

ÇATALDAĞ (BALIKESİR) GRANİTOYİDİNİN PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Petrographic and Geochemical Characteristic of Çataldağ (Balıkesir) Granitoid

Özgür SAPANCI¹ Dağhan ÇELEBİ² ve Necla KÖPRÜBAŞI²

ÖZET

Çalışma alanında stratigrafik olarak en altta bulunan Paleozoyik yaşlı mermer arakatlı amfibolitist ve mikaşistten oluşan Fazlıkonağı formasyonu, Permian yaşlı kireçtaşı bloklarını bünyesinde barındıran Alt Triyas yaşlı konglomera, kumtaşı, çamurtaşı birimlerinden oluşan Karakaya formasyonu, Jura yaşlı tanımlanmamış kristalize kireçtaşları ve mermer birimleri, ile tüm bu formasyon ve birimleri tektonik dokanakla üzerleyen Yayla Melanji yer almaktadır. Bu topluluk çalışma alanına intrüzif olarak yerleşen Oligo-Miyosen yaşlı Çataldağ Granitoidi tarafından kesilmektedir. Çataldağ plütünü Neojen yaşlı volkanik seriler ve çökel kayalar ile üzerlenmiştir. Yapılan petrografik analizler ile granitoidin genelinde holokristalen dokunun hakim olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte holokristalen doku özellikle granitoidin kenar ve dış yüzeyini oluşturan kayalarda yerini porfirik dokuya bırakırken, porfirik doku ve bu tip dokuda gözlenen katazma izleri dış zonlarda yönelmelerin ve basınç etkisinin işareti olarak yorumlanmıştır. Ayrıca ince kesit örneklerinde izlenebilen plajiyoklastlardaki zonlanmalar, granitinin özellikle dış ve kenar zonlarındaki hızlı soğumayı işaret etmektedir. Bu tip doku plütunun sokulumu sırasında meydana gelen soğumanın özellikle dış zonlarda hız kazandığını göstermektedir. Çataldağ Granitoidinden alınan örnekler üzerinde yapılan jeokimyasal çalışmalarda, plütunun yüksek-K, kalk-alkalen ve peralümina karakterlerinde olduğu izlenmiştir. Çarpışma sonrası magmatizma özelliklerini taşıyan Çataldağ plütununun, ana oksit elementlerinin ve Rb, Sr, Y ve Ba gibi iz elementlerin silikaya oranlamaları ile plütunun fraksiyonel kristallenme, asimilasyon-fraksiyonel kristallenme ve magma karışması süreçlerinden geçtiği belirlenmiştir.

ABSTRACT

In this study, determining of the petrographic and geochemical characteristic of Çataldağ granitoid which surfaces eastern of Susurluk (Balıkesir) is purposed. Fazlıkonağı formation which is consisted of Paleozoic marble intercalated amphibolite schist and mica schist form a basement part of the region, Karakaya formation is consisting Early Triassic conglomerate, sandstone, mudstone and Permian limestone blocks, Jurassic unidentified cristallized limestones and marbles, and all those formations and units are overlain by tectonically unconformable Yayla mélangé. This group cut by Oligo-Miocene aged Çataldağ granitoidic intrusive which is emplaced in study area. However Çataldağ pluton unconformable overlain by Neogene detritics and volcanic rocks. Holocrystalline texture has been seen predominantly in granitoid and determined with the results of petrographic analysis which is done. However, holocrystalline texture has been replaced by porphyritic texture especially on the rocks composed border and outcrop sections of granitoid. And cataclysm marks have shown on the porphyritic texture as a result of pressure effect on the exterior sections of granitoid. In addition plagioclase zones have also characterized rapid cooling of the exterior and border sections of granitoid. Geochemical studies has been done on samples which is taken from Çataldağ granitoid, the pluton has high-K, calc-alkaline and peraluminous characteristics. Also Çataldağ pluton has characteristic of the post-collisional magmatizm features, and silicate versus the major elements and the trace elements like Rb, Sr, Y, and Ba correlations have shown the pluton experienced fractional crystallization, assimilation-fractional crystallization and magma mixing process.

¹Küçükasya Madencilik A.Ş., Ankara

²Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

GİRİŞ

İnceleme alanı İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağının kuzeybatısında yer alan Sakarya kıtası içerisinde yer almaktadır. İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağı, kuzeybatı Anadolu'da Geç Kretase sonları ile Tersiyer başlı zaman aralığında Neo-Tetis Okyanusu kuzey kolunun kuzeye, Sakarya kıtası altına doğru dalıp-batarak tüketilmesi ve sonrasında, güneydeki Torid-Anatolid platformu ile kuzeydeki Sakarya kıtası çarpışmaları neticesinde gelişmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör ve diğ., 1982; Okay 1989; Okay ve diğ., 1994). Ayrıca söz konusu çarpışma sonucunda batı Anadolu'da Paleosen süresince, sıkışma deformasyonları, Oligo-Miyosen dönemlerinde ise gerilmeler oluşmuştur (Seyitoğlu ve Scott 1992, 1996; Işık ve diğ. 2004; Purvis ve Robertson 2004; Kaya ve diğ. 2007).

ÇALIŞMA ALANIN JEOLJİSİ

Çalışma alanının tabanında, bölgenin en yaşlı birimi olan Paleozoyik yaşlı amfibolitist, mikaşist ve mermerlerden oluşan Fazlıkonağı Formasyonu yer almaktadır. Fazlıkonağı Formasyonu üzerinde uyumsuz bulunan Alt Triyas yaşlı Karakaya Formasyonu gözlenir. Karakaya Formasyonu Kaz dağının güneyinde ve güneydoğusunda, Uludağ kuzeyinde, Manisa ve Simav kuzeyinde, Bilecik, Eskişehir ve Ankara dolaylarında ve Amasya'nın güneyinde geniş bir alanda yayılım sunmaktadır (Bingöl ve diğ., 1973; 1976). Kristalize kireçtaşı ve mermerlerin Karakaya Formasyonu üzerinde uyumsuzlukla yer aldığı belirlenirken, tüm bu birimlerin üzerine Üst Kretase yaşlı ilksel ilişkileri ve dokanakları bozulmuş çökel, metamorfik, mafik ve ultramafik kayalardan ibaret olan Yayla Melanjı yerleşmiştir. Yayla Melanjı tüm eski birimleri tektonik dokanakla üzerlemektedir.

Söz konusu olan Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimler Oligo-Miyosen yaşlı Çataldağ Granitoyidi tarafından kesilmiştir. Çataldağ Granitoyidi inceleme alanında izlenen yaşlı birimlere sokulmakta ve Neojen yaşlı çökel ve volkanik lavlar ile üzerlenmektedir. Neojen yaşlı birimler, tamamen karasal özellikteki Miyosen-Pliyosen yaşlı çamurtaşı, killi kireçtaşı birimleri ile bunlarla yanal ve düşey geçişli andezit, lav, tuf ve aglomeralar ile temsil edilmektedir. Neojen volkanik kayaları ise genellikle asit ve kalk-alkalen bileşimdedir (Ercan ve diğ. 1990).

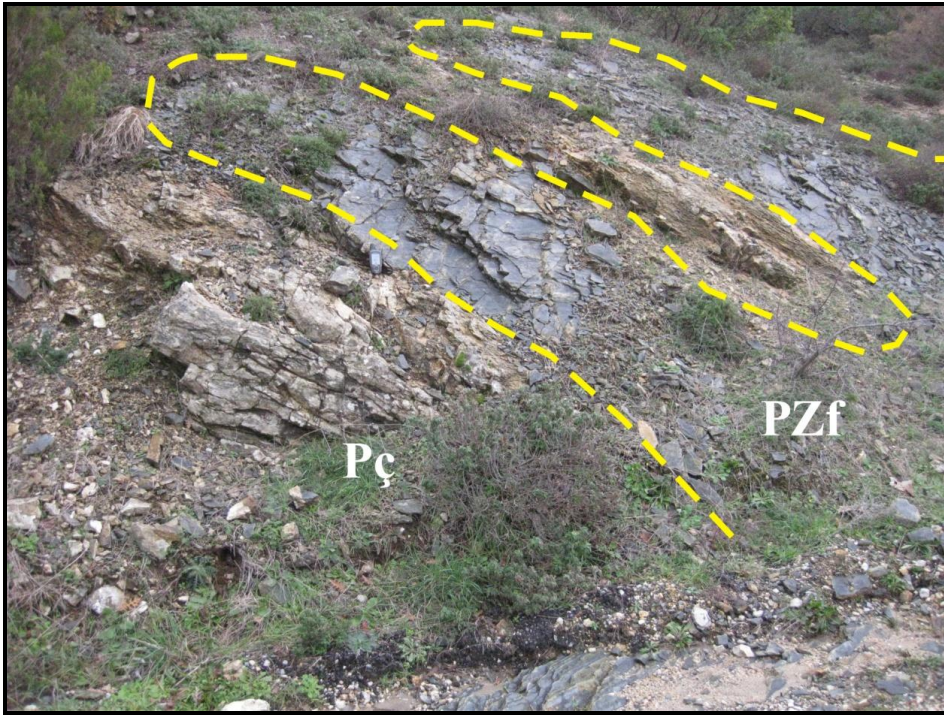
Çataldağ plütону; Kuzeybatı Anadolu'daki çarpışma sonrası tektonizmasına bağlı magmatik faaliyetler ile sokulan granitlerden biridir. Susurluk doğusunda yaklaşık 450 km²'lik geniş bir alan kaplayan granitoyid, BD-KB-GD ve KB-GD doğrultulu Miyosen yaşlı birimleri de kesen normal atımlı faylar ile kesilmiştir (Şekil 1.). Çalışma sahası içerisinde izlenen yükseltilerden biri olan Çataltepe de normal faylanma sonucu oluşmuştur. Kuzeydoğu tarafta yer alan blok yukarı doğru hareket ederken, güneybatı blok ise düşüm hareketini yapmıştır. İnceleme alanında izlenen en büyük faylanmalardan biri olan Çataltepe fayı aynı zamanda oblik bir uzanım da sergilemektedir. Ayrıca granitoyid doğu ve kuzeydoğu kenarı boyunca Fazlıkonağı formasyonu ile faylı bir geçiş sunmaktadır.

