



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



Magma kristalleşme süreçlerinin belirlenmesinde Konfokal Raman Spektroskopisi ve mineral kimyası incelemelerinin önemi: Istranca İnrüzifleri, KB Türkiye

The importance of Confocal Raman Spectroscopy and mineral chemistry studies in the magma crystallization processes: Strandja Intrusives, NW Türkiye

Ezgi ULUSOY^{a*} ve Yusuf Kağan KADIOĞLU^{b,c}

^aMaden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, Türkiye.

^bAnkara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.

^cAnkara Üniversitesi, Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Amfibol, Istranca İnrüzifleri, Konfokal Raman Spektroskopisi, Mineral kimyası, Jeotermobarometre.

ÖZ

KB Türkiye’de yüzeylenen Istranca Masifi Geç Kretase yaşlı intrüziflerle kesilmektedir. Bunlar Istranca İnrüzifleri olarak adlandırılmakta olup felsik ve mafik eş yaşlı intrüziflerdir. Felsik intrüzifler granit, granodiyorit, kuvars monzonit ve syenit bileşimli kayalardan oluşurken, mafik intrüzifler ise diyorit ve gabro bileşimindeki kayalardan oluşmaktadır. Felsik kayaların ana bileşimi kuvars, alkali feldispat, plajiyoklaz, biyotit, amfibol ±piroksen mineral birlikteliğinden oluşurken, mafik kayaların ana bileşimi ise plajiyoklaz, biyotit, amfibol ±piroksen ±olivine mineral birlikteliğinden oluşmaktadır. Sulu çift zincir silikat minerali olan amfiboller Istranca İnrüziflerine ait tüm kaya grupları içinde gözlenmesi sebebiyle bu çalışmada kayaların petrolojik evrimini anlamak için indeks mineral olarak kullanılmıştır. Konfokal Raman Spektroskopisi çalışmaları göre incelenen tüm amfibollerin aktinolit türü olduğu ve benzer spektrum sergilediği, bunun yanında mineral kimyası sonuçlarına göre ise kalsik ve Mg-hornblend türü olduğu belirlenmiştir. Jeotermobarometre hesaplamalarına göre amfiboller felsik intrüzifler 0,49-0,94 kbar basınç ve 757,52-814,49 °C sıcaklık aralığında, yaklaşık 1,34-4,93 km derinlikte; mafik intrüzifler ise yaklaşık 2,59 kbar basınç, 892,82 °C sıcaklıkta altında ve 9,97 km derinlikte kristallenmiştir. İncelenen amfibollerden elde edilen farklı sıcaklık, farklı derinlik koşulları ve Raman kayma spektrumlarında gözlenen örtüşmeler felsik ve mafik intrüziflerin farklı kaynaklardan türediklerini, ancak benzer ortamda kristalleştiklerini işaret etmektedir.

Geliş Tarihi: 28.12.2021

Kabul Tarihi: 13.05.2022

Keywords:

Amphibole, Strandja Intrusives, Confocal Raman Spectroscopy, Mineral Chemistry, Geothermobarometry.

ABSTRACT

The Strandja Massif cropping out in NW Turkey is cut by Late Cretaceous intrusives. These are called Strandja Intrusives and they are felsic and mafic coeval intrusives. Felsic intrusives consist of granite, granodiorite, quartz monzonite and syenite, while mafic intrusives consist of diorite and gabbro composition. Main composition of felsic intrusives consists of quartz, alkali feldspar, plagioclase, biotite, amphibole ±pyroxene mineral association, while main composition of mafic ones consists of plagioclase, biotite, amphibole ±pyroxene ±olivine mineral association. Amphiboles hydrated double-chain mineral of the Strandja Intrusives observed in all rocks used as an index mineral in this study to understand the petrological evolution of the rocks. According

*Başvurulacak yazar: Ezgi ULUSOY, ezgi.ulusoy@mta.gov.tr

to Confocal Raman Spectroscopy studies amphiboles were actinolite type and exhibited similar spectrum and results of mineral chemistry reveals that they were calcic/Mg-hornblende types. According to geothermobarometer calculations, amphiboles crystallize in felsic intrusives at a pressure range of 0.49-0.94 kbar and a temperature of 757.52-814.49 °C temperature at a depth of approximately 1.34-4.93 km, while in mafic ones at 2.59 kbar pressure and 892.82 °C temperature at 9.97 km depth. Different temperatures-depth conditions and overlaps in Raman shift obtained from amphiboles indicate that these intrusives are derived from different sources but crystallized in the same environment.

1. Giriş

Bir bileşen üzerine yansıtılan ışının saçınımı elastik (Rayleigh) ve inelastik (Raman) saçınımolar olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Herhangi bir bileşen üzerine şiddetli bir monokromatik ışın demeti yansıtılması sırasında ışık absorpsiyonu olayı gerçekleşmiyorsa ışık saçılması olayı meydana gelmekte bu saçılma ise Rayleigh saçılması olarak tanımlanmaktadır (Young, 1981; Skoog vd., 1998; Akçe ve Kadioğlu, 2020). Elastik Rayleigh saçılması sırasında saçılan ışığın büyük bir kısmının enerjisi madde ile etkileşen ışığın enerjisine eşit olur (Çizelge 1). Bunun yanında yansıtılan ışığın çok az bir kısmının molekül tarafından absorbe edilerek, saçılan ışının dalga boyunun yansıtılan ışığın dalga boyundan farklı olması olayı ise inelastik Raman saçılması olarak tanımlanmıştır (Raman and Krishnan, 1928). Rayleigh saçılması Raman saçılmasına göre 10^4 - 10^5 kat şiddetli tek bir pik verirken, moleküllerin titreşim geçişleri hakkında herhangi bir bilgi vermemektedir. Bunun yanında molekül ile etkileşen ışığın saçılması olan Raman saçılması moleküllerin titreşim enerji düzeyleri hakkında bilgiler sunmaktadır (Krishnan ve Raman, 1928; Skoog vd., 1998; Akçe ve Kadioğlu, 2020; Karacan, 2020).

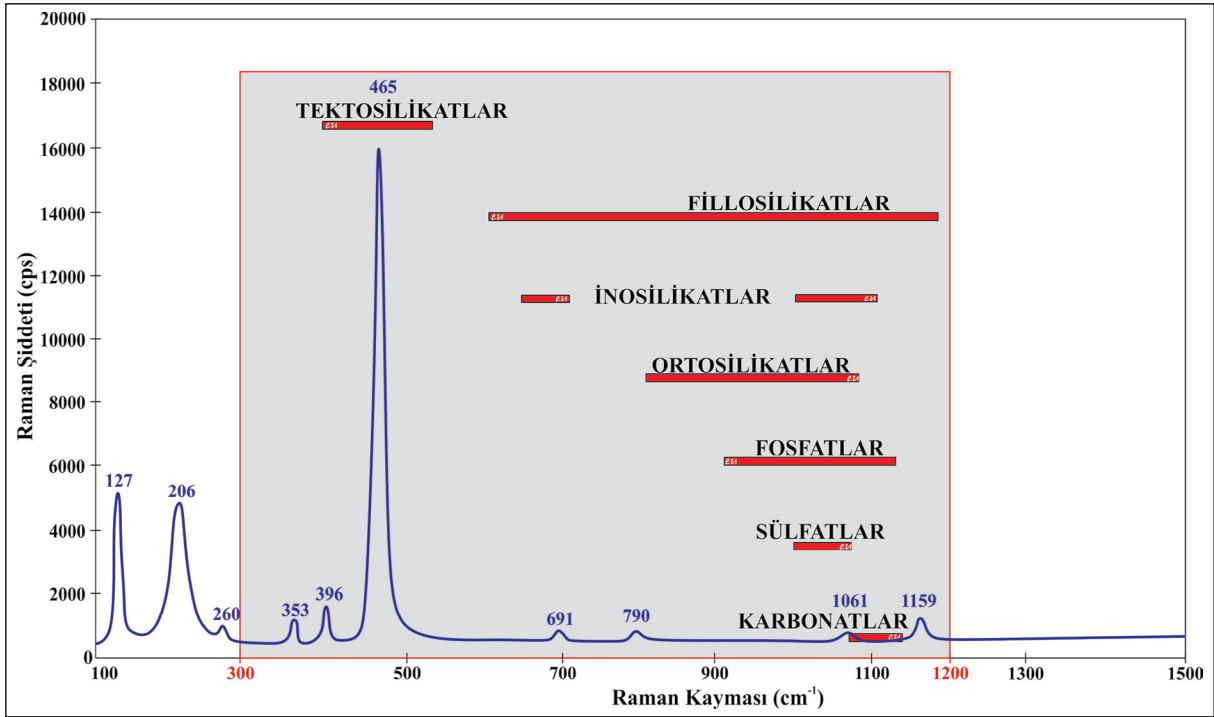
Konfokal Raman Spektrometresi (KRS) araştırmalarının temelini Raman saçılımı

Çizelge 1- Bir materyal üzerine yansıtılan ışığın saçılma türleri (Krishnan ve Raman, 1928; Young, 1981).

