Şekil 4.65.'da ise rutilli kuvars damarı, kuvars damarı ve turmalinli kuvars damarı örneklerinin kondrit normalizasyonuna göre nadir toprak elementi modelleri verilmiştir. Buna göre GH-2 numaralı kuvars damarı örneğinde güçlü bir pozitif Ce anomalisi gözlenirken, D-2c ve ED-3 numaralı rutilli kuvars damarı örneklerinde negatif bir Ce anomalisi görülmektedir (Şekil 4.65.). Bununla

birlikte, D-6 numaralı turmalinli kuvars damarı örneğinde negatif bir Ho anomalisi gözlenmesinin yanında, ED-3 numaralı rutilli kuvars damarı örneğinde negatif bir Yb anomalisi görülmektedir (Şekil 4.65.).

Ayrıca, rutil numuneleri hafif nadir toprak elementlerince zenginleşirken, ağır nadir toprak elementlerince tüketilmişlerdir (Çizelge 4.10.). Bununla birlikte, kuvars damarı örneklerinden bazıları hafif ve ağır nadir toprak elementlerince zenginleşirken bazıları da aynı elementlerce fakirleşmiştir (Çizelge 4.10.). Söz konusu bu durum nedeniyle net bir ayırım yapılamamaktadır.



Çizelge 4.10. Çalışma sahasındaki rutilli sahalardan derlenen rutil, rutilli kuvars damarı, kuvars damarı ve turmalinli kuvars damarı örneklerinin nadir toprak elementlerini gösteren analiz sonuçları.

Elementler	Ded. Lim.	Rutil				Rutilli Kuvars Damarı				Kuvars Damarı	Turmalinli Kuvars Damarı
		D-2a	E-3	E-6	HH-2	D-2c	ED-3	HH-4	GE-1	GH-2	D-6
Y (ppm)	0,1	0,5	0,9	0,2	0,5	3,0	2,4	0,2	<0,1	0,2	1,9
La (ppm)	0,1	1,0	1,5	0,2	1,0	1,8	0,4	0,4	<0,1	0,3	2,8
Ce (ppm)	0,1	0,9	2,8	0,2	2,0	2,2	0,2	0,7	<0,1	2,9	4,2
Pr (ppm)	0,02	0,14	0,34	<0,02	0,20	0,34	0,03	0,07	0,02	0,05	0,35
Nd (ppm)	0,3	1,3	1,5	<0,3	1,0	1,4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	1,6
Sm (ppm)	0,05	0,12	0,25	<0,05	0,20	0,39	0,06	0,10	<0,05	<0,05	0,25
Eu (ppm)	0,02	0,30	0,07	<0,02	0,07	0,13	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,11
Gd (ppm)	0,05	0,09	0,23	<0,05	0,19	0,77	0,09	0,09	<0,05	<0,05	0,30
Tb (ppm)	0,01	0,01	0,04	<0,01	0,01	0,15	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,05
Dy (ppm)	0,05	0,07	0,20	<0,05	0,06	0,91	0,27	<0,05	<0,05	0,06	0,33
Ho (ppm)	0,02	<0,02	0,03	<0,02	0,03	0,12	0,07	<0,02	<0,02	<0,02	0,06
Er (ppm)	0,03	0,05	0,09	<0,03	0,04	0,20	0,29	<0,03	<0,03	0,04	0,21
Tm (ppm)	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,02	0,02	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
Yb (ppm)	0,05	0,07	0,08	<0,05	<0,05	0,10	0,19	<0,05	<0,05	<0,05	0,22
Lu (ppm)	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,03

4.7.4. Oksijen İzotop Oranları

Çalışma sahasından derlenen 4 adet rutil ve 3 adet kuvars olmak üzere toplam 7 adet örnek üzerinde yapılan oksijen izotop analizleri, Amerika, Massachusetts GEOCHRON Laboratuvarlarında duraylı izotop oranı kütle spektrometresi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Rutil ve kuvars örnekleri üzerinde gerçekleştirilen oksijen izotop analizi sonuçlarına göre rutil örnekleri ‰ 4,0 ve ‰ 6,6 arasında değişen, ortalama ‰ 5,4'lük bir $\delta^{18}\text{O}$ değeri göstermektedir. Bununla birlikte, kuvars örneklerinde ise ‰ 13,2 ile ‰ 14,0 arasında değişen, ortalama ‰ 13,5'lik bir $\delta^{18}\text{O}$ değerine sahiptir (Çizelge 4.11.).

Çizelge 4.11. Çalışma sahasındaki rutil ve kuvars numunelerinin oksijen izotop analiz değerleri.