Çataldağ plütununun doğusundaki mostralarda, granitoyidin çevredeki metamorfik kayalar ile yer yer geçişler gösterdiği görülmüştür. Çataldağ Granitoyidi genellikle yaşlı birimlerin tabaka ve düzlemlerine uyumlu olarak sokulum yapmıştır (Şekil 2.). Arazi gözlemleri sırasında bazı mevkiilerde plütunun şistlerin foliasyon düzlemine uyumlu sokulan sillerinin aynı zamanda dayk şeklinde hareket ederek, yine söz konusu şistleri kestiği izlenmiştir. Bununla beraber gerek şistleri, gerekse granitoyidi kesen, kuvars ve apilit damarlarının özellikle plütunun kontak zonlarında ve veya kantağa yakın kayaların içine yerleştiği belirlenmiştir.

Sünlük Köyü'nün güneyindeki bazı kesimlerde ve granitoyid gövdesinin kuzeydoğu kesimlerinde iyi gelişmiş foliasyon düzlemleri izlenmiştir. Söz konusu foliasyon düzlemlerinin, Fazlıkonağı formasyonu ve granitoyid arasında uzanan ana fay zonuna paralel olarak belirlenmiştir. Çataldağ

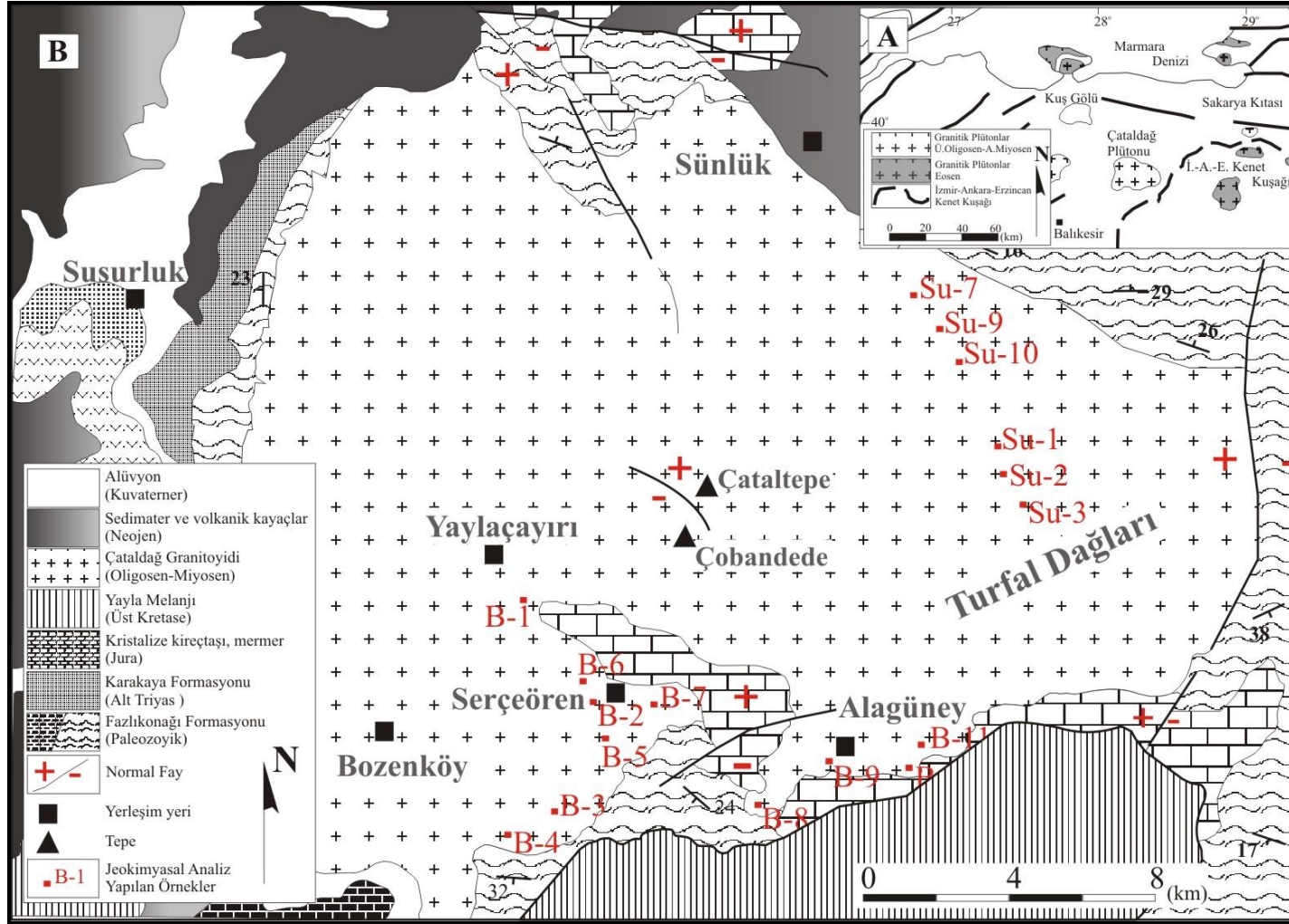
Granitoidinin Fazlıkonağı formasyonu ve Mesozoyik yaşlı mermerlere sokulumu bazı mevkiilerde kontakt metamorfizmaya neden olmuştur (Şekil 3.). Plütonun güney sınırı boyunca yer alan Serçeören ve Alagüney köyleri civarında, özellikle Oyuk tepe ve Kocaçakıl tepe mevkiilerinde kontakt metasomatizma etkisiyle skarn zonları gelişmiştir.

Granitoidin şistlerle olan kontakları genellikle keskin olup, kontakt zonları ise oldukça geniş yayılımlar sunmaktadır. Dokanakta gelişen muskovit + margarit + siderofillit + andaluzit birlikteliği 3,5 kbar'dan düşük basınç ve 550-650°C civarında sıcaklık koşullarına işaret etmektedir (Akyüz, 1995). Çataldağ Granitoidine ait örnekler üzerinde yapılan K-Ar ve Rb-Sr yaş analizi ile 21.2 ± 0.6 - 25.9 ± 0.5 my (Boztuğ ve diğ., 2009) ve 20.9 my (Orhan ve Mutlu, 2009) yaşları Oligosen-Miyosen olarak belirlenmiştir



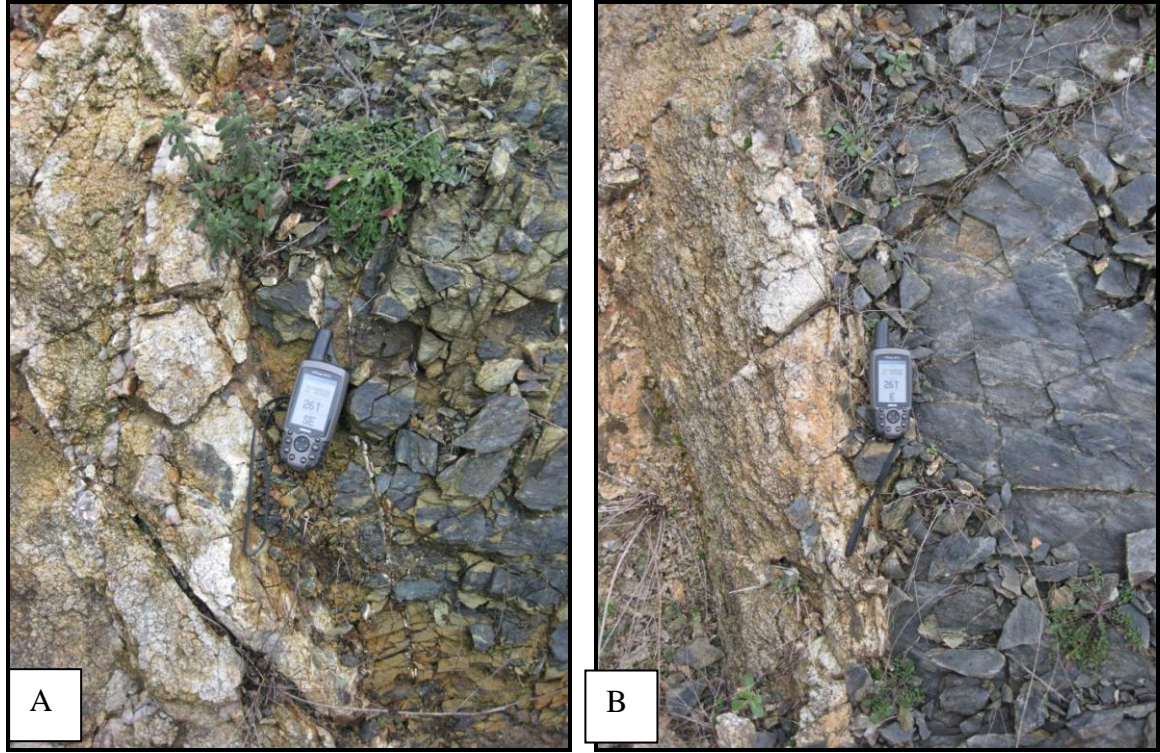
Şekil 1. İnceleme alanında yer alan Fazlıkonağı Form. ile foliasyon düzlemlerine uygun sokulan Çataldağ granitoidi (Pç: Çataldağ Granitoidi, PZf: Fazlıkonağı Formasyonu).

Figure 1. Çataldağ granitoid which is intruded along with foliation planes of Fazlıkonağı formation in study area (Pç: Çataldağ granitoid, PZf: Fazlıkonağı Formations).



Şekil 2. A) Kuzeybatı Anadolu plütönlərinin yaşlarına göre İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağına göre konumları(Altunkaynak,2007'den değiştirilerek alınmıştır).B) Çataldağ Granitoyidi ve çevresinin jeoloji haritası (Ergül ve diğ., 1986 ve Boztuğ ve diğ., 2009'den değiştirilerek alınmıştır).

Figure 2. A) Locations of Northwestern Anatolian Batholiths according to İzmir-Ankara-Erzincan suture zone and cooling ages (revised from Altunkaynak,2007).B) Geological map of Çataldağ granitoid (revised from Ergül ve diğ., 1986 ve Boztuğ ve diğ., 2009).



Şekil 3. (A) Çataldağ granitoidi ve Fazlıkonağı Formasyonu arasında izlenebilen kontak zonu, granitoid üzerinde şistlerin foliasyonlarına paralel gelişen foliasyonlar ve granitoidin sokulumu sırasında şistlerde oluşan çatlak ve kırık sistemlerinin görünümü. (B) İnceleme Alanında yer alan Fazlıkonağı Form. ile Çataldağ granitoidi kontaklarını yakından irdelenmesi (plüton aplit damarları ile kesilmektedir).

