

Kalay oluşumu, önemi ve Ülkemizdeki kalay yataklarının aranmasında yeni umutlar

Ezgi ULUSOY¹

1. Giriş

Nadir metaller içinde yer alan kalayın keşfinin milattan önce yaklaşık 3.500'li yıllarda gerçekleştiği arkeometrik çalışmalardan anlaşılmaktadır. Kalayın ilk olarak Küçük Asya (Anadolu) uygarlıklarında kullanımı, bakır ile alaşımı olan bronz üretilerek gerçekleştirilmiştir. Avcılığın esas olduğu zorlayıcı hayat koşullarında, bakırdan yapılan aletlerin tunç ile yapılmaya başlanması insanlık tarihinin gelişiminde önemli bir kilometre taşı olmuş ve bunun sonucunda "Tunç Çağı" olarak bilinen tarih öncesi çağ başlamıştır. MÖ 16-11 yy'lar arasında Mezopotamya bölgesinde hüküm sürmüş Kass ülkesinden adını alan kalay oksit minerali "kassiterit" ekonomik anlamda işletilebilen en önemli kalay mineralidir. Bilimsel kaynaklarda Anadolu'da keşfedildiği belirtilen kalayın, bu bölgede cevherleşmesine yönelik antik ve güncel bulgular oldukça kısıtlıdır. Önceleri Anadolu'da bilinen kalay yatağı olmadığından, Hititlerin kullandıkları kalayın bir kısmını Asurlular ile yaptıkları ticaret ile elde ettikleri o döneme ait kil tabletlerden öğrenilmiştir. Yakın zamanlı araştırmalarda Niğde İli, Çamardı İlçesi Celaller Köyü civarında, ilk kalay üretimlerinin MÖ 2.880 yılında yapıldığı belirlenen iki farklı antik kalay madeni bulunmuştur (Pehlivan ve Alpan, 1986). Kayseri Hisarcık'ta MÖ 4.000 yılına ait olduğu belirlenen antik kalay madenin bulunması, Anadolu uygarlıklarının kalayı sadece ticaret ile elde etmediğini, aynı zamanda üretebildiğini de işaret etmektedir. Birincil olarak intrüzyon ilişkili gelişen kalayın cevherleşme potansiyeli; kalayın oluşumunda etkin olan intrüzyonun tektojenetik konumu, akışkan - ergiyik etkileşimi gibi bir takım kimyasal parametreler ile ilişkilidir. İntrüzif kayaçların Türkiye'de yayılımına bakıldığında Ülkemizin kalay cevherleşmesi açısından umut verici olduğu anlaşılmaktadır.

2. Kalayın Özellikleri

Latince adı "stannum" dan "Sn" simgesini alan kalay, atom ağırlığı 118.6, atom numarası 50 olan bir geçiş metalidir. Kamil vd., 2017 tarafından tanımlanan kritik metaller içinde, nadir metaller grubunda yer almaktadır. Katı forma sahip kalay, normal şartlar altında kararlı allotrop β -kalaydır, bu tetragonal formu, gümüş beyazı, dövülebilir bir metaldir. Daha düşük sıcaklıklarda ise kalay kübik formu, yoğunluğu daha düşük olan gri renkli α -kalaya dönüşür. Kalayın

ergime noktası 232 °C, kaynama noktası ise 2602 °C olup, özgül ağırlığı 7.3 g/cm³tür.

3. Kalayın Yerkürede Bulunuşu ve Mineralleri

Kalay, element olarak yerküredeki çeşitli kayaçlarda çeşitli oranlarda bulunabilmektedir. Kalayın oluşturabileceği mineraller ise oksit mineralleri ve sülfid mineralleri olarak iki grupta gözlenmektedir. En önemli kalay kaynağı yaklaşık %78 Sn içeriğiyle kalay oksit minerali olan kassiterit (SnO₂). Kalay taşı olarak bilinen kassiterit, ismi Yunanca "Kass ülkesi madeni" anlamına gelen "kassiteros" tan türemiştir (Kaptan, 1992). Tetragonal sistemde kristalleşen kassiterit minerali MOHS sertlik skalasına göre 6-7 sertliğe sahip, 6.8-7.1 g/cm³ yoğunlukta kahverengi, kahvemsii siyah renklerde yarı metalik parlaklığa sahip kırılğan bir mineraldir. Stannit, frankit, confieldit ve teallit gibi kompleks sülfid minerallerinden de çok küçük miktarlarda kalay elde edilmektedir. %28 Sn ve %29 Cu içeriğiyle en önemli kalay sülfid minerali olan stannit (Cu₂FeSnS₄) izabe edilmesi durumunda doğal bronz (tunç) bileşimindedir. Tetragonal sistemde kristalleşen stannit minerali MOHS sertlik skalasına göre 4 sertliğe sahip, 4.3-4.5 g/cm³ yoğunlukta gri, siyah renklerde metalik parlaklığa sahip kırılğan ve polarizan mikroskop altında izotrop bir mineraldir.

4. Kalayın Önemi

Kalay, düşük karbonlu bir ekonomiye geçiş için gerekli olan, orta dereceli "kritik metal" olarak değerlendirilmiş olup, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve ideal olarak yok edilmesini amaçlayan temel dekarbonizasyon teknolojisiyle ilişkili en önemli on metal arasında yer almaktadır (Moss vd., 2013).