Numune No	Mineraller	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
D-2a	Rutil	4,0
E-4a	Rutil	5,6
E-3	Rutil	6,6
MS-5a	Rutil	5,3
D-2b	Kuvars	14,0
E-4b	Kuvars	13,4

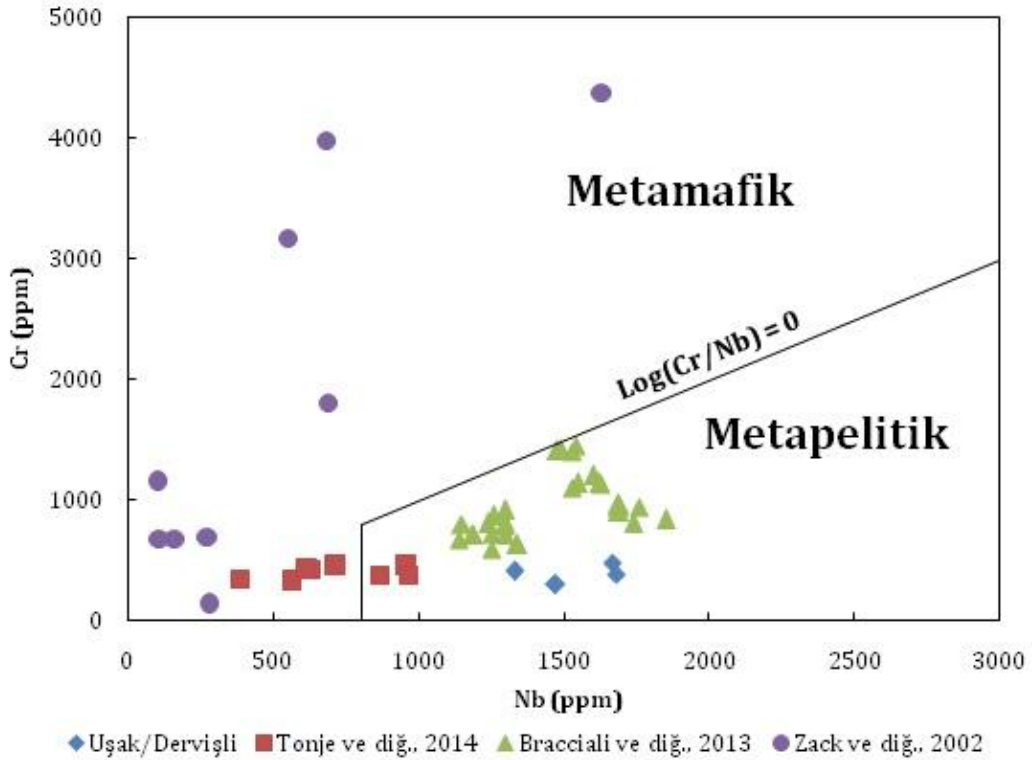
4.8. Oluşumu ve Ekonomik Durumu

4.8.1. Çalışma Alanındaki Rutillerin Kökeni

4.8.1.1. Nb ve Cr konsantrasyonları

Rutildeki Nb ve Cr konsantrasyonları, metamafik ve metapelitik köken litolojilerinin ayrımı için kullanılabilirler (Zack vd., 2002, 2004).

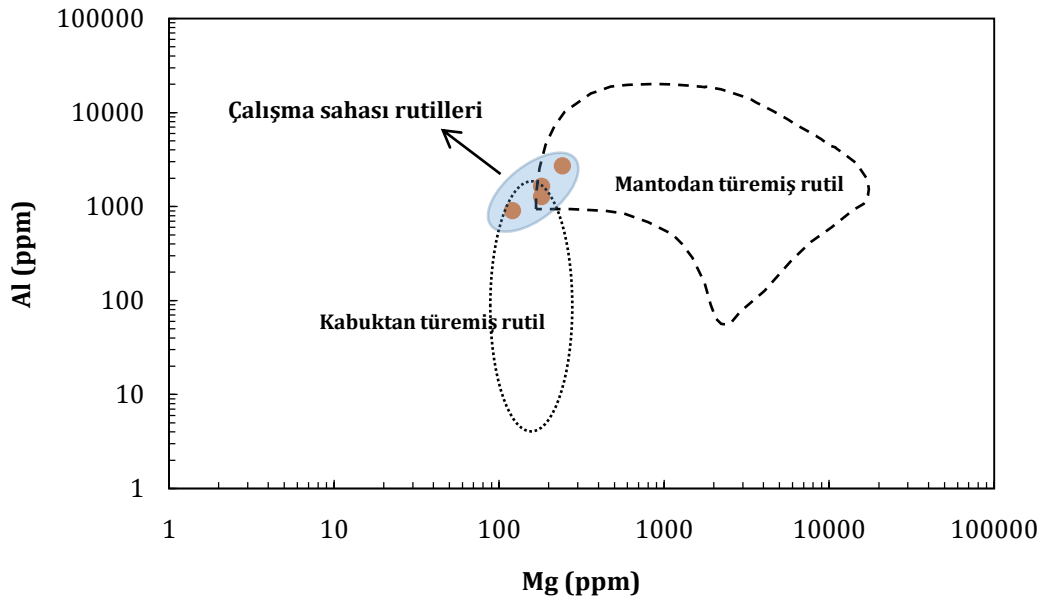
Meinhold vd. (2008)'de yapmış oldukları çalışmada, metapelitik rutillerin en düşük Nb değerinin 800 ppm olarak belirlemiş ve bu limitin metamafik ve metapelitik köken litolojileri arasında bir sınır teşkil ettiğini ortaya koymuştur. Meinhold vd. (2008)'e göre; Nb değerleri 800 ppm'den fazla ve Nb değerleri Cr değerlerine nazaran yüksek olan rutillerin metapelitik köken litolojisini, bununla birlikte; Nb değerlerinin 800 ppm'den az ve Cr değerleri Nb değerlerine nazaran daha yüksek olan rutillerin ise metamafik köken litolojisini temsil ettiği belirtilmektedir. Analiz sonuçlarına göre Nb ve Cr değerleri, söz konusu literatür bilgisi ışığında değerlendirildiğinde, çalışma sahasındaki rutillerin metapelitik köken litolojisini temsil ettiği görülmektedir (Şekil 4.66.).