Figure 3. (A) Contact zone which is located between Çataldağ granitoid and Fazlıkonağı formation, granitoid shows foliations which are parallel to foliations of Fazlıkonağı formation and fracture-joint system which had been developed with the intrusion of the granitoid. (B) Analysis of the contact of Çataldağ granitoid and Fazlıkonağı formation in study area (granitoid had been cut by aplitic veins).

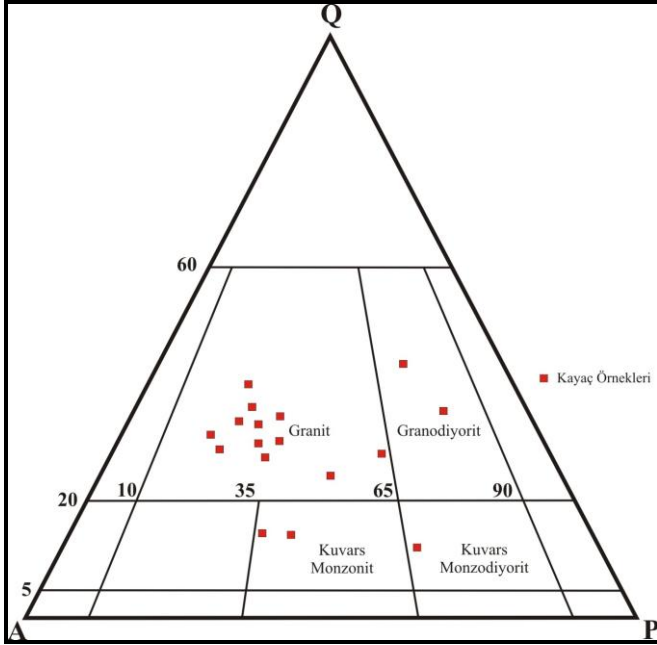
ÇATALDAĞ GRANİTOYİDİNİN PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

Çataldağ Granitoidinden alınan örneklerin petrografik incelemeleri polarizan mikroskop yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca plütone ait 17 adet örneğin nokta sayıcı ile modal analizleri yapılmıştır. Söz konusu analiz sonucunda nokta sayıcı ile sayılan minerallerin kuvars, alkali feldspat, plajiyoklas yüzdeleri belirlenmiş ve elde edilen değerler QAP diyagramında değerlendirmiştir. Diyagramda örneklerin granit, granodiyorit, kuvarslı monzonit ve kuvars monzodiyorit bölgelerine düştükleri görülmüştür (Şekil 4.).

Çataldağ Granitoidinin önemli bir bölümü granitlerden oluşmaktadır. Çobandede Tepe'de ve tepenin doğusu ve güneydoğusunda ayrıca Emindağı Tepe civarında mostralara veren granitler, arazide krem rengi ve grimsi tonlarda izlenmiştir. Granodiyoritler inceleme alanında, Serçeören köyü güneybatısı ve Alagüney köyünün güneyinde mostra vermektedir. Granodiyoritler arazide hafif pembemsi tonlarda görülmüştür. Turfal Dağlarının kuzey yamaçlarında ise kuvars monzonit ve kuvars monzodiyoritler mostra vermekte ve arazide gri renklerde gözlenmektedir.

Polarizan mikroskop ile yapılan petrografik çalışmalarda, genel olarak iri taneli holokristalin doku izlenmektedir (Şekil 5. A,B,C,D). Bununla birlikte plütonun dış zonlarında kataklazma etkili

porfirik doku izlenmektedir (Şekil 6. G,H). Yönlü dokuların ve kataklastik özelliklerin egemen olduğu plütonun dış zonlarında, yönlenmelerin ve basınç etkisi ile kuvvetli dalgalı sönmelerin geliştiği görülmüştür (Şekil 6. G,H).



Şekil 4. Çataldağ Granitoidini oluşturan kayaçların QAP diyagramında (Streckeisen 1979) sınıflandırılması.

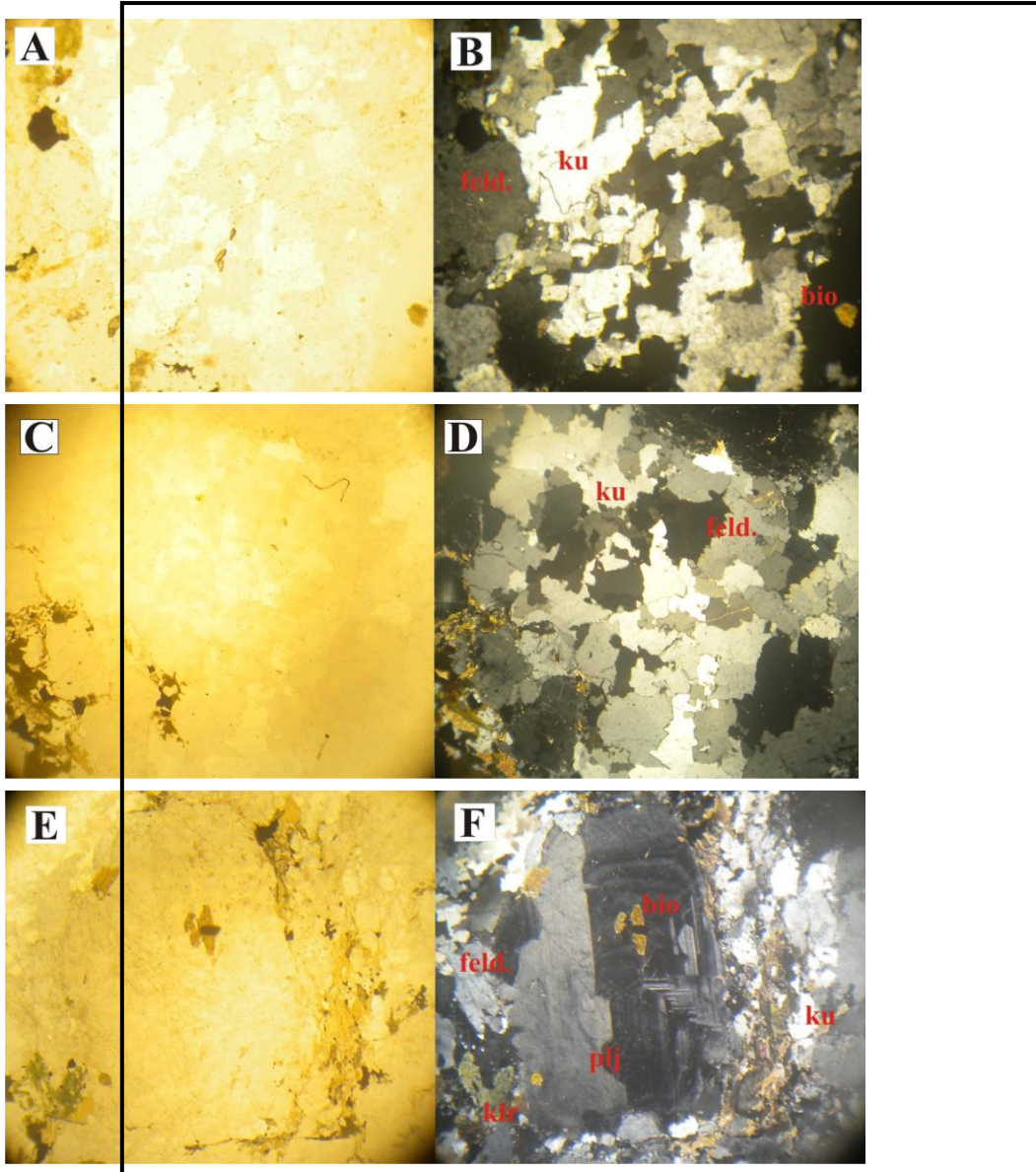
Figure 4. Classifications of the rocks which are forming the Çataldağ granitoid on QAP graph (Streckeisen 1979).

Tablo.1. Petrografik tayini yapılan 17 adet örneğin modal analiz sonuçları (%)(Kuv: kuvars, A.Feld.: Alkali Feldspat, Plj.: Plajiyoklas, Bi.: Biotit, Amf.: Amfibol, İ.Min.: İkincil mineral).

Table.1. Modal analysis result of the 17 samples which are petrographically defined.