Işık Saçılma Türleri		
Saçılma Türü	Durum	
Rayleigh	Elastik	Saçılan ışığın dalga boyu = Gelen ışığın dalga boyu
Raman	İnelastik	Saçılan ışığın dalga boyu > Gelen ışığın dalga boyu Saçılan ışığın dalga boyu < Gelen ışığın dalga boyu

oluşturmaktadır. Raman saçılımında katı-sıvı-gaz molekül üzerine yansıtılan ışının dalga boyu ile geri yansıyan ışınların dalga boyu arasında bir farklılık söz konusudur. Bu farklılıklar Raman kayması (Raman shift) olarak tanımlanmakta olup molekülün kimyasal yapısı hakkında önemli bilgiler içermektedir (McMillan ve Hofmeister, 2018; Ferraro vd., 2003). Raman çalışmalarıyla tek tek sıvı ve katı fazlar tanımlanabilir, birçok fazın kristallik derecesi tahmin edilebilir, bunun sonucunda elde edilen veriler ise sıcaklık ve yoğunluk için bir temsilci olarak kullanılabilmekte, her bir sıvı bileşenin bolluğu tahmin edilebilmekte, bunun yanında Raman'ın karakteristik spektrumuna dayalı olarak bir numunenin moleküler yapısını belirleme yeteneği sayesinde ise polimerizasyon tahmin edilebilmektedir (Bodnar ve Frezzotti, 2020). Konfokal Raman Spektroskopisinde bir mineral üzerine gönderilen ışığın dalga boyu ile molekülle etkileşim sonrası saçılan ışığın dalga boyundaki farklar Raman kaymaları olarak adlandırılmakta ve söz konusu bu spektrumlar, mineralin kimliğini yansıtabilmektedir (Chukanov ve Viganina, 2020). Raman spektrumunda mineral gruplarına göre ana titreşim bölgeleri genel olarak Şekil 1'de gösterilmektedir. Ayrıca KRS çalışmaları özel solid solüsyona sahip minerallerin (Ca-Mg karbonatlar, olivinler, piroksenler ve turmalinler vb.) kimyasal kompozisyonları hakkında da bilgiler sunmaktadır (Watenphul vd., 2016). Bundan dolayı KRS analizleri yer bilimlerinde; mineralojik, kristallografik, jeokimyasal, gemolojik ve bunlarla ilişkili alt dallarda kalitatif faz tanımlaması ve/veya kantitatif faz karakteristikleri hakkında da faydalı veriler sunmaktadır (Nasdala ve Schmidt, 2020; Ferrando, 2018).

İntrüzif kayaların içerdiği mineral bileşenlerinde KRS uygulamaları yapılarak magmanın kristalleşme süreçleri hakkında çeşitli yaklaşımlar yapılabilmektedir. (Zoroğlu ve Kadioğlu, 2007;



Şekil 1- En yaygın gözlenen mineral gruplarının ana titreşim bölgeleri (Frezza vd., 2012; Ferrando, 2018).

Deniz, 2010; Kadioğlu vd., 2019; Akçe ve Kadioğlu, 2020; Ulusoy, 2021; Deniz, 2022). Elde edilen Raman spektrumlarındaki farklılıklar moleküllerin kimyasal yapısına bağlı olarak değişmekte ve böylece farklı bileşimdeki mineraller Raman spektrumundaki dağılım ve davranışlarına göre ayırt edilerek tanımlanabilmektedir. Örneğin bir amfibol grubuna ait Na, Ca, Mg, Al ve OH gibi elementlerin/iyonların oluşturduğu mineralin molekül yapısına göre farklı spektrum vermesi amfibol mineralinin bileşimsel farklılığından, spektrumdaki büyüklük ve düzgünlük ise amfibol mineralinin fiziksel davranış ve kimyasal saflığından kaynaklanabilmektedir. Bu sayede minerallerin göstermiş olduğu Raman spektrumundaki kayma pikleriyle mineralin bileşimi, türü ve kristalleşme döneminde ve/veya sonradan kazanmış olduğu farklı fiziksel karakteristiklerini ayırt etmek mümkün olacaktır.

Anadolu yüzeylenen intrüzif kayaların petrolojisi ve oluşum koşullarına ait çalışmalar günümüze değin yapılan faydalı çalışmalar yanında, geliştirilip güncelleştirilerek devam etmektedir (Aydın vd., 2019; Kuşçu vd., 2019; Deniz ve Kadioğlu, 2019; Aydınçakır vd., 2020; Özdamar vd., 2021; Deniz, 2022). Bu çalışmayla ilk olarak; KB Türkiye’de

yüzeyleyen Geç Kretase yaşlı Istranca İntrüziflerine ait tüm kaya gruplarında ortak bulunan mafik mineral (amfibol) içeriğinin KRS spektrumlarındaki değişimler ve mineral kimyası verileri kullanılarak magmanın kristalleşme süreçlerindeki değişimi ve her bir kaya grubunun kristalizasyon diferansiyasyon sürecindeki bileşimsel davranışları belirlenerek, ortamın petrolojik evriminin aydınlatılmasına yönelik yaklaşımlarda bulunulacaktır.

2. Çalışma Alanının Jeolojisi

Alp Himalaya Dağ Kuşağı’nda yer alan Türkiye, birçok mikrokita ve birliğin bir araya gelmesinden oluşmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999). Istranca Masifine ait kayalar KB Türkiye’den başlayarak Bulgaristan’a doğru genişleyerek yayılım sergilemektedir. Istranca Masifi güneyde Trakya Basenine ait Tersiyer sedimanlarıyla örtülürken, batıda K-G yönlü, doğrudan atımlı Batı Karadeniz fayıyla kesilmektedir (Okay vd., 2001) (Şekil 2). Istranca Masifinin temeli; ilksel yaşı Pre-Permiyen öncesi olarak tahmin edilen kristalin temelden ve bu metamorfik temeli kesen Geç Variskan intrüzyonlarından oluşmaktadır (Aydın, 1982; Sunal vd., 2006; Okay vd., 2008; Natal’in vd.,