Şekil 4.66. Nb (ppm) değerlerine karşılık Cr (ppm) değerlerinden yararlanılarak metamafik veya metapelitik köken litolojilerini gösteren rutillerin ayrımı (Meinhold vd., 2008)(Tonje vd., 2014: Güney Kamerun'da Pan-Afrikan Kemerindeki Matomb Bölgesinde bulunan alüvyal rutillerin iz element sonuçları; Bracciali vd., 2013: Quebec ve Snowbird tektonik zonunun Kuzey Cape Smith Kemer olarak adlandırılan Kanada Kalkanı'nın granülit fasiyesi kemerinden gelen kuvarsitlerdeki rutillerin iz element sonuçları; Zack vd., 2002: Orta Alpler'deki Trescolmen bölgesinde bulunan eklojitlerdeki rutillerin iz element değerleri.).

4.8.1.2. Mg ve Al İçeriği

Magnezyum rutildeki en az uyumlu element olduğundan, magnezyumca zengin rutiller yüksek ve ultra yüksek basınç koşullarında mağmatik kayalarda bulunmaktadır (Meinhold, 2010). Dahası mağmatik kayalardaki rutiller yüksek alüminyum içeriğine sahip olabilirler (Meinhold, 2010). Bu bilgiler ışığında Smythe vd. (2008) nin gerçekleştirdikleri çalışmada, rutildeki Al ve Mg içeriklerinin söz konusu rutilin kabuktan veya mantodan türemiş olup olmadığının belirlenmesinde kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Bu literatür bilgileri ışığında çalışma sahasından derlenen rutil örneklerinin ağırlıklı olarak kabuktan türemiş rutil özelliğini temsil ettiği görülmektedir (Şekil 4.67.).



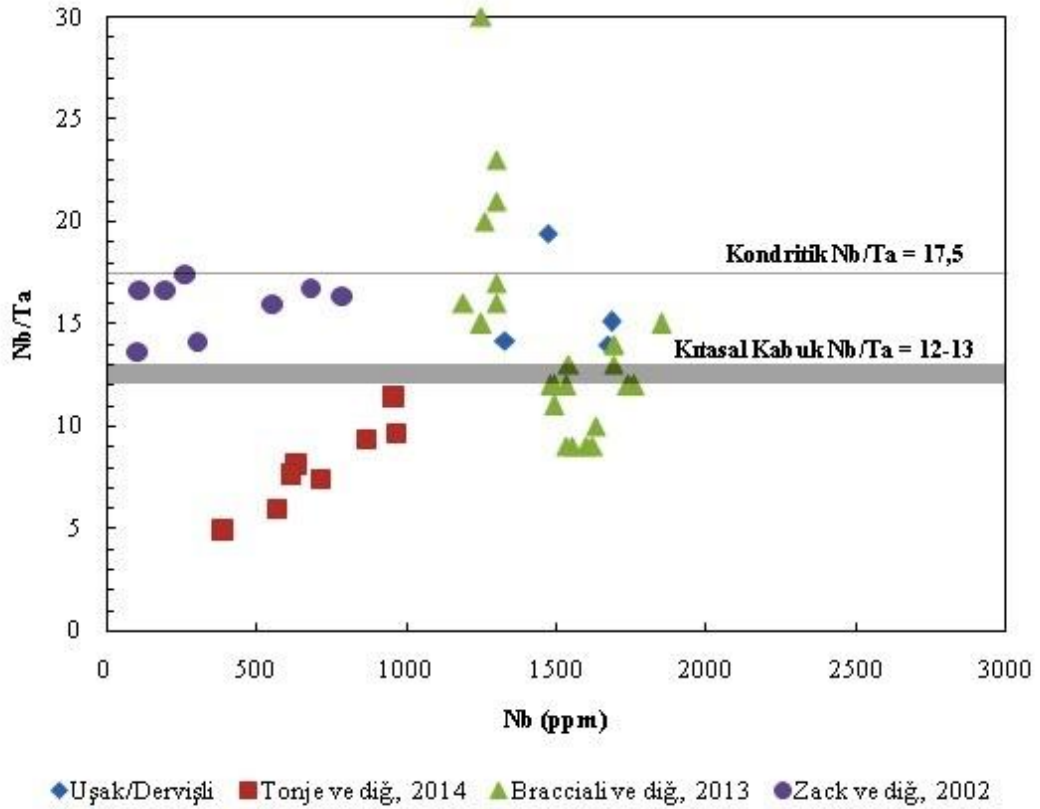
Şekil 4.67. Rutildeki Al ve Mg içeriğine bağlı olarak kabuktan veya mantodan türemiş rutillerin ayrımı (Smythe vd., 2008.).

