



Cumhuriyetimizin 100. Yılında Yerbilimleri Kolokyumu

"Batı Anadolu"

*Geosciences Colloquium on the 100th Anniversary of the Turkish Republic
"Western Anatolia"*



Kuzeydoğu Türkiye'de Geç Kretase Yitim Sisteminde Üretilen Bimodal Volkanik Kayaçların, VMS Yataklarının ve Yaşıt Granitoidlerin Kökenine Dair Yeni Görüşler *New Insights on the Genesis of Bimodal Volcanic Rocks, Associated VMS Deposits, and Coeval Granitoids in the Late Cretaceous Subduction System of Northeastern Turkey*

Faruk Aydın^{1*}, Orhan Karslı¹, Simge Oğuz-Saka^{1,2}, Abdurrahman Dokuz³,

Hadi Shafai Moghadam^{1,4}, Junxing Zhao⁵, Axel K. Schmitt⁶

¹*Karadeniz Technical University, Department of Geological Engineering, Trabzon, 61080, Türkiye*

²*General Directorate of Mineral Research and Exploration, 06800 Ankara, Türkiye*

³*Gümüşhane University, Department of Geological Engineering, Gümüşhane, 29000, Türkiye*

⁴*School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan 36716-41167, Iran*

⁵*Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 100029, China*

⁶*Institute of Earth Sciences, University of Heidelberg, 69120 Heidelberg, Germany*

(faydin@ktu.edu.tr)

Öz

Orojenik kuşaklardaki kıtasal yay ve yay gerisi ortamlarda, "alevenmeler" olarak adlandırılan, aralıklı, yüksek hacimli (yüksek akışlı) magmatik olaylar yaygındır. Bu olaylar tipik olarak bir yitim sistemindeki üst veya alt levha hareketleri ile ilişkili olan mekanizmalar tarafından tetiklenir. Bu mekanizmalar sayesinde artan manto ergimesi ortaç-silisli kalk-alkali plütönik ve bimodal volkanik kayaçların önemli miktarda oluşmasına neden olur. Yitim sistemlerindeki yüksek akışlı magmatik olayların meydana gelmesi, magmatik aktivitenin büyüklüğünü, yoğunluğunu ve bileşimini belirlemede önemli rol oynayan yitim-ilişkili süreçler, su ve uçucuların girdisi, manto heterojenliği ve yakınsama hızı ve açısı da dahil olmak üzere çeşitli faktörlere atfedilebilir. Doğu Akdeniz bölgesinde Geç Mesozoik sırasında oluşan en büyük Tetis magmatik yaylarından biri olan Doğu Pontidler veya Doğu Karadeniz Magmatik Yay (DKMY), bu yüksek akışlı magmatik alevlenmeleri araştırmak için mükemmel bir fırsat sağlar. Bu çalışmada, biz mevcut literatür verilerini (tüm kayaç jeokimyası ve zirkon jeokronolojisi) yeni zirkon Hf- ve O-izotop bileşimleriyle birleştiren kapsamlı bir analiz sunuyoruz. Asıl amacımız, Geç Kretase döneminde DKMY'de oluşan uzun ömürlü (yaklaşık 25 My), aralıklı ve yüksek hacimli magmatik olaylar hakkında daha kapsamlı bilgiye ulaşmaktır. Ek olarak, Kuzeydoğu Türkiye'deki Geç

Kretase volkanizması ile ilişkili volkanojenik masif sülfid (VMS) yataklarının oluşum zamanı ve kökenine ilişkin yeni bilgiler sağlamaktır.