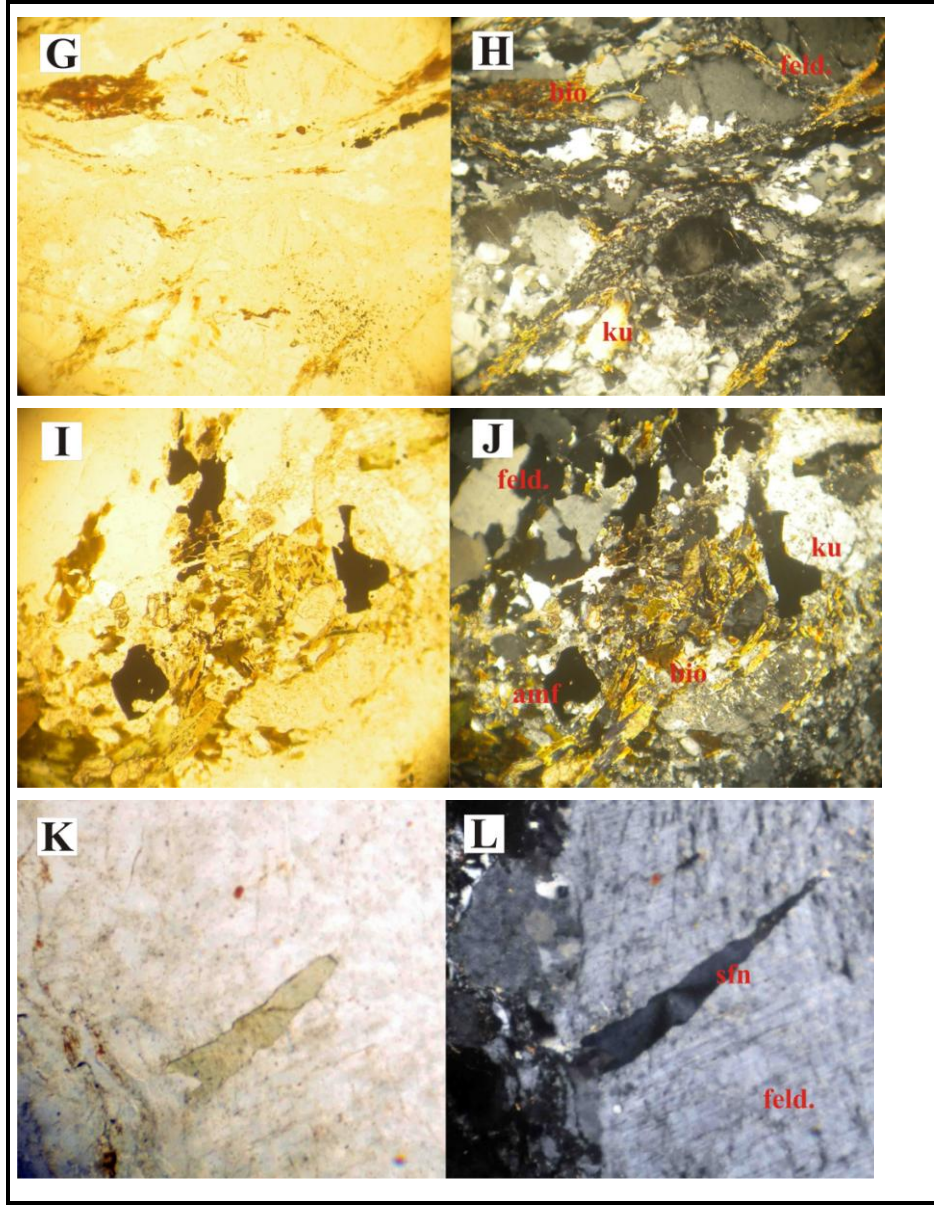
Örnek No	Kayaç Adı		MİNERALLER (%)					
			Kuv.	A. Feld.	Plj.	Bi.	Amf.	İ. Min.
B-1	Kuvars Monzonit	} Porfirik	10	32	24	14	-	12
B-2	Granodiyorit		35	12	30	12	-	9
B-3	} Granit	} Holokristalen	28	32	18	7	1	8
B-4			16	26	13	20	3	14
B-5			22	31	18	11	-	12
B-6			24	32	14	12	-	11
B-7			32	33	12	13	-	4
B-8	} Granodiyorit	} Holokristalen	16	29	9	19	2	16
B-9			28	11	38	15	1	4
B-10	} Granit	} Porfirik	22	32	33	8	-	3
B-11			24	23	38	8	2	3
SU-1	} Kuvars Monzodiyorit Kuvars Monzonit	} Holokristalen	26	32	14	13	-	7
SU-2			9	21	40	17	3	8
SU-3			10	38	22	18	-	6
SU-7	} Granit	} Holokristalen	25	34	13	18	-	5
SU-9			25	41	10	12	4	5
SU-10			21	34	17	21	-	5

Kuars kristallerinin özşekilsiz taneler şeklinde izlendiği örneklerde, granitoidin kenar kısımlarından alınan örneklerde kuvarsların, kataklastik etkiler nedeni ile hafif dalgalı sönme gösterdikleri belirlenmiştir (Şekil 5., Şekil 6. A,B,C,D,G,H). Karlsbad ikizlenmelerinin izlendiği alkali feldspatlar, genellikle ortoklas kristalleri şeklinde ve kuş gözü yapılarının geliştiği serisitleşme alterasyonu etkisinde görülmektedir (Şekil 5., Şekil 6. A,B,G,H,K,L). Plajiyoklas minerallerinde zonlu ve polisentetik ikizleri göze çarpar ve zonlu plajiyoklasların çekirdek kısımlarında az da olsa serisitleşmeler izlenir (Şekil 5. E,F). Bunlarla birlikte ince kesit örneklerinde izlenebilen plajiyoklaslardaki zonlanmalar, granitoidin özellikle dış ve kenar zonlarındaki hızlı soğumayı işaret etmektedir. Bu tip doku plütonun sokulumu sırasında meydana gelen soğumanın özellikle dış zonlarda hız kazandığını göstermektedir.



Şekil 5. Çataldağ Granitoidini oluşturan kayaçların mikroskopik görünüşleri (ku: kuvars, feld.: alkali feldspat, bio: biyotit, plj: plajiyoklas, klr: kloritleşme).

Figure 5. Microscopic views of rocks which are forming the Çataldağ granitoid.



Şekil 6. Çataldağ Granitoidini oluşturan kayaçların mikroskopik görünüşleri (ku: kuvars, feld.: alkali feldspat, bio: biyotit, amf: amfibol, sfn: sfen).

Figure 6. Microscopic views of rocks which are forming the Çataldağ granitoid.

Ferromagnezyen mineraller ince kesit örneklerinde, biyotit ve amfibolün şeklinde gözlenmiştir. Biyotitler genellikle prizmatik şekilde dilinimli izlenmiş ve dilinimleri boyunca alterasyona uğrayarak kloritleştiği tespit edilmiştir (Şekil 5. E,F). Amfibol ise biyotite oranla oldukça az miktarda gözlenmiştir, özellikle Sazak Tepe civarında alınan örnekte amfibollerin % 3 ve Emindağı Tepe civarında alınan örnekte % 4 oranına ulaştığı görülmüş, amfibol taneleri bazı kısımlarda tamamen opaklaşmışlardır (Şekil 6. I,J). Kesitlerde ikincil mineraller olarak rastlanılan sfen ve apatit diğer mineraller içerisinde inklüzyonlar şeklinde görülmektedir. Bununla birlikte minerallerin sınırlarında ve yine inklüzyonlar şeklinde opak mineraller izlenmiştir (Şekil 6. K,L).

JEOKİMYA

Çataldağ Granitoidini jeokimyasal açıdan irdeleyerek, magma tipini bulmak ve granitoid jenezi ile bölgenin tektonik gelişimi arasındaki ilgiyi saptamak amacıyla söz konusu kütleden alınan 17 adet temsili örneğin ana (majör) ve iz element analizleri yapılmış ve Tablo 2’de sunulmuştur.

Jeokimyasal çalışmaya ait örnekler, ayrıntılı petrografik incelemeden sonra plütону oluşturan grupların en ayrışmamış olanlarından seçilmiştir. Analiz için örnek seçiminde olanakların elverdiği ölçüde, ayrımlaşmanın her evresinden örnek alınmasına özen gösterilmiştir.

Örneklerin ana oksit analizleri S-Lab (Standart Laboratuvar) ve iz element analizleri Actlab (Activation Laboratories Ltd.) laboratuvarlarında yapılmıştır. Tüm oksitler ve Ba, Ni, Sc gibi elementlerin analizlerinde 0,200 gr toz örnek LiBO₂ ile ergitilmiş ve sonra çözündürülerek ICP-ES ile analiz edilmiştir. Tüm analizlerde ateşte kayıp değerleri, kaya tozlarının 900°C’ de yaklaşık iki saat süreyle bekletilmesi sonucu elde edilmiştir.

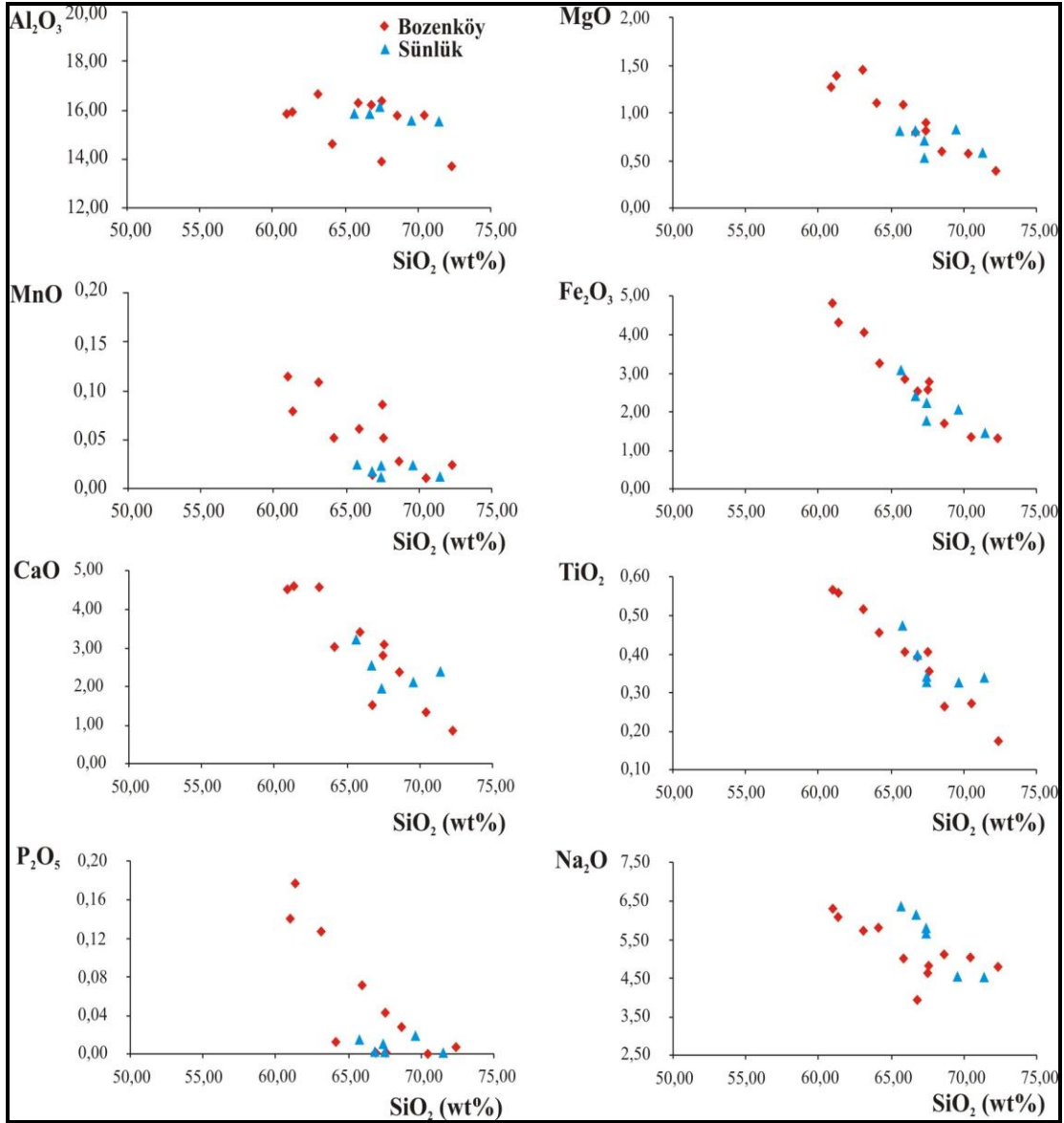
Ana oksit özellikleri

Granitoidlerin jeokimyasal köken incelemelerinde en çok kullanılan metotlardan biride Harker diyagramlarıdır (Harker 1909). Genel olarak eşkökenli sokulum kayaçlarında ana element oksitlerinin birbirlerine ve silikaya karşı olan korelasyonları pozitif veya negatif yönlü değişimler gösterebilir ve Bu tip korelasyonlarda izlenen yönelimler, fraksiyonel kristallenme ve-veya kısmi ergime yada kıtasal kontaminasyona işaret edebilir (Wilson, 1989).