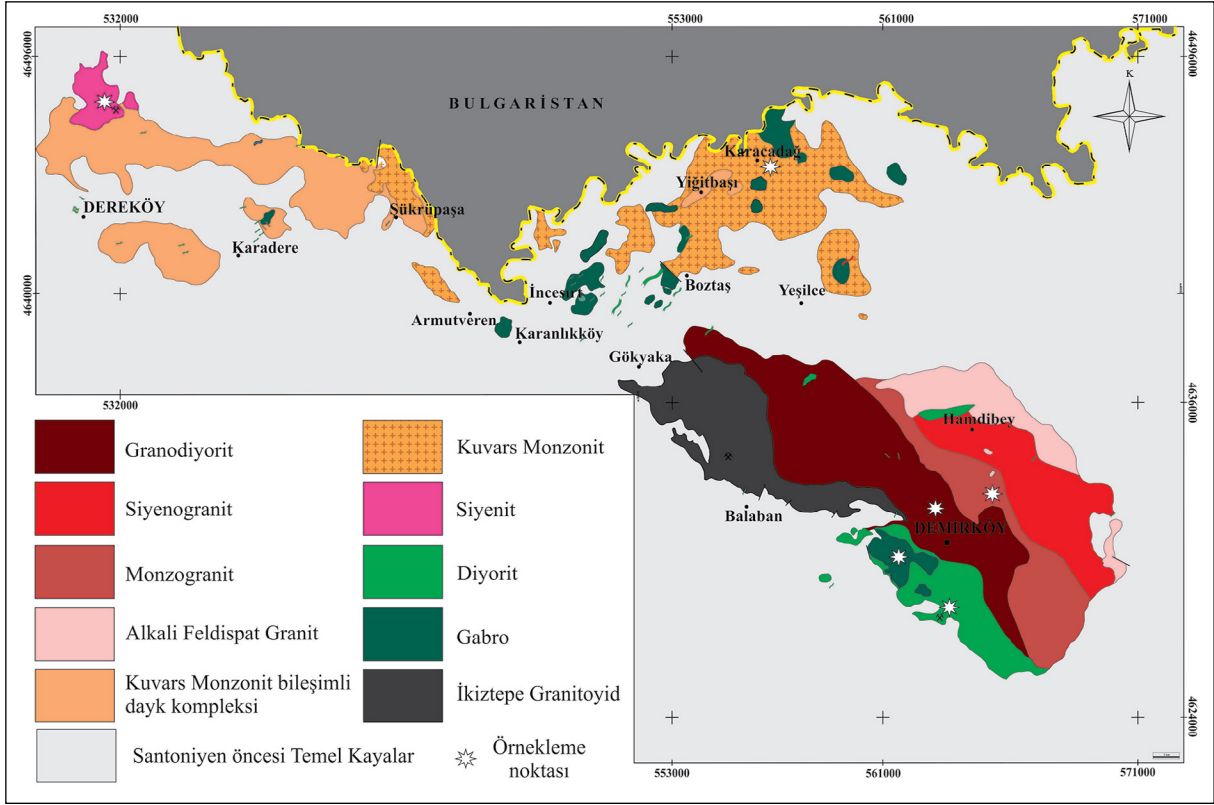
Şekil 2- Çalışma alanının Türkiye tektonik birlikleri içindeki konumu (MP: Moezya Platformu) (Harita Okay ve Tüysüz, 1999; Catto vd., 2018; Candan vd., 2016' dan değiştirilerek.).

2016). Temele ait tüm birimler, Variskan orojenezi süresince yeşilşist- amfibolit fasiyesi koşullarında metamorfizma ve deformasyona uğramıştır (Okay ve Yurtsever, 2006). Temel birimleri üzerine klastikten karbonata değişen alt amfibolit-üst yeşil şist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış Triyas-Jura yaşlı sedimanter örtü birimleri gelmekte olup (Aydın, 1974, 1982; Chatalov, 1988; Okay vd., 2001; Okay ve Yurtsever, 2006; Natal'in vd., 2005; Bedi vd., 2022), bu birimler son olarak Geç Jura' da yeşilşist fasiyesi koşullarında bölgesel metamorfizmaya ve sıkışmalı deformasyona uğramıştır (Aydın, 1988). Alpin orojenezi süresince, Neotetis okyanusunun kapanmasıyla ilişkili olarak gelişen magmatik yaya ait Geç Kretase intrüzyfleri Masife ait birimleri intrüzyf dokanakla kesmektedir (Şekil 3) (Aydın, 1974, 1982, 1988; Aykol, 1979; Moore vd., 1980; Ohta vd., 1988; Üşümezsoy, 1990; Aykol ve Tokel, 1991; Çağlayan ve Yurtsever, 1998; Karacık ve Tüysüz, 2010; Ulusoy,

2012; Ulusoy ve Kadioğlu, 2021; Ulusoy, 2021; Bedi vd., 2022). Jeokimyasal verilere göre bu intrüzyfler yitim ilişkili kökene sahiptir (Aykol ve Tokel, 1991; Karacık ve Tüysüz, 2010). Biyotit-hornblend-tüm kaya K-Ar ve Ar-Ar yaşları bu intrüzyflerin Santoniyen-Kampaniyen yaş aralığında olduğunu göstermektedir (Moore vd., 1980; Ohta vd., 1988; Kuşçu vd., 2019; Ulusoy, 2021). Masife ait tüm birimler Üst Kretase yaşlı metamorfizma geçirmemiş sedimanter, volkano-sedimanter ve volkanik birimlerle uyumsuz olarak örtülmektedir (Aydın, 1982; Okay ve Yurtsever, 2006). Doğu Srednogoric zonu içindeki volkano-plütonik komplekse ait olan bu volkanikler aynı sisteminin ürünü olup Geç Kretase yaşlı intrüzyflerle eşleniktir (Okay ve Yurtsever, 2006).

3. Analitik Yöntemler

Istranca İntüzyfleri bileşimsel farklılıklarına göre felsik ve mafik intrüzyf kayalar olarak iki ana gruba



Şekil 3- Çalışma alanında yüzeylenen Geç Kretase yaşlı Istrańca İntruziflerinin bileşimsel ve konumsal dağılım haritası (Ulusoy, 2021).

ayrılmıştır (Ulusoy, 2021). Bu gruplara ait kayalardan seçilen temsili örneklerin polarizan mikroskop altında ayrıntılı dokusal ve mineralojik incelemeleri yapılarak, enstrümental analizler gerçekleştirilmiştir.

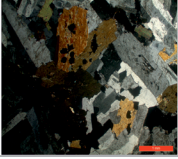
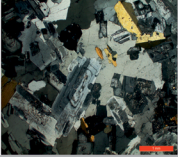
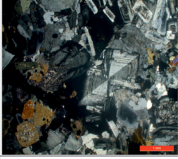

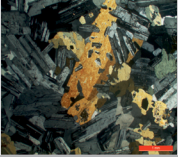

Istrańca İntruziflerini oluşturan her bir kaya grubunu temsil eden örneklerden amfibol minerallerinde yapılan yarı kalitatif KRS incelemeleri ve kantitatif elektron prob mikro analizleri (EPMA) Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır. KRS incelemeleri Termo marka DXR model KRS cihazı ile gerçekleştirilmiştir. KRS ölçüm sisteminin ana bileşenleri lazer, elektrik soğutmalı şarj bağlantılı cihaz dedektörü (CCD), optik mikroskoptan oluşmaktadır. Cihaz kalibrasyonu polistiren film kullanılarak test edilmiştir. Örneklere ait üzeri açık ince kesitlerden 633 cm^{-1} lazer kullanılarak, $0\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$ aralığında 2 cm^{-1} çözünürlükte Raman spektrumları elde edilmiştir. Bu spektrumlara göre minerallerin tür tespiti yapılmıştır. Aynı kayalara ait parlak kesitler Qurorum Q150TES cihazıyla karbon kaplandıktan sonra, seçilen kristaller beş dalga boyu dispersif spektrometre ile donatılmış JEOL marka JXA 8230

model Süper Prob ile 20 kV akım ve 20 nA hızlanma gerilimiyle analiz edilmiştir. Kalibrasyon ve ölçümler için doğal oksit ve mineral referans malzemeleri kullanılmıştır. Örnek hazırlama ve analiz sürecine ait koşullar Deniz (2022) çalışmasında tanımlandığı şekilde yürütülmüştür. Elde edilen verilerde matris etkileri JEOL tarafından sağlanan yazılım ile düzeltilerek, atom numarası (Z), absorpsiyon (A) ve floresans (F) etkileri için düzeltmeler yapılmıştır.

4. Araştırma Bulguları

4.1. Mineraloji - Petrografi

Istrańca Masifini kesen Geç Kretase yaşlı Istrańca İntruzifleri felsik ve mafik olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Kayalar makroskobik olarak genel itibarıyla iri taneli, faneritik dokulu gözlenirken; mikroskobik olarak ise holokristalin hipidiyomorf taneler doku sergilemektedir (Şekil 4). Felsik intruzifler granit, granodiyorit, kuvars monzonit ve siyenitten oluşmaktadır. Felsik grubun ana mineral içeriğini, bileşimine göre değişen oranlarda kuvars + plajiyoklaz (oligoklaz-andezin) + ortoklaz oluşturmaktadır.

	1 Granit	2 Granodiyorit	3 Kuvars Monzonit	4 Siyenit	5 Diyorit	6 Gabro
						
Doku	Holokristalen hipidiyomorf	Holokristalen hipidiyomorf	Holokristalen hipidiyomorf	Holokristalen hipidiyomorf	Holokristalen hipidiyomorf	Holokristalen hipidiyomorf
Ana Mineraller	AF, K, PLJ	PLJ, K, AF	PLJ, AF, K	AF, PLJ, K	PLJ ± K ± AF	PLJ ± K ± AF
Mafik Mineraller	Biyotit, amfibol	Biyotit, amfibol	Biyotit, amfibol, klinopiroksen	Biyotit, amfibol, klinopiroksen	Biyotit, amfibol, klinopiroksen	± Biyotit, amfibol, klinopiroksen ± olivin
Tali mineraller	Titanit, rutil, apatit, zirkon, opak min.	Titanit, rutil, apatit, zirkon, opak min.	Titanite, rutile, apatite, zircon, opaque min.	Titanit, rutil, apatit, zirkon, opak min.	opak min.	opak min.