Volcano-stratigrafi, yaş ve jeokimyasal verilerimiz, DKMY'deki granitoidik plütonlarla ilişkili olan iki aşamalı bimodal volkanizmanın püskürmesini (birinci evre: ~92-85 ve ikinci evre: ~83-67 My) ve Geç Kretase sırasındaki belirgin magmatik alevlenmeleri desteklemektedir. Tabanda sınırlı mafik/bazaltik kayaçlar ve üstte hacimli felsik/silisik türlerle karakterize edilen bimodalite, alt (AVS) ve üst (ÜVS) volkanik sekansların tipik bir özelliğidir. Bu istifler, toleyitik ilâ kalk-alkali bazalt-bazaltik andezitlerden ve aynı zamanda dünya çapında önemli felsik-tip VMS oluşumlarına benzer çok sayıda VMS cevherleşmesine ev sahipliği yapan kalk-alkali ilâ şoşonitik dasit-riyolitlerden oluşur. Cevheriçeren dasitik örneklerden elde edilen yeni yaş verilerimiz, VMS oluşumlarının zamanlamasını AVS için geç Koniasiyen-erken Santoniyen (~87-85 My) ÜVS için erken Kampaniyen (~82-80 My) ile sınırlandırmaktadır. Bölgedeki yaşıt granitoidler jeokimyasal olarak metalümin karaktere sahip I- ve A-tipi granitler olarak sınıflandırılabilir. I-tipi granitler geniş bir zaman aralığında ($\pm 91 - 72$ My) yerleşmiş ve kalk-alkali'den şoşonitiğe değişen bir afiniteye sahiptir; buna karşın A-tipi granitler 81 ve 73 My'da sınırlı bir sürede yerleşmiş olup şoşonitik-ultrapotasik karakter gösterirler.

Bu kayaçlar genellikle büyük iyon litofil elementler (BİLE) ile hafif nadir toprak elementlerin (HNTE) zenginleşmesi ve yüksek alan mukavemetli elementlerin (YAME) tüketilmesi ile karakteristik olan yay-benzeri bir jeokimyasal özellik gösterir. DKMY'deki Geç Kretase yaşlı mafik ve felsik magmatik kayaçların tüm kaya Sr-Nd-Pb ve zirkon Hf-O izotop bileşimleri, magmatik alevlenmelerde hem manto hem de kıtasal kabuğun rol oynadığını ve ilişkili VMS yataklarının kökenine katkı sağladığını işaret eder. Jeokimyasal ve izotopik veriler, birinci ve ikinci magmatizma evresindeki mafik ve felsik kayaçların kaynağındaki farklılıkları gösterir. Birinci evre bazaltik kayaçlar büyük olasılıkla yiten levha/sediment-türevli sıvılar tarafından metazomatize edilmiş litosferik bir mantodan oluşmuştur. Buna karşın, ikinci evre bazaltları muhtemelen heterojen bir manto kaynağından (yiten levha/sediment-türevli sıvılar±ergiyikler ile metazomatize olmuş, zenginleşmiş Hint-tipi bir manto) türemiş olup kıtasal kabuk materyalleri ile az miktarda kontamine olmuştur. Birinci ve ikinci evre felsik/silisik volkanik kayaçların ve eş yaşlı I- ve A-tipi granitoidlerin oluşumundan sorumlu olan ana ergiyikler, büyük olasılıkla zenginleşmiş üst mantodan türeyen ve kıta altında biriken bazaltik ergiyiklerin kıtasal kabukla etkileşimi ile oluşmuş olabilir. Bu olayı magma karışımı ve uzun süreli farklılaşma süreçleri takip etmiştir. Daha sonra bu ergiyikler, bölgedeki yüksek silikalı granitik ve riyolitik kayaç türlerini oluşturmak için yerleşimleri ve yükselmeleri sırasında fraksiyonel kristallenme (FC) ile birlikte olası asimilasyon+fraksiyonel kristallenme (AFC) süreçlerine maruz kalmışlardır.

Önceki çalışmalarla birleştirilen bulgularımız, DKMY'deki Geç Kretase yaşlı magmatik kayaçların Neotetis Okyanusu'nun kuzey kolunun kuzeye doğru yitimi sırasında genişlemeli bir yay ve/veya yay gerisi ortamda oluşan iki aşamalı magmatik olayın ürünlerini temsil ettiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bimodal volkanizma, Doğu Pontidler, Granit, Geç Kretase, KD Türkiye, VMS yatakları, Yay ve yay gerisi.