4.8.1.3. Nb ve Ta içeriği

Nb ve Ta benzer oksidasyon durumu ve neredeyse benzer iyonik yarıçapa sahip olmalarından dolayı (Tiepolo ve diğ., 2000), kabuk-manto bünyesindeki kimyasal süreçler boyunca birbirinden ayrılmazlar (Meinhold, 2010). Bununla birlikte, rutil Nb ve Ta içeriği açısından önemli bir mineraldir (Meinhold, 2010).

Buna bağılı olarak rutildeki Nb/Ta değerleri kabuk-manto sisteminin jeokimyasal s¼reci ¼zerine ¼nemli ipu¼ları vermektedir.

Çalışma sahasından derlenen rutil ¼rnekleri daha ¼nce yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında; Nb/Ta değerleri ağırlıklı olarak kondritik Nb/Ta oranıyla kıtasal kabuk Nb/Ta oranı arasında yarıkondritik Nb/Ta oranı g¼stermekte olup, bunun yanında HH-2 numaralı rutil ¼rneęinde (19,4 Nb/Ta) kondritik Nb/Ta değerinin ¼zerinde s¼perkondritik Nb/Ta oranına sahip olduğu g¼r¼lmektedir (şekil 4.68.).



şekil 4.68. Rutil ¼rneklerinin Nb i¼erikleri ile Nb/Ta oranlarının varyasyonu. Kondritik Nb/Ta oranı (Mc Donough ve Sun, 1995) ve Kıtasal Kabuk Nb/Ta oranı (Barth vd., 2000) (Tonje vd., 2014: G¼ney Kamerun'da Pan-Afrikan Kemerini'ndeki Matomb B¼lgesinde bulunan al¼vyal rutilerin Nb (ppm) ve Nb/Ta değerleri; Bracciali vd., 2013: Quebec ve Snowbird tektonik zonunun Kuzey Cape Smith Kemerini olarak adlandırılan Kanada Kalkanı'nın granulit fasiyesi kemerinden gelen kuvarsitlerdeki rutilerin Nb (ppm) ve Nb/Ta değerleri; Zack vd., 2002: Orta Alpler'deki Trescolmen b¼lgesinde bulunan eklojitlerdeki rutilerin Nb (ppm) ve Nb/Ta değerleri.).

4.8.1.4. Rutil içindeki Zr termometresi

Zack vd. (2004) çalışmalarında kuvars ve zirkon ile beraber bulunan rutildeki Zr konsantrasyonunun güçlü bir şekilde sıcaklıkla ilişkili olduğunu belirtmiş ve deneysel olarak kalibre edilmiş rutil içindeki Zr termometresini sunmuşlardır.

Bu yöntem ile sıcaklık;

$$T(^{\circ}\text{C}) = (127,8 \times \ln(\text{Zr}_{(\text{ppm})})) - 10$$

eşitliği kullanılarak ± 50 °C'lik bir hata payı ile ifade edilmektedir (Zack vd., 2004). Watson ve diğ. (2006) çalışmalarında ise Zack vd., (2004) çalışmalarında ortaya koydukları bu termometreyi revize etmiş ve sıcaklığın;

$$T(^{\circ}\text{C}) = (4470 / (7,36 - \log(\text{Zr}_{(\text{ppm})}))) - 273$$

eşitliği üzerinden ± 20 °C'lik hata payıyla ifade edilebileceğini ortaya koymuşlardır. Her iki termometrede bulunan sıcaklık değerleri yaklaşık 540 °C'de birbirleriyle kesişmesine rağmen, daha düşük ve yüksek sıcaklıklarda değerler önemli ölçüde birbirlerinden ayrılmaktadır (Meinhold, 2010). Watson vd. (2006) çalışmalarında bu davranışın muhtemel bir basınç etkisini temsil ettiğini ve bu hususta daha fazla çalışmanın yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Çizelge 4.12. Rutil örneklerinin rutil içerisindeki Zr termometresine göre sıcaklık değerleri (Zack vd., 2004 ve Watson vd., 2006'da verilen eşitliklerden elde edilen değerler birbirleriyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.).

Numune No	Zr (ppm)	T (°C) Zack ve diğ., (2004)	T (°C) Watson ve diğ., (2006)
D-2a	78,6	547 (± 50)	544 (± 20)
E-3	70,8	534 (± 50)	538 (± 20)
E-6	67,5	528 (± 50)	535 (± 20)
HH-2	57,2	507 (± 50)	524 (± 20)

Çizelge 4.12.'de rutil örneklerinin sıcaklık değerleri Zack vd. (2004)'nin ortaya koydukları eşitliğe göre en az 507 ± 50 °C ile en çok 547 ± 50 °C arasında değişen ortalama 529 ± 50 °C'lik bir sıcaklık değerini göstermektedir. Bununla birlikte, Watson vd. (2006) çalışmalarında ortaya koydukları eşitliğe göre ise en az

524±20 °C ile en çok 544±20 °C arasında değişen (ortalama 535±20 °C) sıcaklık değerleri gösterdiği görülmektedir. Söz konusu iki denkleme göre elde edilen değerler karşılaştırıldığında Watson vd. (2006) ortaya koydukları eşitlikten elde edilen sonuçlar Zack vd. (2004)'nin elde ettikleri sonuçlara göre yaklaşık 540 °C'ye yakın sıcaklıklarda birbirine yakın değerler almasına rağmen, daha düşük veya yüksek sıcaklıklarda değerler arasındaki farkın giderek arttığı görülmektedir. Söz konusu bu durum, Meinhold'un (2010) çalışmasında belirttiği "Her iki termometre ile bulunan sıcaklık değerlerinin yaklaşık 540 °C'de birbirleriyle kesişmesine rağmen daha düşük ve yüksek sıcaklıklarda değerlerin önemli ölçüde birbirlerinden ayrıldığı" bilgisiyle örtüşmektedir.