Şekil 4- Istranca intrüziflerine ait kaya gruplarının petrografik karakteristiklerinin özeti (AF: alkali feldispat, K: kuvars; PLj: plajiyoklaz, kırmızı vurgulu mineral tüm kaya grupları içinde ortak gözlenen mafik fazı temsil etmektedir).

Granit ve granodiyoritlerde değişen oranlarda biyotit +amfibol; kuvars monzonit ve siyenitte ise bu minerallere ek olarak klinopiroksen mafik mineral bileşimini oluşturmaktadır. Ayrıca inceleme alanındaki siyenitin monzonitten farklı olarak az oranda nefelin içermesi de ayırtman bir özelliktir. Bir miktar ince taneli titanit, allanit, apatit, zirkon kristali ve saçınımlı manyetit kristalleri kaya grupları içinde tali olarak yer almaktadır. Mafik intrüzifler; diyorit ve gabro bileşimli olup felsik intrüzifleri kesmektedir. Saha gözlemlerinde diyorit bileşimindeki kayalar gabrolarla dereceli geçiş göstermesinden dolayı mafik intrüzifler içinde değerlendirmeye alınmıştır. Mafik kayaların ana bileşimini plajiyoklaz, amfibol, klinopiroksen ±biyotit ±olivine ±ortoklaz ±kuvars oluşturmaktadır. Değişen oranlarda manyetit, ilmenit ve pirit saçınımlı olarak mafik intrüzifler içinde yer almaktadır. Istranca İntüziflerine ait incelenen kayalarda plajiyoklazlarda zonlanma ve kısmen iri taneli minerallerde (ortoklaz, plajiyoklaz, amfibol vb.) ise poikilitik doku gözlenmektedir. Poikilitik ve zonlu dokuların bir arada bulunması düzensiz bir sıcaklık aralığında kristalizasyonun devam etmiş olabileceğini gösterebilmektedir. Feldispatlarda killeşme, sossuritleşme; mafik minerallerde ise Klinopiroksenlerin bir kısmında gözlenen, kristal çeperinden itibaren sadece amfibol grubu minerallere dönüşüm ile tanımlanan magmasal uralitleşme, bunun yanında bazı bölümlerde epidotlaşma ve kloritleşme gözlenen bozunma türleridir.

4.2. Konfokal Raman Spektroskopisi

Bu çalışma kapsamında Istranca İntüziflerinin felsik ve mafik bileşenlerini oluşturan kaya

gruplarının tümünde değişen oranlarda yer alan mafik bileşen amfibollerin KRS incelemeleri yapılmıştır. İncelemeler sürecinde seçilen amfibol kristallerinin mümkün olduğunca bozunmanın gözlenmediği, özşekli ve/veya yarı özşekli, amfibol kristallerinden seçilmesine özen gösterilmiştir. Istranca İntüziflerinde kristallenen amfibol minerallerinin karakteristik Raman kaymalarına ait sayısal değerlerin spektral bölgelere göre dağılımı Çizelge 2’de verilmiştir.

Amfibol spektrumundaki aralıklar; kation ve oksijen arasındaki etkileşimlerden gelen titreşimlerin bölgesi (M-O), içsel Si_4O_{11} band titreşimleri ve OH molekül titreşimlerinden oluşmaktadır (Apopei and Buzgar, 2010). Amfibole ait Raman kayma spektrumunda 625cm^{-1} altında kalan spektral alanlar çift zincir silikatın bükülme (deformasyon) alanı ve kation içeren çeşitli M bölgelerindeki titreşimlerden oluşmaktadır (Kloprogge vd., 2001; Rinaudo vd., 2004; Petry vd., 2006). $300\text{-}420\text{ cm}^{-1}$ arası spektral bölge T (M-OH), $420\text{-}610\text{ cm}^{-1}$ arası spektral bölge ise Si-O-Si bükülme titreşimlerinden oluşmaktadır (Makreski vd., 2006). Burada T geçiş modunu, M ise Ca-Fe-Mg kationlarını ifade etmektedir. $625\text{-}1130\text{ cm}^{-1}$ arası spektral bölge kristalin içsel titreşimlerinden kaynaklı olup kristali oluşturan Si-O-Si ve O-Si-O bağlarının simetrik (Vs) ve asimetrik (Vas) titreşimlerinden oluşmaktadır (Kloprogge vd., 2001; Rinaudo vd., 2004).

İnceleme alanında yer alan farklı kompozisyonlardaki kayaların içerdiği amfibollerin KRS incelemesi sonucu amfibollerin aktinolit bileşiminde olduğu belirlenmiştir. Örneklerde tespit edilen aktinolit türü amfibollere ait spektrumlar

Çizelge 2- Istranca masifinde kristallenen amfibol minerallerin karakteristik Raman kayma değerleri.

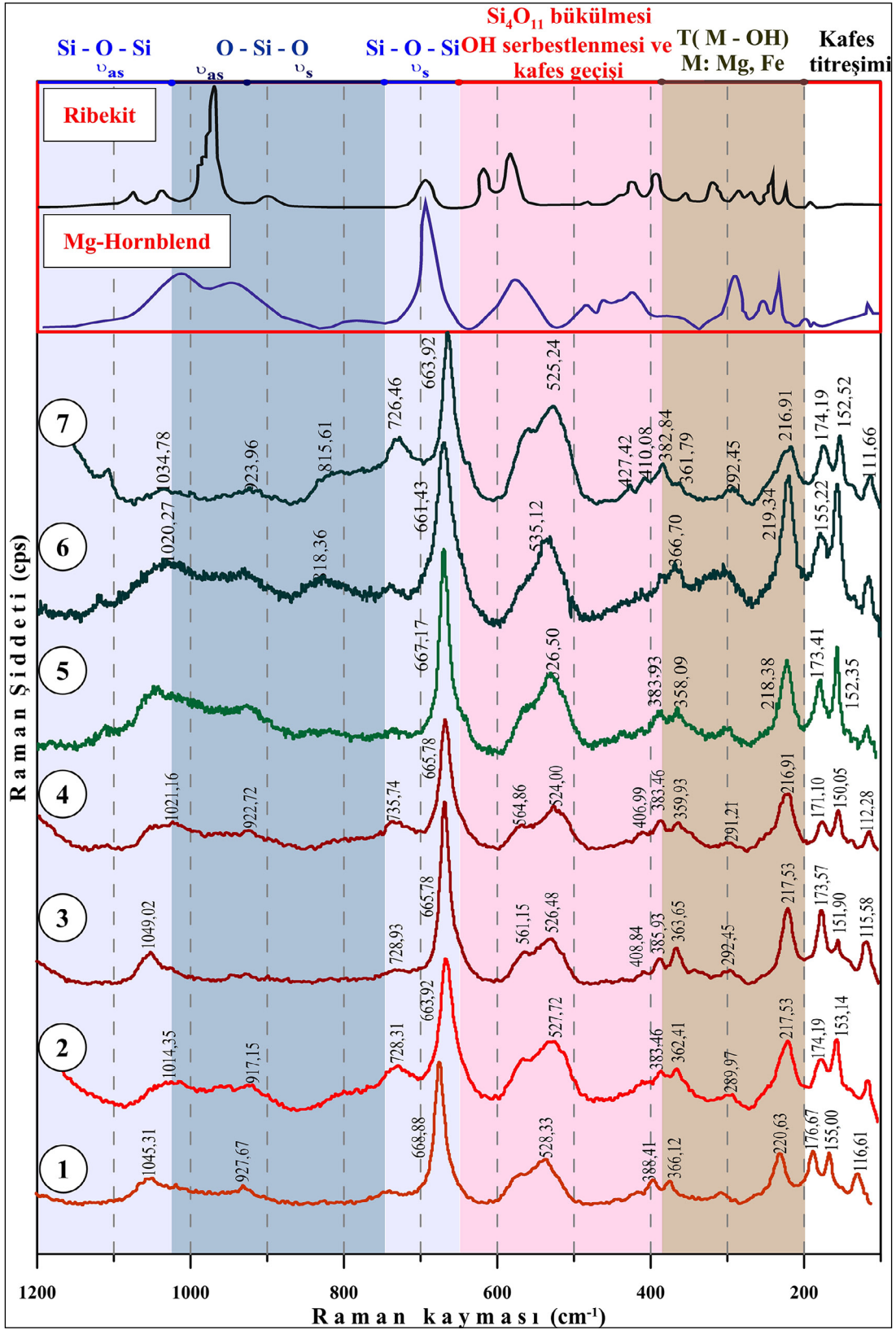
	Spektral Bölgeler	Si-O-Si	O-Si-O	Si-O-Si	Si	Si ₄ O ₁₁ -OH	T-M- OH (M: Mg,Fe)
	Raman Kayması (cm ⁻¹)	1200-1021	1021-735	735-500	500-383	383-173	173-50
Kaya Adı	Gabro	•1020,27	•818,36	•661,43	•535,12	•366,70 •319,34	•155,22
	Diyorit			•667,17	•526,50	•383,93 •358,09 •218,38	•173,41 •152,35
	Siyenit	•1021,16	•922,72 •735,74	•665,78 •564,86 •524,00	•406,99 •383,46	•359,93 •291,21 •216,91	•171,10 •150,05 •134,57 •112,28
	Kuars Monzonit	•1049,02		•728,93 •665,78 •561,15 •526,48	•408,84 •385,93	•363,65 •292,45 •217,53 •173,57	•151,90 •115,38
	Granodiyorit		•1014,35 •917,15	•728,31 •663,92 •527,72	•383,46	•362,41 •289,97 •217,53 •174,19	•153,14
	Granit	•1045,31	•927,67	•668,88 •528,33	•388,41	•366,12 •220,63 •176,67	•155,00