Ana element oksitlerinin SiO₂ karşı değişimleri Harker diyagramlarında gösterilmiştir. TiO₂, MgO, CaO, Fe₂O₃ ve P₂O₅ değerlerinin artan SiO₂ ile düzenli bir şekilde azaldığı sadece Al₂O₃, Na₂O, MnO hariç olmak üzere azalma eğimi gözlenir. Diyagramlarda izlenen eğimli dağılımlar kayaçların ortak bir köken sahip oldukları şeklinde yorumlanabilir (Şekil 7).

Fakat ana element oksitlerine karşı silika dağılımının yataya yakın olması, ya ortak kökene sahip eriyikte fraksiyonel kristallenmeyi yada iki ve-veya daha fazla, farklı bileşime sahip kökenden eriyiklerin karışmasını yada her iki durumun beraber oluşması şeklinde yorumlanabilir (Köprubaşı ve Aldanmaz, 2004).

Çataldağ Granitoidinde SiO₂ değerleri 60.95 ile 72.28 arasında değişmekle birlikte K₂O değerleri 3.05 ile 6.52 arasında değişim göstermektedir (Tablo.2.). Toplam alkalilere karşı silika (TAS) Le Maitre (1989) diyagramı seçilmekle birlikte diyagramda alkali ve subalkali serileri Irvine ve Baragar (1971) ile Miyashiro (1978) hatları ile ayrılmıştır (Şekil 8.). Bu diyagramda izlenebileceği üzere Çataldağ Granitoidi, ağırlıklı olarak siyenitik ve granitik kayaçlardan meydana geldiği ayrıca genel olarak alkali karakterde olmakla birlikte subalkali bileşenlerde içermektedir.



Şekil 7. Çataldağ granitoidinin Harker tipi, ana element oksitlerine karşı silika diyagramları.
Figure 7. Harker type major oxide versus silica graphs of Çataldağ granitoid.

Tablo 2. Çataldağ granitoyidi örneklerinin ana ve iz element içerikleri.

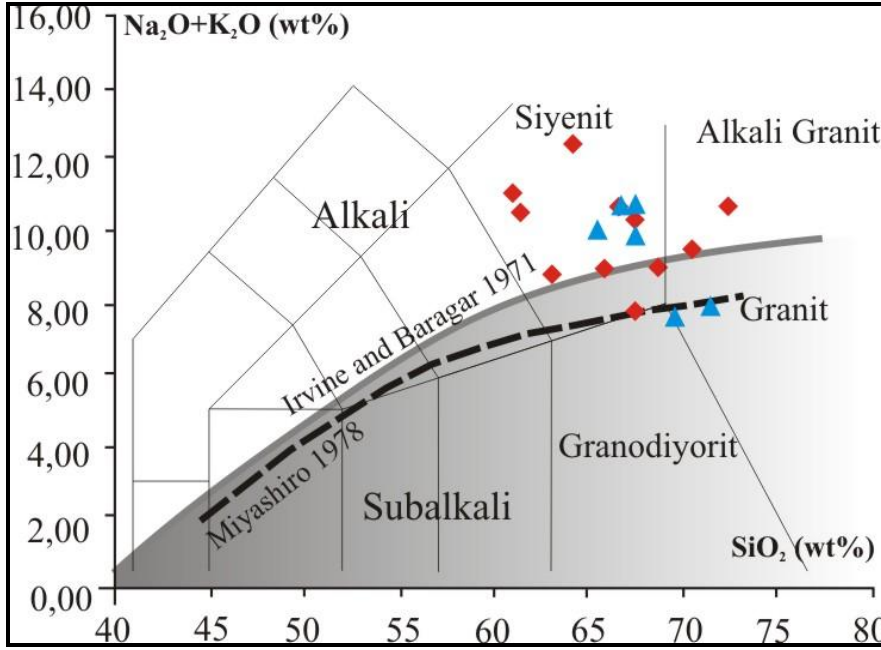
Table 2. Major and trace element contents of the samples from Çataldağ granitoid.

Örnek	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	B-11	SÜ-1	SÜ-2	SÜ-3	SÜ-7	SÜ-9	SÜ-10
Ana Elementler																	
SiO₂	61,34	67,48	65,87	63,09	68,58	60,95	72,28	66,77	70,42	67,53	64,13	66,72	65,66	71,41	67,39	67,37	69,54
TiO₂	0,56	0,4	0,4	0,51	0,26	0,56	0,17	0,39	0,27	0,35	0,45	0,39	0,47	0,3	0,33	0,34	0,33
Al₂O₃	15,94	16,36	16,28	16,67	15,8	15,85	13,71	16,23	15,8	13,91	14,63	15,81	15,85	15,51	16,14	16,13	15,53
Fe₂O₃	4,29	2,56	2,86	4,06	1,71	4,79	1,33	2,54	1,34	2,77	3,25	2,4	3,04	1,45	1,75	2,23	2,06
MnO	0,08	0,09	0,06	0,11	0,03	0,12	0,02	0,01	0,01	0,05	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
MgO	1,38	0,83	1,08	1,44	0,59	1,26	0,39	0,8	0,58	0,91	1,1	0,82	0,82	0,59	0,53	0,72	0,83
CaO	4,58	2,79	3,4	4,54	2,36	4,5	0,85	1,5	1,33	3,05	3,02	2,51	3,19	1,95	1,94	1,94	2,09
Na₂O	6,09	4,64	5,02	5,72	5,13	6,3	4,78	3,95	5,03	4,81	5,81	6,14	6,38	4,53	5,61	5,8	4,53
K₂O	4,33	3,16	3,9	3,05	3,88	4,65	5,87	6,75	4,5	5,47	6,52	4,65	3,75	3,58	5,28	4,13	3,25
P₂O₅	0,18	0,04	0,07	0,13	0,03	0,14	0,01	0	0	0	0,01	0	0,02	0	0	0,01	0,02
LOI	1,12	1,57	0,98	0,6	1,55	0,78	0,5	0,98	0,66	1,02	0,92	0,43	0,67	0,6	0,94	1,24	1,35
Total	99,88	99,92	99,93	99,92	99,92	99,89	99,92	99,92	99,94	99,87	99,9	99,89	99,88	99,93	99,92	99,92	99,55
İz Elementler																	
Sc	3,6	2,2	2,2	2,8	1,6	3,1	1,8	1,2	1,7	3,6	3,5	2,3	1,6	1,7	1,4	1,8	1,9
Cr	7,5	20,3	5,6	8,6	7,1	6	11,6	5	6,1	9,9	11,2	11,1	7,8	7,4	5,2	4,6	4,6
V	43	25	27	38	12	32	5	3	6	18	23	18	15	14	8	12	15
Ni	3,2	5,5	3,6	5,2	2,4	4,3	2,7	3,3	2,1	5,4	3,7	2,7	3,5	2	3	3,4	4,1
Co	3,9	2,9	3,5	5	1,8	3,7	1	1,5	1,6	3	3,1	2,3	2,3	1,7	1,5	2,1	2,5
Cu	5,38	8,15	9,27	11,3	6,71	13,5	7,38	6,71	3,56	16,1	7,3	6,68	6,96	9,6	10,6	2,03	6,09
Zn	42,8	101	58,6	69,6	32,2	55,5	14,3	46	43,5	39,9	37	57,2	61,5	44,6	23,5	57,8	45,3
Ga	5,86	4,84	5,18	7,1	3,89	4,77	3,7	5,67	6,13	4,1	4,95	7,87	6,36	5,84	6,07	6,68	6,02

Tablo 2. Çataldağ granitoyidi örneklerinin ana ve iz element içerikleri (Devam).

Table 2. Major and trace element contents of the samples from Çataldağ granitoid (Continued).

Rb	35	34,5	60,6	66,7	34,6	49,8	43,2	45,9	60,5	59,6	53,3	74,8	42,8	41,6	62,3	79,9	85,6
Sr	62,2	93,5	65,6	86,4	76,4	66,5	4,1	8,6	11,2	15,9	15	20,1	36,9	25,7	12,9	13,9	25,8
Y	17,4	14,2	12,1	14,4	12,9	16,1	6,89	3,55	4,64	18,1	20,7	4,5	5,02	4,55	4,39	6,66	7,33
Zr	3,2	3	1,7	4,5	1,2	3	1,6	2,3	1,4	2	1,4	1,8	1,6	1,3	2,2	1,6	1,6
Nb	2,3	1,6	1,5	1,7	1,2	2,4	1	0,6	0,5	2,6	2,6	0,5	0,4	0,8	0,6	0,6	0,8
Cs	3,7	3,55	5,78	7,07	2,93	3,86	3,95	3,32	8,32	3,53	3,8	7,37	3,73	4,55	6,25	7,84	9,23
Ba	82,4	147	109	144	87,9	99,6	22,3	91,6	45,7	97,2	129	85,2	126	80,1	42,7	58,3	279
La	47,9	41,3	33,9	42,5	22,7	47,7	13,6	21,2	19	29,1	26,3	20,5	46,7	30,6	19,9	18,5	29,4
Ce	83	71	58,9	74,9	40,2	78,4	26,8	38,4	35,7	51,9	47	39	75	55,4	35,2	33,3	48,4
Pr	9,4	7,9	6,5	8,6	4,3	8,8	3	4,1	3,9	5,6	5,2	4,3	7,5	6	3,8	3,6	5
Nd	33,2	28,4	22,4	30,8	14,7	31,2	10,3	14,2	13,8	19,3	18,1	14,8	25,1	20,1	13,2	13	16,5
Sm	5,7	4,9	3,9	5,3	2,8	5,3	2,5	2,6	2,6	3,7	3,6	2,6	3,9	3,2	2,2	2,4	2,8
Eu	1,4	1,2	1	1,3	0,6	1,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,4	0,2	0,1	0,2	0,3
Gd	4,6	4,3	3,3	4,6	2,7	5	2,3	2,3	2,2	3,8	3,9	1,9	3	2,4	1,8	2,1	2,5
Tb	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,6	0,6	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3
Dy	3,05	2,82	2,27	2,77	2,42	3,41	1,57	1,12	1,16	3,4	3,53	1,03	1,35	1,1	0,99	1,44	1,66
Ho	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,6	0,3	0,2	0,2	0,7	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Er	1,6	1,4	1,1	1,4	1,2	1,6	0,6	0,3	0,4	1,8	2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6
Tm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0,3	0,3	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Yb	1,4	1,4	1	1,2	1	1,5	0,6	0,1	0,2	1,6	2,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
Lu	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0,2	0,3	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Hf	0,1	< 0.1	< 0.1	0,2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ta	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Pb	7	52,3	9,2	10,2	14	6,34	10,3	4,7	8,46	7,89	6,83	6,3	5,63	11,5	5,23	3,73	9,78
Th	18,2	18,3	14,5	20,9	10,3	20,4	19,9	9,9	11,2	20,9	23,2	11,1	17,5	15,1	11,9	11,3	10,9
U	9,6	6,3	10,7	11,9	16,3	8,7	3,1	1,6	4,9	7,5	6,8	1,9	6	4,5	1,1	1,2	1,1