4.8.1.5. Kuvars-rutil jeotermometresi

Kuvars ve rutil arasındaki oksijen izotop ayrışması kullanılarak oluşturulan kuvars-rutil jeotermometresi uzun zamandır bilinen ve uygulanan bir yöntemdir. Matthews (1979) çalışmasında $\delta^{18}\text{O}$ tayinlerinin özellikle kuvars olmak üzere silikatlar ve rutil arasındaki ^{18}O ayrışmasının görece geniş olmasından dolayı rutilin oksijen izotop jeotermometresi için çok kullanışlı olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, Chacko vd. (1996)'nin çalışmalarında iki mineralin de post-formasyon oksijen değişimine görece dirençli olmasından dolayı kuvars-rutil jeotermometresinin güvenilir bir metod olduğunu belirtmişlerdir. Matthews (1979) çalışmasında kuvars ve rutil arasındaki ^{18}O ayrışması üzerinden kuvars-rutil jeotermometresi için sıcaklığın ifadesi olarak, 500-700 °C arasındaki sıcaklıklarda geçerli olmak üzere;

$$10^3 \ln \alpha = -3,08 + 7,23(10^6 T^{-2})$$

eşitliğini ortaya koymuştur. Söz konusu eşitlikte " α " kuvars ve rutil arasındaki ^{18}O ayrışma faktörü ve "T" ise Kelvin cinsinden sıcaklığı ifade etmektedir.

Eşitlikte kullanılan ayrışma faktörü ise;

$$\alpha = (1000 + \delta A(\delta^{18}\text{O}_{(Q)})) / (1000 + \delta B(\delta^{18}\text{O}_{(R)}))$$

formülü kullanılarak bulunmaktadır (Karakaya, 2009).

Çizelge 4.11.'de ki rutil ve kuvars örneklerinin ortalama $\delta^{18}\text{O}$ değerleri sıcaklık tayini için Matthews'ın (1979) çalışmasında kuvars-rutil jeotermometresi için

ortaya koymuş olduğu yukarıda verilen denklem üzerinde uygulanarak yaklaşık 534 °C'lik bir sıcaklık değeri elde edilmiştir. Söz konusu bu değer, Zack vd. (2004) ve Watson vd. (2006)'nin yıllarında rutil içindeki Zr termometresi için ortaya koymuş oldukları eşitliklerden elde edilen sıcaklık değerleri ile örtüşmektedir.

Arazi gözlemlerinde rutillerin Eşme formasyonunu kesen öz şekilli ve yarı öz şekilli mm fraksiyonlarından 5 cm'ye uzanan boyutlarda rutilli kuvars damarlarında bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu pegmatit damarlarında feldispat, ilmenit, turmalin ve muskovitte mikroskobik olarak izlenmiştir. Rutilli kuvars damarlarının parçalanması ve ayrışması sonucunda serbestleşen rutil taneleri ya da rutilli kuvars damarı parçaları dış etkenler vasıtasıyla taşınarak elüvyal ve alüvyonlarda birikip rutilli plaser zuhurlarını oluşturmuşlardır. Gerek rutilli kuvars damarları ve gerekse rutil mineral kimyası incelemeleri; rutilli kuvars damarlarının metapelitik birimlerden kaynaklandığını ve 532 °C ile 534 °C'lik sıcaklık aralığında oluştuğunu göstermektedir.

4.8.2. Çalışma Alanındaki Rutillerin Ekonomik Durumu

İnceleme alanında yapılan arazi gözlemlerine ve analiz sonuçlarına göre, en çok titan minerali içeren birimler sırasıyla; rutilli çakıllı, kum, mil (Qt) yamaç döküntüsü (Qy)- dere alüvyonu (Qd)'dur.

Qt ve Qy birimlerinden alınan ED-1,HH-1, HH-2, E-1, E-5, ES-1, S-1 ve MK-1 nolu numunelerin ICP-OES sonuçları sırasıyla Şekil 4.17., 4.25. ve 4.30.'da verilmiştir. Buna göre rutilli plaser örneklerinin tane boyu dağılımına göre ortalama Ti içerikleri +200 (> 75 µm) için 1540,6 ppm, +10 (> 2 mm) için 1657,5 ppm, +4 (> 4,75 mm) için 988,7 ppm ve +1/2 (> 12,5 mm) 9632,7 ppm olmakla beraber, bu numuneler üzerinde teknolojik çalışmalar yapılmadığından, sahanın ekonomikliği hakkında kesin bir şey söylenemez.

Ancak Açıklın vd. (1985)'nin hazırlamış olduğu MTA raporuna göre; rutil içeren litolojik birimlerin yüzölçümleri, 1/5000 ölçekli jeolojik harita üzerinde

belirlenmiş ve yaptıkları incelemeler sonucunda bir “Jeolojik rezerv” hesaplanmıştır (Çizelge 4.13.).