Abstract

In continental arc and back-arc settings within orogenic belts, episodic high-volume (high-flux) magmatic events, referred to as "flare-ups", are common. These events are typically triggered by mechanisms associated with either the upper or lower plate in a subduction system. They result in significant accumulations of intermediate to silicic calc-alkaline plutonic and bimodal volcanic rocks due to enhanced mantle melting. The occurrence of high-flux magmatic events in subduction systems can be attributed to several factors, including slab-related processes, the influx of water and volatiles, mantle heterogeneity, and variations in convergence rates and angles, collectively influencing the magnitude, intensity, and composition of magmatic activity. The eastern Black Sea magmatic arc (EBMA), i.e., the eastern Pontides, one of the largest Tethyan magmatic arcs formed during the Late Mesozoic in the eastern Mediterranean region, presents an excellent opportunity to investigate these high-flux magmatic flare-ups. In this study, we present a comprehensive analysis that combines new zircon Hf- and O-isotope compositions with existing literature data, including both whole-rock geochemical and zircon geochronological data. Our main objective is to gain a deeper understanding of the long-lived (~25 Ma), episodic, and high-volume magmatic events that occurred in the EBMA during the Late Cretaceous. Additionally, our study aims to provide insights into the timing and genesis of volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits associated with Late Cretaceous volcanism in Northeastern Turkey.

Our volcano-stratigraphy, age, and geochemical data robustly support the eruption of two-stage bimodal volcanism (stage 1: ~92-85 Ma and stage 2: ~83-67 Ma), which are associated with granitoid plutonism, both corresponding to distinct magmatic flare-ups during the Late Cretaceous in the EBMA. The bimodal pattern is characterized by limited mafic/basaltic rocks at the base, followed by voluminous felsic/silicic types, a characteristic feature of both the lower (LVS) and upper (UVS) volcanic successions. These successions consist of tholeiitic to calc-alkaline basalt-basaltic andesites as well as calc-alkaline to shoshonitic dacite-rhyolites that host numerous VMS ore deposits, like globally significant felsic-type VMS occurrences. Our new age data from ore-bearing dacitic samples constrain the timing of VMS mineralization in the LVS to the late Coniacian-early Santonian period (~87-85 Ma) and in the UVS to the early Campanian period (~82-80 Ma). The contemporaneous granitoids in the region can be geochemically classified as I- and A-type granites, exhibiting metaluminous character. I-type granites were emplaced over an extended period (~91–72 Ma) and showed calc-alkaline to shoshonitic affinity, while A-type granites were emplaced during shorter intervals (~81 and 73 Ma) and displayed shoshonite to ultrapotassic characteristics.

These rock types generally exhibit an arc-like geochemical signature, characterized by enrichment in large ion lithophile elements (LILEs), light rare earth elements (LREEs), and depletion in high field strength elements (HFSEs). Whole-rock Sr-Nd-Pb and zircon Hf-O isotopic compositions of the Late Cretaceous mafic and felsic magmatic rocks in the EBMA suggest the involvement of both mantle and the continental crust in magmatic flare-ups and the genesis of associated VMS deposits. Geochemical and isotopic data indicate differences in the source of mafic and felsic rocks from the stage (1) and (2) magmatism. Basaltic rocks from Stage (1) most likely originated from lithospheric mantle that experienced metasomatism due to slab/sediment-derived fluids. In contrast, basalts from the stage (2) probably originated from a heterogeneous mantle source (enriched Indian-type mantle metasomatized by slab/sediment-derived fluids \pm melts), with minor contributions from continental crustal materials. The parental melts responsible for generating the stage (1) and (2) felsic/silicic volcanic rocks, as well as the coeval I and A-type granitoids, likely formed through the interaction of underplating of basaltic melts from the enriched upper mantle with the continental crust, followed by mixing and protracted differentiation processes. Subsequently, these melts experienced fractional crystallization (FC) with possible assimilation (AFC) processes during their ascent and emplacement, leading to the formation of high-silica granitic and rhyolitic rock types in the region.

Our findings, in conjunction with prior research, suggest that the Late Cretaceous magmatic rocks in the EBMA represent the products of two-stage magmatic events that occurred in an extensional arc and/or back-arc setting during the northward subduction of the northern branch of the Neotethys Ocean.

Keywords: Arc and back-arc, Bimodal volcanism, Granite, Eastern Pontides, Late Cretaceous, NE Türkiye, VMS deposits.