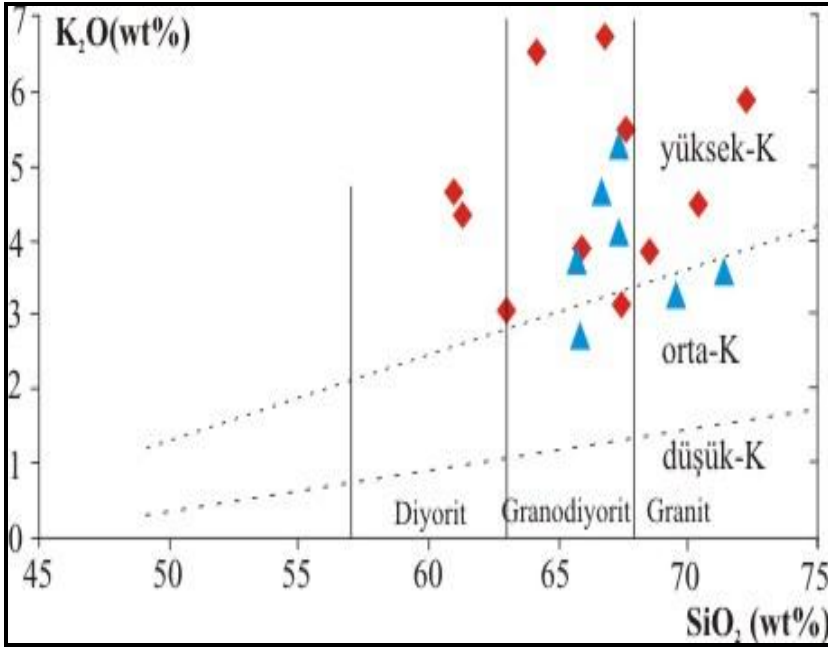


Şekil 8. Çataldağ granitoidinin, toplam alkalilere ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) karşı silika (SiO_2) diyagramı (diyagram Le Maitre, 1989'dan alınmıştır; ayırım çizgileri Irvine ve Baragar, 1971 ve Miyashiro, 1978'den alınmıştır).

Figure 8. Graph of total alkalis ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) versus silica (SiO_2) of Çataldağ granitoid (the graph has been taken from Le Maitre, 1989; discrimination lines have been taken from Irvine ve Baragar, 1971 and Miyashiro, 1978).

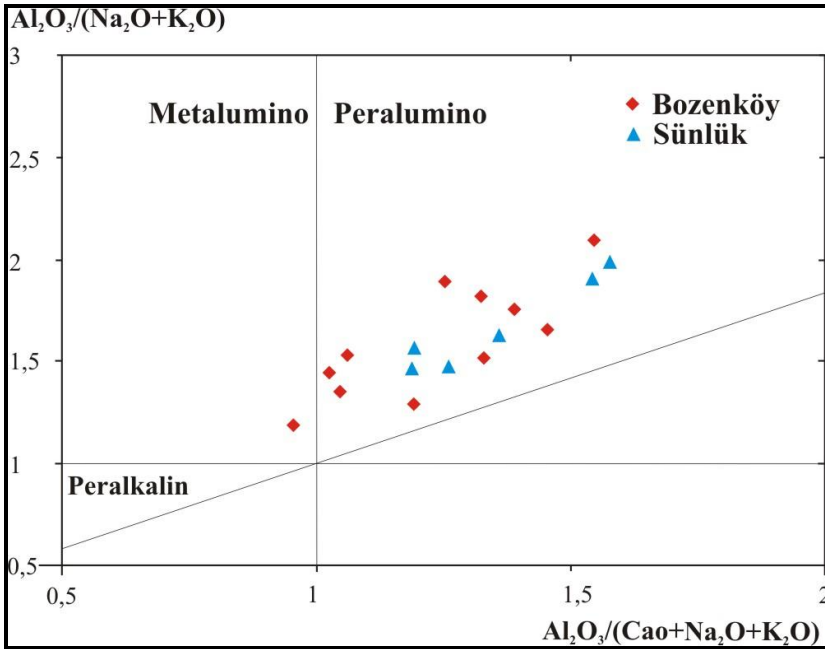
Kayaçların potasik özelliklerini belirlemek amacı ile Rickwood (1989) terimlemesi ile K_2O ve SiO_2 diyagramı kullanılmıştır. Bu diyagramda izlenebileceği üzere kayaçlar ağırlıklı olarak orta-K kalk-alkalin içeriğinden yüksek-K kalk-alkalin içeriğine geçiş göstermekte ve potasyum içerikleri diyoritten granite doğru yükselim sunmaktadır (Şekil 9.).

Çataldağ Granitoidine ait kayaçların alümina doymunluğu özelliklerini belirlemek amacı ile Al_2O_3 , Na_2O , K_2O ve CaO değerleri Maniar ve Picolli (1989) diyagramında yerlerine konulmuştur. Sadece bir örnek dışında alınan diğer tüm örneklerin oranları diyagramda peralümino bölgesinde yer almıştır (Şekil 10.). Örnekler AFM (Irvine ve Baragar, 1971) diyagramına uyarlandığında kalk-alkali bölgesinde yer aldığı görülmüştür (Şekil 11.).



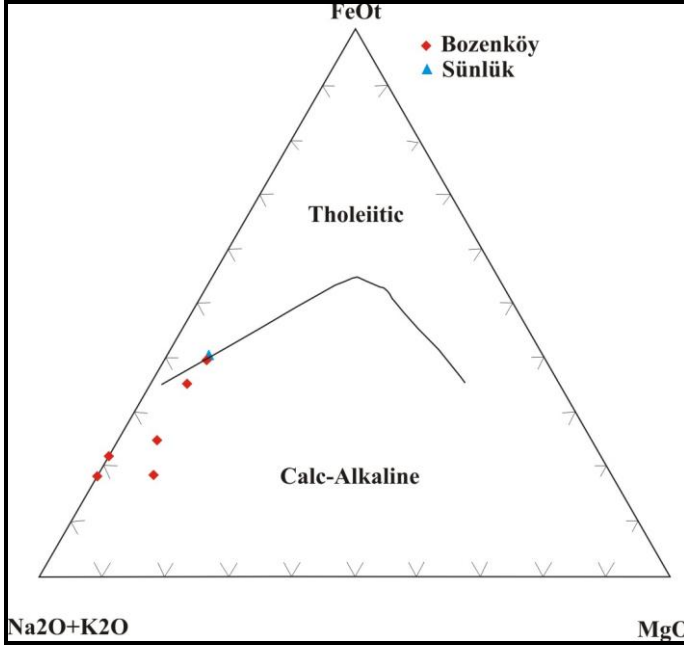
Şekil 9. Çataldağ Granitoidinin, K_2O ve SiO_2 diyagramı üzerinde örneklerinin dağılımı (ayrım hatları Rickwood, 1989'dan alınmıştır).

Figure 9. Dispersion of the samples of Çataldağ granitoid on K_2O ve SiO_2 graph (discrimination lines have been taken from Rickwood, 1989).



Şekil 10. Çataldağ Granitoidinin örneklerinde, (A/NK) ve (A/CNK) oranlarının dağılımı (doyumluluk oranı Peacock, 1931'den alınmıştır).

Figure 10. Dispersion proportion of (A/NK) and (A/CNK) of the samples of Çataldağ granitoid (proportion saturation has been taken from Peacock, 1931).



Şekil 11. Çataldağ Granitoidi örneklerinin AFM diyagramında (Irvine ve Baragar,1971) dağılımı.
Figure 11. Dispersion of the samples of Çataldağ granitoid on AFM graph (Irvine ve Baragar,1971).

İz Element Jeokimyası

İz elementler, ana element oksitleri gibi sadece kayacı oluşturan ana minerallerin bünyesinde değil, hem ana ve hem de aksesuar minerallerin bünyesinde bulunurlar ve iz elementlerden fraksiyonel kristallenme sürecini ve bu sürece etki eden faktörleri detaylandırmak amacı ile faydalanılabilir. Bu bağlamda, iz elementler, magma içerisinde ilk başta oldukça düşük konsantrasyonlarda bulunurken (Nb, Zr, Y, Th ve Hf), magmatik ayrımlanmanın son evrelerine kadar magma içerisinde zenginleşirler ve belirli bir doygunluğa ulaştınca aksesuar minerallerinin bünyesine de katılmaktadırlar. Çataldağ Granitoidinin kökenini bulmak için iz elementlerin değerleri, birbiri ile ve silika ile oranları ayrıntılı olarak değerlendirilmiş, bu konuda çalışma yapmış daha önceki araştırmacıların sunduğu diyagramlardan faydalanılmıştır.

Magma oluşumu sırasında farklı davranışlar sergileyen en uyumsuz elementler (Ba, Sr, Y v.b.) azalırken silikanın orta düzeyden feslik bileşime arttığı izlenmiş ve birbirleri arasındaki oranlamalarda izlenen geniş değişim aralıkları magma karışımı ve-veya fraksiyonel kristallenmeye işaret etmektedir.