Çizelge 4.13. Çalışma alanının ortalama tenör ve jeolojik rezervi (Açıklan vd., 1985).

	Hacim(m ³) (YüzeyXKalınlık)	Özgül Ağırlık(gr/cm ³)	Jeolojik Rezerv (ton)	Ortalama Tenör (%TiO ₂)
(Qt) Birimi	50 000	2	100 000	2.63
(Qy) Birimi	6 000 000	2	12 000 000	2.06
(Qd) Birimi	50 000	2	100 000	0.85

Arazi çalışmasından toplanan numuneler üzerinde yapılan analizler, MTA raporu ile beraber yorumlandığında yapılan arazi çalışmaları ve deney sonuçları plaser oluşumlarının ekonomikliğini ortaya koyacak düzeyde olmamakla beraber, Çizelge 4.13.’te verilen bilgiler doğrultusunda jeolojik rezervin 12 200 000 ton olarak hesaplanması, Dünya titan rezervi ve üretimi dikkate alındığında Eşme-Eroğlu plaser ve elüvyal çökellerinin ekonomik olabileceği kanısını oluşturmuştur (Açıklan vd., 1985).

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Çalışma sahasındaki plaser rutil cevherleşmelerinin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri ve köken araştırılması amacıyla hazırlanan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Çalışma sahası olarak seçilen Eşme (Uşak) ilçesinin yaklaşık 10 km kuzey batısındaki Dervişli köyü mevkiinde Uşak K21-c4 ile Uşak L21-b1 paftaları arasında kalan yaklaşık 30 km²'lik alanın 1/25 000 ölçekli jeolojik haritası hazırlanmıştır. Ayrıca, alüvyal ve elüvyal plaserlerden alınan numuneler koordinatlı olarak numune haritasına işaretlenmiştir.
- Çalışma sahasının alttan üste doğru; jeolojik birimlerini Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalardan oluşan Eşme Formasyonu, bu birimin üzerine uyumsuz olarak gelen Neojen yaşlı konglomera, kumtaşı-tüfit-kiltaşı-marn ve kireçtaşı aralanmasından oluşan Ahmetler Formasyonu'nun Balçıklıdere Üyesi ve en üstte Kuvaterner yaşlı güncel çökeller olan dere alüvyonu, taraça ve yamaç molozları oluşturmaktadır.
- Çalışma sahasındaki plaser rutil oluşumları; Karaöz deresi mevki, Hacıhüseyinli mevki, Mollasüleymanlı mevki ve Gökhasanlı mevki olmak üzere 4 ayrı lokasyonda gözlenmekte olup, söz konusu rutil tanelerinin bulunduğu güncel çökel birimi yaklaşık 1m ile 4m arasında değişen kalınlıklara sahiptir. Ayrıca, çalışma sahası içerisindeki rutilli plaser birimlerinde gözlenen rutil kristalleri mm fraksiyonları ile yaklaşık 5 cm arasında değişen tane boyutlarına sahiptir.
- Çalışma sahası içerisinde farklı lokasyonlarda yer alan rutilli plaserlerden derlenen örnekler üzerinde yapılan mineralojik incelemeler (ince kesit ve XRD analizleri) sonucunda rutilli plaser sahalarının mineral parajenezi; kuvars, albit, biyotit, muskovit, ortoklas, amfibolit (aktinolit), granat, kaolen, rutil, turmalin ve ilmenit olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, rutilli kuvars damarlarının mineral parajenezi ise

kuvars, rutil, ilmenit, feldispat ve muskovit minerallerinden oluşmaktadır.

Jeokimyasal incelemeler (major oksit ve iz element analizleri) sonucu rutil örneklerinin major oksit içerikleri; ortalama % 93,95 TiO_2 , % 1,52 Fe_2O_3 , % 0,60 SiO_2 ve % 0,30 Al_2O_3 değerlerine sahiptir. Bununla birlikte, iz element değerleri ise ortalama 1538,05 ppm Nb, 989,75 ppm V, 395,07 ppm Cr, 203,82 ppm W, 99,70 ppm Ta, 68,52 ppm Zr, 63,75 ppm Sn ve 3,50 ppm Hf olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, söz konusu iz element değerleri Dünya'daki farklı lokasyonlarda daha önce gerçekleştirilmiş benzer çalışmalardan elde edilen değerlerle karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma sonucunda Cr, V, Ta, Zr, Sn ve Hf değerlerinin, Tonje vd. (2013) ün güney Kamerun Pan-Afrikan Kemerindeki Matomb bölgesinde, Yaounde grubundaki metapelitler, amfibolitler ve pegmatitlerden gelen alüvyal rutiller üzerinde yapmış olduğu çalışma ile elde ettiği verilerle uyumlu olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, W, Sn, V, ve Al değerlerinin ise diğer tüm çalışmalarla kıyaslandığında yüksek değerler almış olduğu ortaya konmuştur.