incelendiğinde genel anlamda spektrumların birbirleriyle örtüştüğü gözlenmektedir (Şekil 5). Mg-hornblend ve Na-amfibol (Ribekit)'e ait raman kaymalarıyla Istranca İntüziflerine ait amfibollerin raman kaymaları karşılaştırıldığında Istranca İntüziflerine ait amfibollerin Na- amfibol (ribekit) referans üyesine göre belirgin farklılık sergilerken, Mg-Hornblend referans üyesine ise açık şekilde benzerlik gösterdiği gözlenmektedir. OH serbestlenmesi ve kafes geçişini ifade eden 420-610 cm⁻¹ arasında gözlenen raman kayma pikleri felsik intrüziflerden mafik intrüziflere doğru değişim sergilemektedir. OH serbestlenmesi ve kafes geçişine ait pikler magmatizmanın erken evresinde düşük genlik sergilemekte daha sonraki evrelerde ise yükselmektedir (Kadioğlu vd., 2019; Güllü vd., 2019). Granitlerdeki yüksek sıcaklık mineralini temsil eden amfiboller kısmen düşük genliğe sahip pik verirken, gabrolardaki amfiboller ise nispeten daha düşük sıcaklık minerali olması sebebiyle daha yüksek genliğe sahip pik vermektedir. Güllü vd. (2019) geç evrede kristallenen amfibollerin Si₄O₁₁ bükülme modu OH bağı genliklerinin, erken evrede kristallenen amfibol minerallerinde daha yüksek olduğu şeklinde ifade edilmiştir.

Benzer şekilde Istranca İntüzifleri içindeki bu tür amfibollerde gelişen yüksek genlikli OH bağı da geç evredeki artık magmadaki H₂O konsantrasyonu ile ilişkili olabilir.

Bu bağlamda çalışma alanında erken evre olarak değerlendirilen kaya grupları gabro-diyorit bileşimindeki kayaları temsil ederken geç evre kaya grupları ise granit ve granodiyoritler ile temsil edilmektedir.

Ayrıca magma karışımı süreçlerinin inceleme alanında yüzeylenen intrüzif kayalarda belirgin şekilde varlığı; granit içinde yer alan amfibol ile gabro bileşimli kaya içinde yer alan amfibolün raman spektrumlarının benzerliği ile desteklenebilir. Optik mikroskop altında yapılan incelemelerde ve mineral kimyası analizlerinde hornblend olarak belirlenen amfibollerin KRS incelemelerinde aktinolit olarak belirlenmesi de benzer şekilde magma karışım süreçleriyle açıklanabilir. Çalışma alanında yer alan intrüziflerin bileşiminin mafikten ortaç ve felsik bileşime doğru değiştiği gözlenmektedir. Elde edilen jeolojik, petrografik ve spektroskopik verilere göre tüm kayalarda magma karışımı gözlenmektedir (Ulusoy ve Kadioğlu, 2021; Ulusoy, 2021). Bu



Şekil 5- Her bir kaya grubundan seçilen amfibol kristallerine ait Raman spektrumlarının birbiriyle, referans olarak alınan sodik ve kalsik bileşimli amfibol minerallerine ait Raman kayma pikleriyle karşılaştırması (*: RRUFF, 2021; Ruff.info sitesinden alınmış Ribekit ve Mg-Hornblend referans pikleri) (1: Granit (Monzogranit), 2: Granodiyorit, 3: Kuvars Monzonit, 4: Siyenit, 5: Diyorit, 6: Gabro).

bağlamda amfibollerin belirli bir kısmında magmasal uralitleşme sonucu aktinolitden çermakite kadar değişim sergilediği görülmektedir. Gabroyik kayalara ait kaynak magmadan kristalleşen mafik minerallerde normal koşullarda OH bağı beklenemez, ancak bu tür magmaların kristalleşme dönemlerinde felsik magmalar ile karışarak asidik ve bazik elementlerin etkileşime girmesiyle sulu silikatların (amfibol grubu mineraller) kristalleşmeleri gerçekleşebilmektedir.

Tüm amfibollerin Raman kayma spektrumları karşılaştırıldığında 6 ayrı bantta dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 5). Gruptaki tüm kayaların Raman kayma spektrumlarının belirgin örtüşme gösterdiği ve özellikle gabrodan granite doğru $\text{SiO}_4\text{O}_{11}\text{-OH}$ serbestlenme bandında genişleyerek daha yayvan bir spektrum aralığı gösterdiği belirlenmiştir. OH bandında spektrumun serbestleşmesi gabrodan granite doğru magmanın su içeriğinin artması ve sonuç olarak sulu mafik (aktinolit) silikatların kristalleşmesi ile açıklanabilir (Şekil 5 ve Çizelge 2).

4.3. Amfibol Kimyası

Sulu, çift zincir silikat minerali olan amfiboller; inceleme alanındaki tüm kaya grupları içinde en yaygın gözlenen mafik mineraldir. Değişen kristal boyundaki amfibol mineralleri; yarı özşekilli ve özşekilli formlu olup, kısmen iri taneli kristalleri poikilitik doku sergilemektedir. Genel anlamda Istranca intrüziflerine ait kayalardaki amfiboller mikroskop altında homojen yapı sergilemektedir. Felsik ve mafik kaya gruplarından seçilen amfibol kristallerinden çeperden merkeze doğru bir hat boyunca seri noktasal ölçüm yapılmıştır.

Elde edilen anaoksit değerlerine göre stokiyometrik hesaplamalar yapılarak her bir noktanın içerdiği katyon sayıları belirlenmiştir. Katyon sayıları ve mineral yapısı 23 O alınarak Leake vd. (1997)'ne göre hesaplanmıştır. İncelemesi yapılan kaya gruplarına ait amfibollerin temsili mineral kimyası analiz sonucu anaoksit değerleri ve hesaplanan katyon değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.