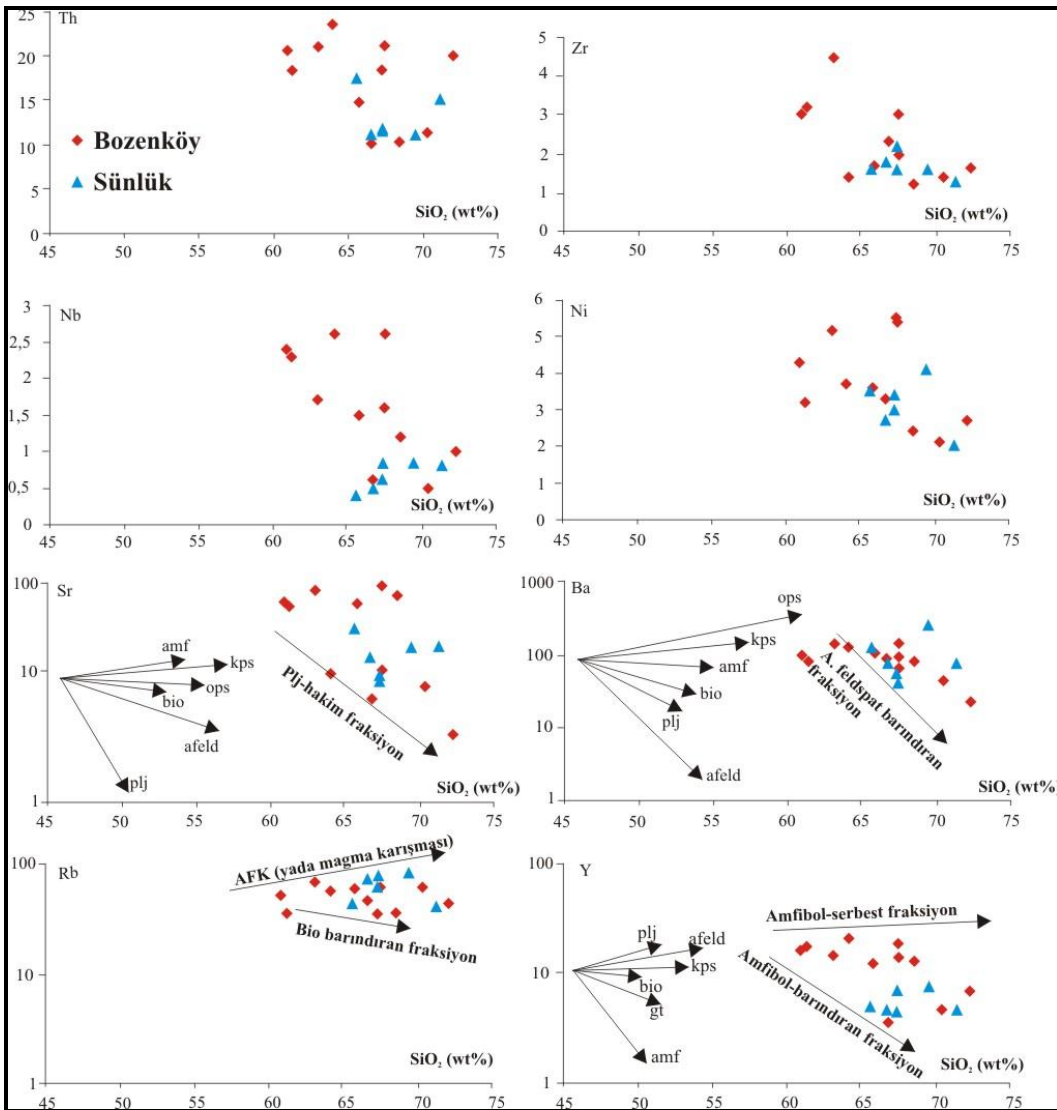
Ayrıca geniş iyonlu litofil elementlerin (LILE) silika ile oranlaması sonucu; Sr-SiO₂ oranlamalarında izlenen yönelim, Sr azalırken silikanın artması, Sr elementinin Ca'un yerini alması nedeniyle, Ca'ca zengin plajiyoklazların fraksiyonlanması ile ilişkili olarak anortit fraksiyonel kristallenmesine sebep olmaktadır.

Y-SiO₂ oranındaki yönelimler, Y azalırken silikanın artması ve yataya yakın dizilimler izlenmesi, iki farklı amfibol fraksiyonel kristallenmesini işaret etmektedir. Nitekim Y ağır toprak elementleri gibi davranarak granat, piroksen ve amfibolün yapısına yerleşir, bu sebeple minerallerin fraksiyonlanmasından dolayı kristallenmenin son evresinde Y miktarında azalım izlenebilir.

Rb-SiO₂ oranındaki değişimler, fraksiyonel kristalleşme sırasında bu mineraller geç evrelerde kristalleştiklerinden SiO₂ ile artan bir yönelim gösterir, bu durum, asimilasyon-fraksiyonel kristallenme ve-veya magma karışmasına işaret etmektedir. Bununla beraber Rb, K'un yerini alarak

K-feldspat, horblend, biyotit gibi minerallerin bünyesine yerleştiğinden dolayı, Rb'un azalması silikanın artması ise biyotit fraksiyonel kristallenmesini işaret etmektedir (Şekil 12.).

Ba-SiO₂ oranındaki yönelim incelenirken Ba'un Rb'a benzer davranışlar sergileyebileceği göz önüne alınmalıdır. Ba'un yüksek sıcaklık feldspatlarında daha fazla bulunmasından dolayı eş kökenli bir magmanın ayrışması esnasında yüksek sıcaklık feldspatlarından daha düşük sıcaklık içerenlere doğru, yani silika içeriğinin azaldığı yöne doğru azalma gösterebilir, bu şekilde eş kökenli magmatik ayrışma esnasında ilk oluşan kayalarda SiO₂ ile artan, son oluşarlarda ise azalan yönelim sunmaktadır. Bu bağlamda Ba azalırken silikanın artması ortoklas fraksiyonel kristallenmesine işaret etmektedir.

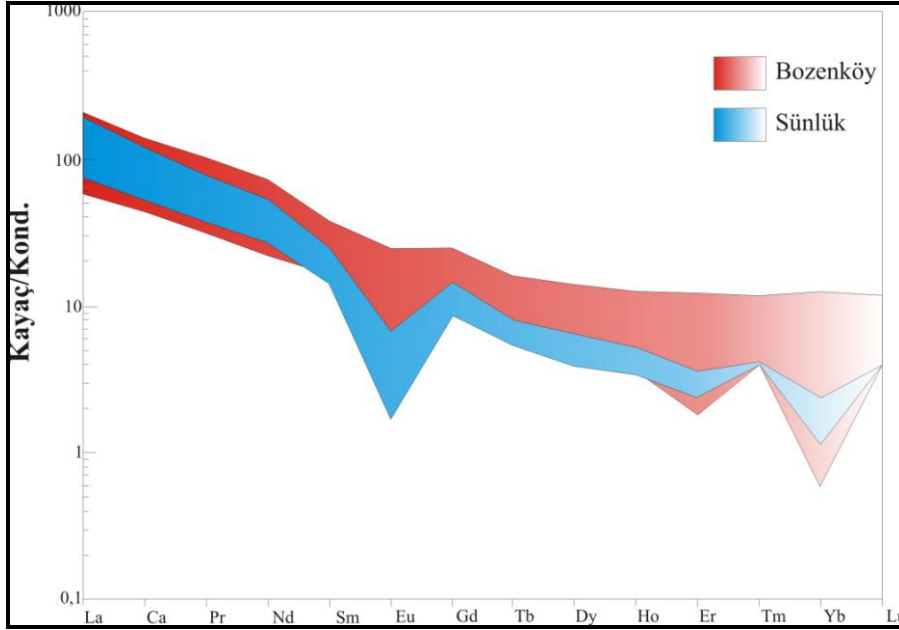


Şekil 12. Çataldağ Granitoidinin harker tipi, iz elementlerine karşı silika diyagramları (fraksiyonel kristallenme, magma karışmasını ve asimilasyon-magma karışmasını işaret eden yönelim işaretlenmeleri Rollinson, 1993'den alınmıştır).

Figure 12. Harker type trace elements versus silica graphs of Çataldağ granitoid (vectors of the fractional crystallization, magma mixing and assimilation-magma mixing have been taken from Rollinson, 1993).

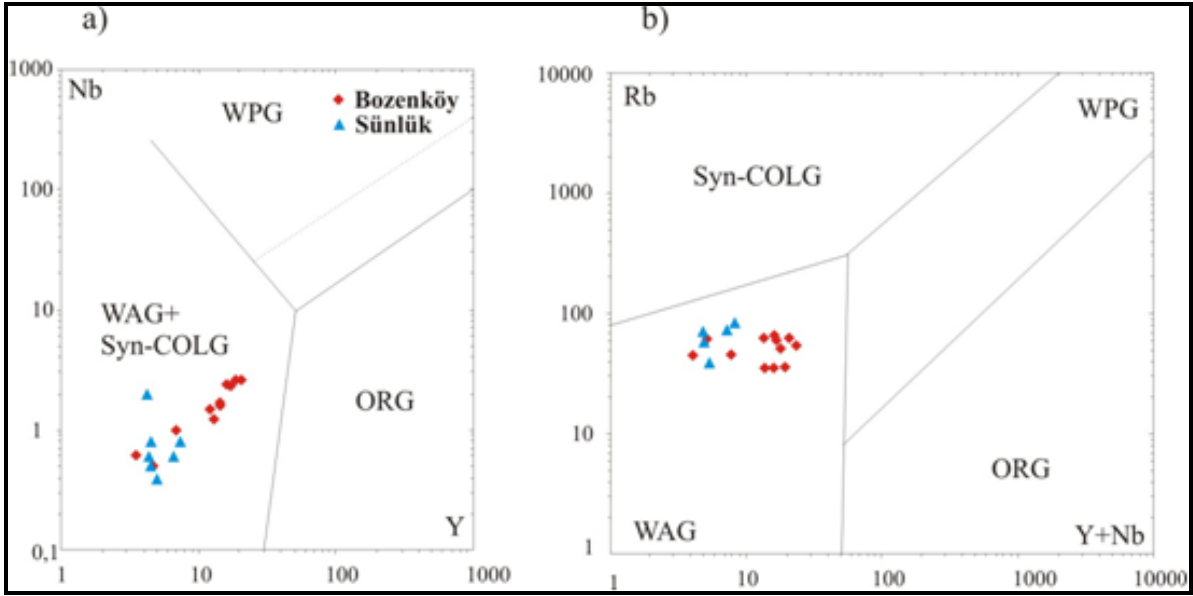
Nadir toprak elementlerinin (REE) kondirite göre normalize edilmesiyle hazırlanan bu diyagramda (Sun ve McDonough, 1989) bütün hafif nadir toprak elementlerin (LREE) ağır nadir toprak elementlerine (HREE) göre belirgin bir şekilde zenginleştiği ve veya ağır nadir toprak elementlerinin tüketildiği görülmektedir. Diyagramda izlenebileceği üzere negatif Eu anomalileri felsik magmalarda plajiyoklasın fraksiyonel kristallenmesi ile ilişkilendirilirken Yb, Er elementlerinin negatif anomalileri ise amfibolün fraksiyonel kristallenmesini işaret etmektedir (Şekil 13).