- Rutil örneklerinin Cr (ppm) ve Nb (ppm) değerleri göz önüne alındığında çalışma sahası içerisindeki rutilli plaserlerde gözlenen rutillerin metapelitik köken litolojisini temsil ettiği ortaya konulmuştur. Ayrıca, Al (ppm) ve Mg (ppm) değerleri göz önüne alındığında ise rutillerin ağırlıklı olarak kabuktan türemiş olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında, Nb/Ta oranlarına göre ise ağırlıklı olarak kondritik Nb/Ta oranıyla kıtasal kabuk Nb/Ta oranı arasında yarıkondritik Nb/Ta oranı göstermekle birlikte, HH-2 numaralı rutil örneğinde (19,4 Nb/Ta) kondritik Nb/Ta değerinin üzerinde süperkondritik Nb/Ta oranına sahip olduğu ortaya konulmuştur.
- Rutil örneklerindeki Zr (ppm) değerleri üzerinden oluşum sıcaklıklarını temsil eden Zack vd (2004) ve akabinde Watson vd. (2006) çalışmalarında ortaya koymuş oldukları Rutil içindeki Zr termometresi

yöntemine göre ortalama $529\pm 50^{\circ}\text{C}$ ve $535\pm 20^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

- Çalışma sahasındaki rutilli plaserlerden derlenen rutil, rutilli kuvars damarı, kuvars damarı ve turmalinli kuvars damarı örneklerinin nadir toprak elementi analiz sonuçlarına göre düşük nadir toprak elementi konsantrasyonlarına sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında, tüm örneklerin kondrit normalizasyonuna göre nadir toprak elementi modelleri belirlenmiş olup D-2a, E-3 ve HH-2 numaralı rutil örneklerinin pozitif Nd anomalisi, D-2a numaralı rutil örneğinin pozitif Eu anomalisi, HH-2 numaralı rutil örneği pozitif Ho ve negatif Er anomalisi ve E-3 numaralı rutil örneğinin pozitif Er ve negatif Tm anomalisi gösterdiği belirtilmiştir. Buna ek olarak, GH-2 numaralı kuvars damarı örneğinde güçlü bir pozitif Ce anomalisi gözlenirken D-2c ve ED-3 numaralı rutilli kuvars damarı örneklerinde negatif bir Ce anomalisi görülmekte olduğu, D-6 numaralı turmalinli kuvars damarı örneğinde negatif bir Ho anomalisi gözlenmesinin yanında ED-3 numaralı rutilli kuvars damarı örneğinde negatif bir Yb anomalisi görüldüğü ortaya konulmuştur.
- Çalışma sahasındaki rutilli plaserlerden derlenen rutil ve kuvars örneklerinin oksijen izotop değerleri sırasıyla ‰ 4,0 ile ‰ 6,6 arasında (ortalama ‰ 5,4) ve ‰ 13,2 ile ‰ 14,0 arasında (ortalama ‰ 13,5) değerlere sahip olduğu belirlenmiş ve söz konusu değerler üzerinden kuvars-rutil jeotermometresi yöntemi ile yaklaşık 534°C 'lik bir oluşum sıcaklığı belirlenmiştir. Ayrıca, bu sıcaklık değeri ile rutil içindeki Zr termometresi yöntemi kullanılarak elde edilen sıcaklık değerleri birbiriyle karşılaştırılıp bu iki yöntem ile elde edilen değerlerin birbirleriyle uyumlu olduğu tespit edilmiştir.
- Çalışma sahasında gerçekleştirilen arazi gözlemleri sonucu plaserler içindeki rutil tanelerinin köken kayaçlarının Eşme Formasyonu içindeki şistleri kesen pegmatitik kuvars damarları olduğu belirlenmiş ve rutilli plaserlerden ve rutilli kuvars damarlarından derlenen örnekler üzerinde yapılan mineralojik ve jeokimyasal incelemeler sonucunda plaserler

içerisindeki rutil tanelerinin pegmatitik evrede oluştuğu ve epijenetik olarak Eşme Formasyonunun kırık ve çatlaklarına damarlar şeklinde yerleştiği saptanmıştır. Gerek rutilli kuvars damarları ve gerekse rutil mineral kimyası incelemeleri; rutilli kuvars damarlarının metapelitik birimlerden kaynaklandığını ve 532 °C ile 534 °C'lik sıcaklık aralığında oluştuğunu göstermektedir.