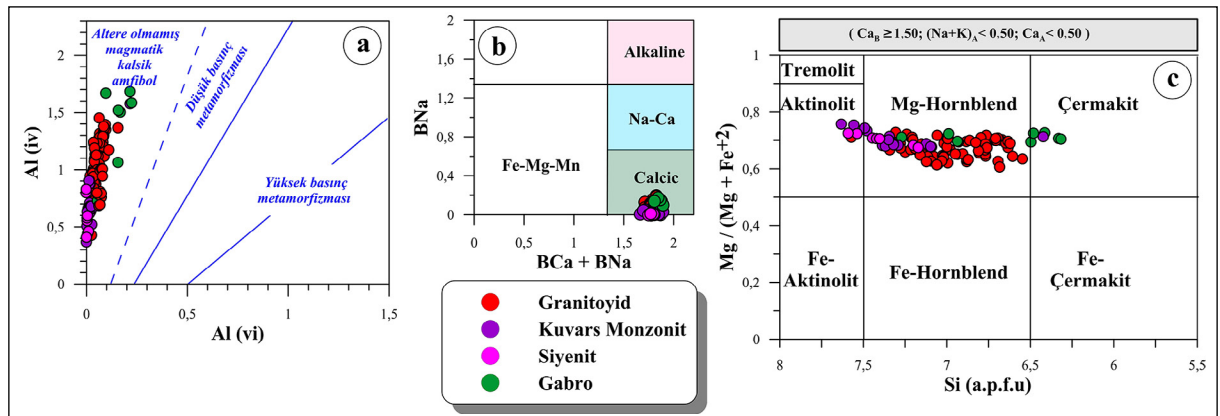
Al^{vi} karşı Al^{iv} değişim diyagramında tüm amfiboller; altere olmamış kalsik magmatik

amfibol alanına düşmektedir (Şekil 6a). (Ca + Na) B değerlerinin 1'den büyük olduğu noktaların BCa + BNa karşı BNa değişim diyagramındaki dağılımına göre örneklerin tamamı kalsik bileşimlidir (Şekil 6b). CaB'nin 1.50'den büyük, (Na+K)A ve CaA değerlerinin ise 0.50'den küçük olduğu noktaların Mg/(Mg+Fe⁺²) karşı Si değişim diyagramında dağılımında amfibollerin büyük bölümünün Mg-hornblend alanına düştüğü, az oranda noktanın ise aktinolit ve çermakit sınırında yer aldığı görülmektedir (Şekil 6c). Söz konusu diyagramdaki dağılım magma karışımı/kabuk etkileşiminin fazla olduğu kayalara ait örneklerde amfibol bileşiminin Mg-hornblend alanında yoğunlaştığı şeklinde yorumlamak mümkündür. Buna göre mafik intrüziflerin homojen ve daha az magma karışımı etkisi gösterdiğini, buna karşılık felsik intrüziflerin (granit, granodiyorit, kuvars monzonit ve siyenit) ise daha fazla magma karışımı etkisi gösterdiğini söylemek mümkündür.

Ridolfi vd. (2010)'nin önerdiği şekilde amfibollerde basınç ve sıcaklık hesaplamaları yapılmıştır. Buna göre amfibollerin granitlerde 0,56-1,19 kbar basınç, 745,25-799,62°C sıcaklık; granodiyoritlerde 0,37-1,28 kbar basınç, 704,07-872,33°C sıcaklık; kuvars monzonitlerde 0,42-0,56 kbar basınç, 738,15-772,79°C sıcaklık; siyenitlerde 0,35-0,63 kbar basınç, 738,15-772,79°C sıcaklık aralığında; gabrolarda ise 1,82-3,34 kbar basınç, 862,15-919,61°C sıcaklık aralığında kristallendiği belirlenmiştir. Buna göre felsik intrüziflerdeki amfibollerin ortalama 3,61 km ile 1,88 km arasında, mafik intrüziflerdeki amfibollerin ise ortalama 9,97 km derinlikte kristallendiği teorik olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4). Buradan hareketle felsik intrüzif kayaların daha çok üst kabukta kristalleştiği ve benzer derinliklerden geldikleri içinde benzer kökene sahip olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Farklı kaynaktan türeyen gabroyik kayaların ise daha derinlerden (alt kabuk-manto) gelerek granitoidlere nazaran daha derinlerde (9,97 km) kristalleşmiş olabilecekleri ortaya konulmuştur. Ayrıca felsik kayalarda gözlenen gerek kristalleşme sıcaklıklarının, gerekse oluştukları ortamın basınçlarındaki örtüşmelerin fazlalığının magma karışımı nedeniyle olabileceği görülmektedir.

Çizelge 3- İncelemesi yapılan kaya gruplarına ait örneklerin temsili mineral kimyası analiz sonuçları.

Örnek	Granit			Granodiyorit			Kuars Monzonit			Siyenit			Gabro		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	48,30	49,71	50,97	47,84	46,11	49,38	50,64	51,18	50,23	51,51	51,23	49,49	43,68	50,58	43,41
TiO ₂	0,84	0,69	0,55	0,64	1,75	0,57	0,69	0,84	0,94	0,45	0,56	1,06	2,14	0,20	2,18
Al ₂ O ₃	6,36	4,97	4,50	5,91	8,13	5,11	4,05	3,86	4,23	3,27	3,41	4,85	10,33	4,62	11,07
FeO	15,58	14,86	14,26	17,48	15,29	15,95	13,78	13,41	13,95	13,21	12,95	14,18	16,42	15,64	15,14
MgO	14,04	14,81	15,24	13,06	13,97	14,34	15,66	16,06	15,47	16,16	16,17	15,44	12,89	14,5	12,92
CaO	10,80	10,84	10,99	10,75	10,58	10,67	10,71	10,74	10,81	11,57	11,52	11,29	10,94	11,65	10,97
MnO	0,74	0,77	0,81	0,74	0,32	0,71	1,09	1,10	1,06	0,61	0,66	0,66	0,30	0,25	0,30
Na ₂ O	1,19	0,96	0,74	1,03	1,61	0,93	1,27	1,13	1,19	0,91	1,04	1,40	1,71	0,68	1,82
K ₂ O	0,44	0,39	0,29	0,46	0,47	0,37	0,34	0,34	0,39	0,25	0,32	0,50	0,59	0,19	0,63
Total	98,41	98,00	98,35	97,90	98,20	98,03	98,22	98,65	98,28	98,87	98,35	98,67	98,99	98,36	98,43
O	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Katyon	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Si	6,99	7,20	7,31	7,03	6,70	7,18	7,32	7,29	7,34	7,45	7,42	7,17	6,33	7,27	6,32
Al ^{iv}	1,01	0,80	0,69	0,97	1,30	0,82	0,68	0,71	0,66	0,55	0,58	0,83	1,67	0,73	1,68
Al ^{vi}	0,08	0,05	0,07	0,05	0,09	0,05	0,02	0,02	0,03	0	0	0	0,10	0,05	0,22
Ti	0,09	0,08	0,06	0,07	0,19	0,06	0,09	0,10	0,07	0,05	0,06	0,12	0,23	0,02	0,24
Fe ⁺²	1,18	1,23	1,12	1,44	1,09	1,28	1,37	1,39	1,35	1,30	1,33	1,44	1,05	1,19	1,08
Fe ⁺³	0,62	0,44	0,49	0,59	0,61	0,50	0,16	0,14	0,17	0,16	0,12	0,11	0,84	0,61	0,67
Mg	3,03	3,20	3,26	2,86	3,02	3,11	3,37	3,35	3,38	3,48	3,49	3,34	2,78	3,12	2,80
Mn	0,09	0,09	0,10	0,09	0,04	0,09	0,12	0,13	0,13	0	0	0	0,04	0,03	0,04
Ca	1,68	1,68	1,69	1,69	1,65	1,66	1,69	1,68	1,66	1,79	1,79	1,75	1,70	1,79	1,71
Na	0,15	0,10	0,12	0,09	0,16	0,09	0,03	0,03	0,05	0	0,01	0	0,16	0,10	0,15
K	0,08	0,07	0,05	0,09	0,09	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,06	0,09	0,11	0,03	0,12
Toplam	14,99	14,95	14,96	14,96	14,93	14,91	14,91	14,91	14,91	14,84	14,85	14,84	15,01	14,96	15,02
CaB	1,68	1,66	1,68	1,69	1,65	1,66	1,69	1,68	1,66	1,79	1,79	1,75	1,70	1,79	1,71
NaB	0,15	0,14	0,10	0,09	0,16	0,09	0,03	0,03	0,05	0	0,01	0	0,16	0,10	0,15
NaA	0,19	0,14	0,17	0,20	0,30	0,17	0,29	0,30	0,31	0,25	0,29	0,40	0,32	0,09	0,36
KA	0,08	0,14	0,17	0,20	0,30	0,17	0,07	0,07	0,06	0,05	0,06	0,09	0,11	0,03	0,12

Şekil 6- İnceleme alanında yer alan kaya gruplarına ait amfibollerin; a) Al^{iv} karşı Al^{vi} değişimi (Fleet ve Barnett 1978), b) BNa karşı BNa + BCa değişimi ve c) Mg/(Mg+Fe⁺²) karşı Si diyagramında kristallerin tür adlanması (Leake vd., 1997).