Granitoidin jeotektonik ortamına yaklaşımda bulunabilmek için Pearce ve diğ. (1984) tarafından önerilen, özellikle yitim jenezinde ayırtman olan HFS elementlerinden Nb'un Y'e karşı oranı diyagram şeklinde verilmiştir (Şekil 14..) ve Çataldağ Granitoidi örneklerinin bu diyagram üzerinde volkanik yay ve çarpışma güdümlü alan üzerinde kaldığı görülmektedir. Uyumsuz LILE elementlerinden biri olan Rb'un uyumlu HFS elementlerinden Y+Nb'un toplamına karşı oranı yine Pearce ve diğ. (1984) tarafından irdelenmiştir. Bu diyagramda ise Çataldağ Granitoidi örneklerinin volkanik yay granitoidleri (WAG) alanında yer aldıkları izlenmektedir (Şekil 14.).



Şekil 13. Çataldağ Granitoidinin kondirite göre normalize edilmiş REE değerleri (Normalized değerler, Sun ve McDonough, 1989'dan alınmıştır).

Figure 13. Chondritide-normalized REE results of Çataldağ granitoid (Normalized values have been taken from Sun ve McDonough, 1989).



Şekil 14. Çataldağ Granitoidi örneklerinin Rb-(Y+Nb) ve Nb+Y diyagramlarında (Pearce ve diğ., 1984) dağılımı. WAG: Plaka ortası granitler, ORG: Okyanus ortası sırt granitleri, WAG+(SYN-COLG): Volkanik yay granitleri, COLG:Çarpışma granitleri.

Şekil 14. Dispersion of the samples of Çataldağ granitoid on the Rb-(Y+Nb) ve Nb+Y graphs (Pearce et. al. 1984). WAG: Within plate granite, ORG: Ocean ridge granite, VAG: Volcanic arc granite, SYN-COLG: Syn-collisional granite, COLG: Collisional granite.

SONUÇLAR

Çalışmanın esas konusunu oluşturan Çataldağ Granitoidinin stratigrafik olarak alttan üste; Fazlıkonağı formasyonu, Karakaya formasyonu, Mezozoyik yaşlı mermerler, Yayla melanjından oluşan kayaç birimlerine sokulmuştur. Neojen detritikleri ve volkanikleri tarafından ise üzerlenmiştir.

Yapılan petrografik analizler ile granitoidin genelinde holokristalen dokunun hakim olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte holokristalen doku özellikle granitoidin kenar ve dış yüzeyini oluşturan kayaçlarda yerini porfirik dokuya bırakırken, porfirik doku ve bu tip dokuda gözlenen katazma izleri dış zonlarda yönlenmelerin ve basınç etkisinin işareti olarak yorumlanmıştır.

Ayrıca ince kesit örneklerinde izlenebilen plajiyoklaslardaki zonlanmalar, granitin özellikle dış ve kenar zonlarındaki hızlı soğumayı işaret etmektedir. Bu tip doku plütunun sokulumu sırasında meydana gelen soğumanın özellikle dış zonlarda hız kazandığını göstermektedir.

Çataldağ Granitoidinden alınan örnekler üzerinde yapılan jeokimyasal çalışmalarda, plütunun yüksek-K, kalk-alkalen ve peralümina karakterlerinde olduğu izlenmiştir.

Çarpışma sonrası magmatizma özelliklerini taşıyan Çataldağ plütununun, ana oksit elementlerinin ve Rb, Sr, Y ve Ba gibi iz elementlerin silikaya oranlamaları ile plütunun fraksiyonel kristallenme, asimilasyon-fraksiyonel kristallenme ve magma karışması süreçlerinden geçtiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- AKYÜZ, S., 1995 Manyas-Susurluk-Kepsut (Balıkesir) Civarının jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ALTUNKAYNAK, Ş., 2007 Collision-driven slab breakoff magmatism in northwestern Anatolia, Turkey, *Journal of Geology* vol.115 no:1, 63–82.
- BİNGÖL, E., AKYÜREK, B. ve KORKMAZER, B., 1973 Biga yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri, Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kong. Tebliğleri, s. 70, Ankara.
- BİNGÖL, E., 1976 Evolution Geotectonique de l'Anatolie de l'Ouest. *Bull. Soc. Geol. France*, ser. 7, v. 18, no. 2. p.431–450.
- BOZTUĞ, D., HARLAVAN, Y., JONCKHEERE I., CAN, I., SARI, R., 2009 Geochemistry and K-Ar cooling ages of the Ilıca, Çataldağ (Balıkesir) and Kozak (Izmir) granitoids, west Anatolia, Turkey, *Geological Journal*, 44, 1, s. 79-103.
- ERCAN, T., ERGÜL, E., AKÇAÖREN, F., ÇETİN, A., GRANIT, S., ve ASUTAY, J., 1990 Balıkesir-Bandırma Arasının Jeolojisi, Tersiyer Volkanizmasının Petrolojisi ve Bölgesel Yayılımı MTA Dergisi, 110, ss. 113-130.
- ERGÜL, E.; ÖZTÜRK, Z.; AKÇÖREN, F. ve GÖZLER, M.Z., Balıkesir ili - Marmara denizi arasının jeolojisi, MTA Rap., (1980).
- HARKER, A., 1909 *The Natural History of Igneous Rocks*, London, Methuen, 384 pp.
- IRVINE, T.N., and BARAGAR, W.R.A., 1971 A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- IŞIK, V., TEKELİ, O. and Seyitoğlu, G., 2004 The $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ age of extensional ductile deformation and granitoid intrusions in the northern Menderes core complex: Implications for the initiation of extensional tectonics in western Turkey, *Journal of Asian Earth Science* 23, 555-566.
- KAYA, O., ÜNAY, E., GÖKTAŞ, F., SARAÇ, G., 2007 Early Miocene stratigraphy of Central West Anatolia, Turkey: implications for the tectonic evolution of the Eastern Aegean area. *Geological Journal*, 42, 85-109.
- KÖPRÜBAŞI, N., and ALDANMAZ, E., 2004 Geochemical Constraints on the Petrogenesis of Cenozoic I-Type Granitoids in Northwest Anatolia, Turkey: Evidence for Magma Generation by Lithospheric Delamination in a Post-Collisional Setting, *International Geology Review*, 46: 8, 705-729.
- Le MAITRE, R.W., BATEMAN P., DUDEK A., KELLER, J., LAMEYRE Le BAS, M.J., SABİNE, P.A., SCHMİD R., SORENSEN H., STRECKEISEN, A., WOOLLEY, A.R., ZANETTİN B., 1989 *A classification of igneous rocks and glossary of terms* Blackwell, Oxford.
- MANIAR PD., PICCOLI PM., 1989 Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Am. Bull.* 101, 635–643.

- MIYASHIRO, A., 1978 Nature of alkalic volcanic Rocks series immobile elements, *Chemical Geology*, 20, *Contrib.Mineral Petrol.*, 66, 91 – 104.
- OKAY, A.I., 1989, Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey: ed. A.M.C. Şengör, *Tectonic Evolution of the Tethyan Region*, Kluwer Academic Publ., 109-116.
- OKAY, A. I., ŞENGÖR, A.M.C. ve GÖRÜR, N., 1994 Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions, *Geology*, 22, 267-270.
- ORHAN, A., MUTLU, H., 2009 Susurluk (Balıkesir) Skarn Yatağının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri, *Eskişehir OGU Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 22(II), 65-90.
- PEACOCK, M. A., 1931 Classification of igneous rock series, *Journal of Geology*, v. 39, 54–67, (1931).
- PEARCE, J.A., HARRIS, N.B.W., and TINDLE, A.G., 1984 Trace element discrimination diagram for the tectonic interpretation of granitic rocks, *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- PURVIS, M., ROPBERTSON, A.H.F., PRINGLE, M., 2004. ³⁹Ar–⁴⁰Ar dating of biotite and sanidine in tuffaceous sediments and related intrusive rocks: implications for the early Miocene evolution of the Gfrdes and Selendi basins, W Turkey. *Geol. J.*
- RICKWOOD, P.C., 1989 Boundary lines within petrological diagrams which use oxides of major and minor elements, *Lithos*, 22, 247-263.
- SEYİTOĞLU G. ve SCOTT, B.C., 1992 The age of the Büyük Menderes graben (west Turkey) and its tectonic implications, *Geological Magazine*, 129, 239-242.
- SEYİTOĞLU, G. ve Scott, B.C., 1996 Age of Alaşehir graben (west Turkey) and its tectonic implications, *Geological Journal*, 31, 1-11.
- SUN, S.S., McDONOUGH, W.F., 1989 Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.). *Magmatism in the Ocean Basins*, *Geol. Soc., London, Spec. Publ.*, 42, 313-345.
- STRECKEISEN, A., and Le MAITRE, R. W., 1979 A chemical approximation of the modal QAPF classification of the igneous rocks, *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen* v. 136, 169–206.
- ŞENGÖR, A.M.C., ve YILMAZ, Y., 1981 Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- ŞENGÖR, A.M.C., YILMAZ, Y. ve KETİN, T., 1982 Remnants of a pre - late Jurassic ocean in northern Turkey, *Fragments of Permian - Triassic Paleo - Tethys? Reply* : *Geol. Soc. America Bull.*, 93,932 – 936.
- WILSON, M., 1989 *Igneous Petrogenesis*, Unwin Hyman Press, London, 456 pp.