KAYNAKLAR

- Açıklın, İ., Eren, B., Türkbileği, H., 1985. Demirci Gördes Benlieli Ovası Turgutlu Salihli ve Eşme Bölgeleri Titan Etüdü, MTA Derleme Raporu No: 7821, s. 50-59.
- Barth, M., McDonough, W., Rudnick, R., 2000. Tracking The Budget of Nb and Ta in The Continental Crust. *Chemical Geology* 165 (3-4), 197-213.
- Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of The Rare Earth Elements: Meteorite Studies. In: Henderson, P. (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 63-114.
- Bracciali, L., Parrish, R.R., Horstwood, M.S.A., Condon, D.J., Najman, Y., 2013. U-Pb LA-(MC)-ICP-MS Dating of Rutile: New Reference Materials and Applications to Sedimentary Provenance, *Chemical Geology* 347, 82-101
- Broan, T., Türkecan, A., Dinçel, A., Günay, E., 1983. Kula-Selendi (Manisa) Dolaylarının jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara
- Candan, O., Dora, Ö., 1998. Menderes Masifi'nde Granulit, Eklojit ve Mavi Şist Kalıntıları : Pan-Afrikan ve Tersiyer Metamorfik Evrimine Bir Yaklaşım. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41/1, 1-35.
- Candan, O., Koralay, E., Dora, O., Chen, F., Oberhanslı, R., Akal, C., Satır, M. ve Kaya, O., 2006. Menderes Masifi'nde Pan-Afrikan Sonrası Uyumsuzluk: Jeolojik ve Jeokronolojik Bir Yaklaşım. 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Ankara, 25-27.
- Candan, O., Oberhanslı, R., Dora, O., Çetinkaplan, M., Koralay, E., Rimmele, G., Chen, F. ve Akal, C., 2011. Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan Temel ve Paleozoyik-Erken Tersiyer Örtü Serilerinin Polimetamorfik Evrimi. *MTA Dergisi*, 142, 123-165.
- Chacko, T., Hu, X., Mayeda, T.K., Clayton, R.N., Goldsmith, J.R., 1996. Oxygen Isotope Fractionations in Muscovite, Phlogopite, and Rutile. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60, 2595-2608.

DPT, 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Emdüstri Mineralleri (Grafit-Kalsit-Fluorit-Titanyum) Çalışma Grubu Raporu, 99 s, Ankara

Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A., Günay, A., 1978, Uşak Yöresindeki Neojen Havzaların Jeolojisi. T. J. K. Bülteni, Sayı: 21/2,

Gültekin, A. H., 1993. Titanyum Mineral Yatakları, Kayaçlarda Titanyum İçeriği ve Bölümlenmesi, Jeoloji Mühendisliği, s.42, 21-37.

İpekoğlu, B., 2015. Erişim Tarihi: 12.11.2015. <https://madencilikrehberi.files.wordpress.com/2012/02/titanyum.doc>.

Karakaya, M., 2009. Duraylı İzotopların Jeolojide Kullanımı. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü. Mühendislikte Projelendirme Raporu, 100 s, Ankara.

Koralay, O.E., Candan, O., Akal, C., Dora, O.Ö., Chen, F., Satır, M., Oberhänsli, R., 2011. Geology and geochronology of the Pan-African and Triassic metagranitoids in the Menderes Massif, Western Anatolia, Turkey. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 142, 69–121.

Matthews, A., Beckinsale, R.D., Durham, J.J., 1979. Oxygen Isotope Fractionation Between Rutile and Water and Geothermometry of Metamorphic Eclogites. Mineralogical Magazine 43, 405–413.

Meinhold, G., Anders, B., Kostopoulos, D., Reischmann, T. 2008. Rutile Chemistry and Thermometry as Provenance Indicator: An example from Chios Island, Greece, Sedimentary Geology 203, 98-111

Meinhold, G., 2010. Rutile and Its Applications in Earth Sciences, Earth-Science Reviews 102, 1-28

McDonough, W.F., Sun, S.-S., 1995. The Composition of The Earth. Chemical Geology 120, 223-253.

Smythe, D.J., Schulze, D.J., Brenan, J.M., 2008 . Rutile As a Kimberlite Indicator Mineral: Minor and Trace Element Geochemistry. 9th International Kimberlite Conference, Extended Abstract, No. 9IKC-A-00193.

- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey. A Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics*. 75, 181-241.
- Tiepolo, M., Vannucci, R., Oberti, R., Foley, S., Bottazzi, P., Zanetti, A., 2000. Nb and Ta Incorporation and Fractionation in Titanian Pargasite and Kaersutite: Crystal- Chemical Constraints and Implications for Natural Systems. *Earth and Planetary Science Letters* 176, 185-201.
- Tonje, J.C., Ndjigui, P.D., Nyeck, B., Paul, B., 2014. Geochemical Features of the Matomb Alluvial Rutile from The Neoproterozoic Pan-African Belt, Southern Cameroon. *Chemie der Erde* 74, 557-570
- Watson, E.B., Wark, D.A., Thomas, J.B., 2006. Crystallization Thermometers for Zircon and Rutile. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 151, 413-433
- Zack, T., Kronz, A., Foley, S.F., Rivers, T., 2002. Trace Element Abundances in Rutilites from Eclogites and Associated Garnet Mica Schists. *Chemical Geology* 184, 97-122.
- Zack, T., von Eynatten, H., Kronz, A., 2004. Rutile Geochemistry and Its Potential Use in Quantitative Provenance Studies. *Sedimentary Geology* 171, 37-58.

EKLER

EK A1. Dervişli (Eşme-Uşak) Bölgesinin Jeolojik Haritası



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kayhan IŞIK

Doğum Yeri ve Yılı : Bursa, 1990

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : yl1230103053@sdu.edu.tr

Taranmış
Fotoğraf
(3.5cm x 3cm)

Eğitim Durumu

Lise : Bursa Cem Sultan Lisesi, 2007

Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Yayımları

Işık, K., Deniz, A.S., Cengiz, O., 2012. Kabalbaba ve Söğütalan (Mustafa Kemalpaşa-Bursa) arasındaki mermerlerin jeolojik ve kullanım özellikleri. MERSEM 2012, 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi Bildiriler Kitabı, 13-15 Aralık 2012, Afyonkarahisar, 227-234.