Çizelge 4- Istranca masifindeki intrüzif kayaların amfibollerdeki mineral kimyasal bileşimine göre kristalleşme koşulları ve derinlikleri (Ridolfi vd., 2010).

Kaya Türü	Sıcaklık (T) (°C)	Basınç (P) (kbar)	Derinlik (km)
Granit	min	745,25	0,56
	max	799,62	1,19
Granodiyorit	min	704,07	0,37
	max	872,33	1,28
Siyenit	min	710,34	0,35
	max	797,49	0,63
Kuars Monzonit	min	738,15	0,42
	max	772,79	0,56
Gabro	min	862,15	1,82
	max	919,61	3,34

5. Sonuçlar

Yitim ilişkili gelişen Geç Kretase yaşlı Istranca İntüzifleri felsik ve mafik intrüzifler olarak iki grupta incelenmiştir. Felsik intrüzifler granit, granodiyorit, kuvars monzonit ve siyenitten, mafik intrüzifler ise diyorit ve gabrodan oluşmaktadır. Istranca İntüziflerinde eş yaşlı magma karışım süreçlerine ait belirteçler makroskobik, mikroskobik bulgularla gözlenmektedir. Magma karışım ürünü olan Istranca İntüziflerinde tüm kaya grupları içinde ortak gözlenen amfibol kristallerinde mineral kimyası ve konfokal raman spektrometre çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sulu silikat minerali olan amfibollerin mineral kimyası sonuçlarına göre kalsik, Mg-hornblend türüdür. Amfibol kristallerinde yapılan P-T-d hesaplamalarına göre felsik intrüziflerin 0,35-1,28 kbar basınç, 704,07-872,33°C sıcaklık aralığında, yaklaşık 4,93 km ile 1,34 km arası derinlikte kristallenirken; mafik intrüziflerin ise 1,82-3,34 kbar basınç 862,15-919,61°C sıcaklıkta aralığında ve 7,01-12,86 km arası derinlikte kristallendiği belirlenmiştir. Felsik intrüziflerin gerek kristalleşmedeki termobarometrik koşullarında, gerekse kristalleştikleri derinliklerde benzer ve örtüşmelerin olması fazla oranda magma karışımın gerçekleştiği buna karşı mafik intrüziflerin daha farklı termobarometrik ilişki sergilemesi ve farklı derinliklerde kristalleşme göstermesi farklı kaynaklardan türeyerek oransal olarak daha az magma karışım sergilediğini ifade etmektedir. KRS ile yapılan spektroskopik incelemelerde amfibollerin oluşumunda felsik ve mafik magma karışımının etkili olduğunu ve daha çok aktinolit türü amfibollerin kristallendiği belirlenmiştir. Sonuç olarak Istranca

intrüziflerindeki amfibol minerallerinin mineraloji, petrografi, KRS ve EPMA verileri benzer petrolojik sonuçlara işaret ederek felsik intrüziflerin benzer kökene sahip olduğunu ve magma karışımı sonucu oluştuğunu buna karşı mafik intrüziflerin ise daha derin kaynaklı olduğunu ve magma karışımından daha az etkilendiğini yansıtmaktadır.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığınca 2016-2017 yıllarında yürütülen “Türkiye Plütonları Veri Tabanı” projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecindeki desteklerinden dolayı Dr. Kıymet DENİZ’e (Ankara Üniversitesi) teşekkür ederiz. Değerlendirme sürecindeki yapıcı eleştirileri ve önerileriyle çalışmamızın gelişimini sağlayan Prof. Dr. Orhan KARSLI’ya ve ismi belirtilmeyen iki hakemimize teşekkür ederiz.

Değinilen Belgeler

- Akçe, M. A., Kadioğlu, Y. K. 2020. Raman Spektroskopisinin İlkeleri ve Mineral Tanımlamalarında Kullanılması. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi 9 (2), 99-115.
- Apopei, A. I., Buzgar, N. 2010. The Raman study of amphiboles. Anale Stiintifice de Universitatii AI Cuza din Iasi, Section 2. Geologie 56 (1), 57.
- Aydın, Ü., Şen, P., Özmen, Ö., Şen, E. 2019. Petrological and geochemical features of Biga Peninsula granitoids, NW Anatolia, Turkey. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 160 (160), 81-115.
- Aydın, Y. 1974. Etude pétrographique et géochimique de la partie centrale du Massif d’Istranca (Turquie). Thsede Docteur, Universit de Nancy, 131, Ingénieur.
- Aydın, Y. 1982. Yıldız Dağları (Istranca) Masifi’nin jeolojisi. Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 106, İstanbul.
- Aydın, Y. 1988. Yıldız Dağları Masifi’nin Jeolojisi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2, 61-74.
- Aydınçakır, E., Gündüz, R., Yücel, C. 2020. Emplacement conditions of magma (s) forming Jurassic plutonic rocks in Gümüşhane (Eastern Pontides, Turkey). Bulletin of the Mineral Research and Exploration 162 (162), 175-196.

- Aykol, A. 1979. Kırklareli Demirköy Sokulumu'nun petroloji ve jeokimyası. Doktora Tezi, İTÜ, Maden Fakültesi, 204.
- Aykol, A., Tokel, S. 1991. The geochemistry and tectonic setting of the Demirköy pluton of the Srednogorie-Istranca granitoid chain, NW Turkey. *Mineralogical Magazine* 55 (379), 249-256.
- Bedi, Y., Ulusoy, E., Yusufoglu H., Boncheva, I., Vasilev, E., Dabovski, C., Sachanski, V., Ivanova, D., Lakova, I. 2022. Istranca Kristalen Kompleksinin Tektonostratigrafik Özellikleri ve Bulgaristan'daki İstiflerle Korelasyonu Sonuç Raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 835.
- Bodnar, R. J., Frezzotti, M. L. 2020. Microscale chemistry: Raman analysis of fluid and melt inclusions. *Elements: an International Magazine of Mineralogy, Geochemistry, and Petrology* 16 (2), 93-98.
- Candan, O., Akal, C., Koralay, O. E., Okay, A. I., Oberhänsli, R., Prelević, D., Mertz-Kraus, R. 2016. Carboniferous granites on the northern margin of Gondwana, Anatolide-Tauride Block, Turkey—Evidence for southward subduction of Paleotethys. *Tectonophysics* 683, 349-366.
- Catto, S., Cavazza, W., Zattin, M., Okay, A. I. 2018. No significant Alpine tectonic overprint on the Cimmerian Strandja Massif (SE Bulgaria and NW Turkey). *International Geology Review*, 60(4), 513-529.
- Chatalov, G. 1988. Recent developments in the geology of the Strandzha Zone in Bulgaria. *Bulletin Technical University of İstanbul*, 41, 433-466.
- Chukanov, N. V., Vıgasina, M. F. 2020. Vibrational (Infrared and Raman) spectra of minerals and related compounds. Springer, Cham, Switzerland, 1-1376.
- Çağlayan, M. A., Yurtsever, A. 1998. Burgaz-A3, Edirne-B2 ve B3; Burgaz-A4 ve Kırklareli-B4; Kırklareli-B5 ve B6; Kırklareli-C6 Paftaları, 1:100 000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji Haritaları No: 20, 21, 22, 23. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Deniz, K. 2010. Buzlukdağı (Kırşehir) alkali magmatik kayaların jeolojisi, petrolojisi ve konfokal raman spektrometresi ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 138.
- Deniz, K. 2022. Mica Types as Indication of Magma Nature, Central Anatolia, Turkey. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 96 (3), 844-857.
- Deniz, K., Kadioğlu, Y.K. 2019. Investigation of feldspar raw material potential of alkali feldspar granites and alkali feldspar syenites within Central Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 158 (158), 265-289.
- Ferrando, S. 2018. Raman spectroscopy in Earth Sciences. GNM-SIMP “Physical Properties of Minerals” School, 12-15 February 2018, Brixen.
- Ferraro J. R., Nakamoto, K., Brown, C. W. 2003. *Introductory Raman Spectroscopy* 2nd Ed. Academic Press. San Diego, 434.
- Fleet, M. E., Barnett, R. L. 1978. Al iv/Al vi partitioning in calciferous amphiboles from the Froid Mine, Sudbury, Ontario. *The Canadian Mineralogist* 16 (4), 527-532.
- Frezzotti, M. L., Tecce, F., Casagli, A. 2012. Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis. *Journal of Geochemical Exploration* 112, 1-20.
- Güllü, B., Kadioğlu, Y. K., Koralay, T., Deniz, K. 2019. Raman characteristics of Gucunkaya (Aksaray) gabbroic rocks, central Anatolia-Turkey. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 28.06-07.07.2019, Albena, 475-482.
- Kadioğlu, Y. K., Deniz, K., Korala, T., Güllü, B. 2019. Nature of the gabbro in Central Anatolia: Geological observation and spectroscopic applications, Turkey. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 28.06-07.07.2019, Albena, 377-384.
- Karacan, M. S. 2020. “Enstrümental Analiz” Ders Notları, Ankara (yayımlanmamış).
- Karacık, Z., Tüysüz, O., 2010. Petrogenesis of the Late Cretaceous Demirköy Igneous Complex in the NW Turkey Implications for the magma genesis in the Strandja Zone. *Lithos*, 114 (3-4), 369-384.
- Kloprogge, J. T., Case, M. H., Frost, R. L. 2001. Raman microscopic study of the Li amphibole holmquistite, from the Martin Marietta Quarry, Bessemer City, NC, USA. *Mineralogical Magazine* 65 (6), 775-785.
- Kuşçu, İ., Tosdal, R. M., Gençlioğlu-Kuşçu, G. 2019. Episodic porphyry (Cu-Mo-Au) formation and associated magmatic evolution in Turkish Tethyan collage. *Ore Geology Reviews* 107, 119-154.
- Leake, B. E., Woolley, A. R., Arps, C. E., Birch, W. D., Gilbert, M. C., Grice, J. D., Hawthorne, F. C., Kato, A., Kisch, J. H., Krivovichev, G. V., Linthout,

- K., Laird, J., Mandarino, S. A., Maresch, V. W., Nickel, E. H., Schumacher, C. J., Smith, D. C., Stephenson, N. C. N., Ungaretti, L., Whittaker, E. J. W., Youzhi, G. 1997. Nomenclature of amphiboles; report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *Mineralogical Magazine*, 61 (405), 295-310.
- Makreski, P., Jovanovski, G., Gajović, A., Biljan, T., Angelovski, D., Jaćimović, R. 2006. Minerals from Macedonia. XVI. Vibrational spectra of some common appearing pyroxenes and pyroxenoids. *Journal of Molecular Structure* 788 (1-3), 102-114.
- McMillan, P. F., Hofmeister, A. M. 2018. Infrared and Raman spectroscopy. In *Spectroscopic Methods in Mineralogy and Geology*, 99-160.
- Moore, W. J., McKee, E. H., Akıncı, Ö. 1980. Chemistry and chronology of plutonic rocks in the Pontid mountains, northern Turkey. Inc Symposium European Copper Deposits congress 18-22 September, Belgrade, 209-216.
- Nasdala, L., Schmidt, C. 2020. Applications of Raman spectroscopy in mineralogy and geochemistry. *Elements: an International Magazine of Mineralogy, Geochemistry, and Petrology* 16 (2), 99-104.
- Natal'in B.A., Satır M., Sunal G., Toraman E. 2005. Structural and metamorphic evolution of the Strandja masif. *Türkiye Bilimsel Teknik Araştırma Kurumu, Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu*, Ankara.
- Natal'in, B. A., Sunal, G., Gün, E., Wang, B., Zhiqing, Y. 2016. Precambrian to Early Cretaceous rocks of the Strandja Massif (northwestern Turkey): evolution of a long lasting magmatic arc. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 53 (11), 1312-1335.
- Ohta, E., Doğan, R., Batık, H., Abe M. 1988. Geology and mineralization of Dereköy porphyry copper deposit, northern thrace, Turkey. *Bulletin of the Geological Survey of Japan* 39 (2), 115-134.
- Okay, A. I., Bozkurt, E., Satır, M., Yiğitbaş, E., Crowley, Q. G., Shang, C. K. 2008. Defining the southern margin of Avalonia in the Pontides: Geochronological data from the Late Proterozoic and Ordovician granitoids from NW Turkey. *Tectonophysics*, 461 (1-4), 252-264.
- Okay, A. I., Satır, M., Tüysüz, O., Akyüz, S., Chen, F. 2001. The tectonics of the Strandja Massif: late-Variscan and mid-Mesozoic deformation and metamorphism in the northern Aegean. *International Journal of Earth Sciences*, 90 (2), 217-233.
- Okay, A. I., Tüysüz, O. 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F. Serrane, M. (Ed). *The Mediterranean Basins Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society of London, Special Publications 156, 475-515.
- Okay A. I., Yurtsever, A. 2006. Trakya Bölgesi litostratigrafi birimleri: stratigrafi komitesi litostratigrafi birimleri serisi-2. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları*, 1-41.
- Özdamar, Ş., Roden, M. F., Zou, H., Billor, M. Z., Hames, W., Georgiev, S., Dunkl, I. 2021. Petrogenesis of oligocene plutonic rocks in western Anatolia (NW Turkey): insights from mineral and rock chemistry, Sr-Nd isotopes, and U-Pb, Ar-Ar and (U-Th)/He geochronology. *Geochemistry*, 81 (2), 125747.
- Petry, R., Mastalerz, R., Zahn, S., Mayerhöfer, T. G., Völksch, G., Viereck-Götte, L., Kreher-Hartmann, B., Holz, L., Lankers, M., Popp, J. 2006. Asbestos mineral analysis by UV Raman and energy-dispersive X-ray spectroscopy. *Chemphyschem: a European Journal of Chemical Physics and Physical Chemistry*, 7 (2), 414-420.
- Raman, C. V., Krishnan, K.S., 1928. The Negative Absorption of Radiation. *Nature* 122 (3062), 12-13.
- Ridolfi, F., Renzulli, A., Puerini, M. 2010. Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes. *Contributions to Mineralogy Petrology*, 160 (1), 45-66.
- Rinaudo, C., Belluso, E., Gastaldi, D. J. M. M. 2004. Assessment of the use of Raman spectroscopy for the determination of amphibole asbestos. *Mineralogical Magazine*, 68 (3), 455-465.
- RRUFF (Database of Raman spectra, X-ray diffraction and chemistry data for minerals). <http://rruff.info/>. 27.02.2021
- Skoog D. A., Holler F. J., Nieman T. A. 1998. *Principles of Instrumental Analysis*. Saunders College Publishing, 849.
- Sunal, G., Natal'in, B.A., Satır, M., Toraman E. 2006. Paleozoic magmatic events in the Strandja Massif, in NW Turkey. *Geodinamica Acta*, 19 (5), 283- 300.

- Şengör, A. C., Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75 (3-4), 181-241.
- Ulusoy, E. 2012. Demirköy (Kırklareli) intrüzif kayaçlarının jeolojisi ve petrolojisi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 135.
- Ulusoy, E. 2021. Istranca Masifindeki Mesozoyik intrüziflerinin tektonomagmatik evrimi, KB Türkiye/Tectonomagmatic evolution of Mesozoic intrusives of Strandja Massif, NW Turkey. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 258.
- Ulusoy, E., Kadioğlu, Y. K. 2021. Petrography and geochemical decomposition parameters of crystalline rocks; Demirköy intrusive body (DIB), NW Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 165 (165), 253-365.
- Üşümezsoy, Ş. 1990. Istranca orojeni; Karadeniz çevresi Kimmerid orojen kuşakları ve masif sülfid yatakları. *Türkiye Jeoloji Bülteni* 33 (1), 17-28, Ankara.
- Watenphul, A., Burgdorf, M., Schlüter, J., Horn, I., Malcherek, T., Mihailova, B. 2016. Exploring the potential of Raman spectroscopy for crystallochemical analyses of complex hydrous silicates: II. Tourmalines. *American Mineralogist*, 101 (4), 970-985.
- Young, A. T. 1981. Rayleigh scattering. *Applied Optics*, 20 (4), 533-535.
- Zoroğlu, O., Kadioğlu, Y. K. 2007. Behavior of amphiboles in the determination of magma zoning using confocal Raman spectrometry: Beypazarı Oymaağaç granitoid-Ankara Turkey. In *Second International Conference on Geo-Resources in The Middle East and North Africa (GRMENA-2)*, 24-28 February 2007, Egypt, 110-111.