Kalayın kolay işlenebilirliği, levha haline getirilebilmesi, düşük ergime sıcaklığı, yumuşaklığı, korozyona, sürtünmeye ve oksitlenmeye dayanıklılığı, toksik olmaması gibi özellikleri kalayı başta metalürji sanayii olmak üzere, otomotiv, uçak, gemi gibi çeşitli endüstriyel alanlarda önemli kılmaktadır. Son 10 yılda kalay üretiminin %50'den fazlası kurşunsuz lehim olarak elektronik sanayinde kullanılmaktadır. Bunun yanında süper iletken miktatıslar, gelişmiş güneş pilleri yapımı, likit-kristal ekranlar gibi birçok yüksek teknoloji uygulamalarında kalay alaşımları önemli yer tutmaktadır (Lehmann, 2020). Bu nedenle kalayın elde edilmesi için yeni arama çalışmaları hızla artmaktadır.

¹Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara

5. Kalayın Oluşumu

Dünya çapında birincil ve ikincil kalay yataklarının %99'dan fazlası granitik kayalarla ve bunların subvolkanik-volkanik eşlenikleriyle ilişkili olarak gelişmektedir (Lehmann, 2020). En önemli kalay cevheri olan kassiterit, atmosferik koşullarda bozunmaya karşı dirençli olması ve özgül ağırlığının yüksekliği nedeniyle akarsu ve kıyı çökellerinde yoğunlaşarak kalayın plaser yataklar halinde zenginleşmesini sağlamaktadır.

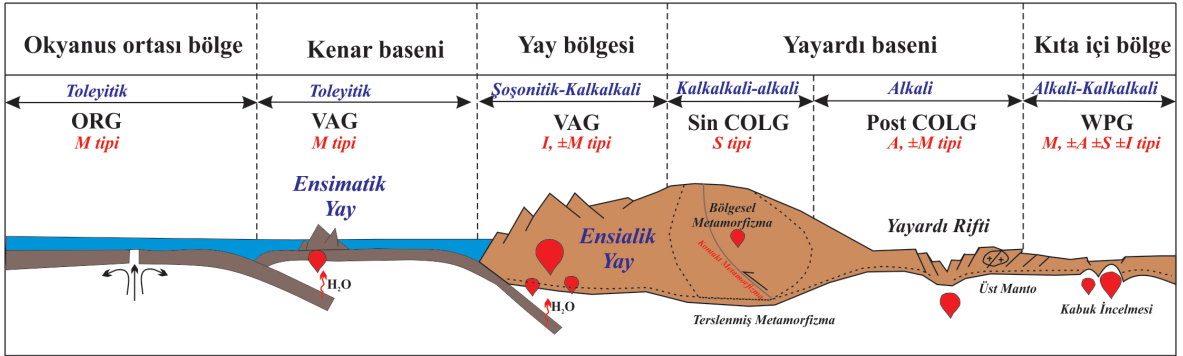
Birincil oluşumlarda ise magmatik döngü içerisinde Sn elementi, magmatik farklılaşma süresince daha çok ergiyik ve çözeltiler içinde zenginleşme eğiliminde olup pegmatitik evreden itibaren element olarak yer alabileceği minerallerin bileşimine (ör: biyotit, granat, titanit, magnetit vb.) girmeye başlar. Magmatik kütlelerin ısısını kaybederek kristalleşmesinin devamındaki pnömatolitik evre

içinde ise mobil davranarak hidrotermal akışkanlar içinde zenginleşme eğilimi göstermektedir. Kalay genel olarak volfram (W) ile birlikte hareket etmekte olup bunlara ilaveten Be, B, Li, Nb, Ta, Mo ve Ag zenginleşmeleri de meydana getirebilmektedir.

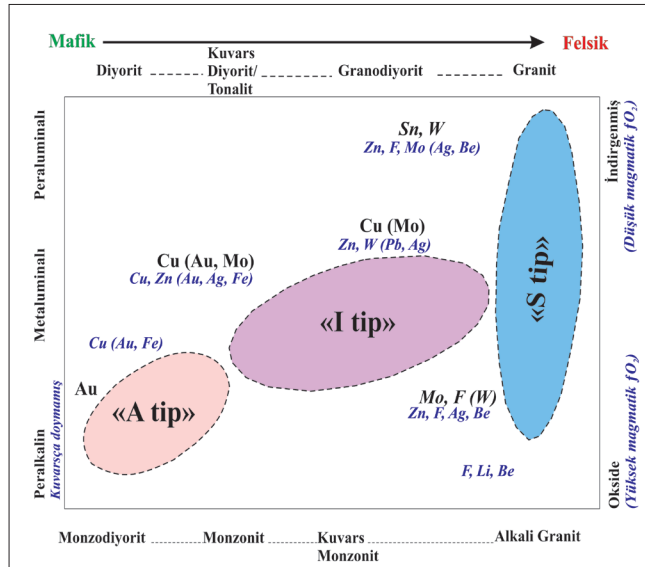
Yerkürede tektonik ortamlar genel olarak beş gruba ayrılmış ve bu ortamlarda yer alan magmalar için M, A, I ve S tipi olmak üzere dört farklı seri tanımlanmıştır (Şekil 1).

Bu magma serilerinin SiO_2 ve ASI değerlerine göre oluşturabileceği olası cevherleşmeler Şekil 2'de belirtilmiştir. Buna göre Sn cevherleşmelerinin peralüminalı, alkalice zengin, felsik, S tipi granitler içinde gelişebileceği açık şekilde gözlenmektedir. Burada önemli noktalardan biri, her S tipi granitin kalay cevherleşmelerini doğurup doğuramayacağıdır.

Söz konusu tektonik ortamlar içinde çarpışma süreci ve sonrasında kıtasal kabuk içinde meydana



Şekil 1- Magmatik kayaların tektonik sınıflaması [Pitcher (1983,1993), Barbarin (1990) ve Ayaz (2017)' den değiştirilmiştir].



Şekil 2- Magmatik kayaların silisyum, ASI ve fO_2 değerlerine göre magma serisi ve olası üretebileceği cevher parajenezleri (Barton, 1996'dan değiştirilmiştir).

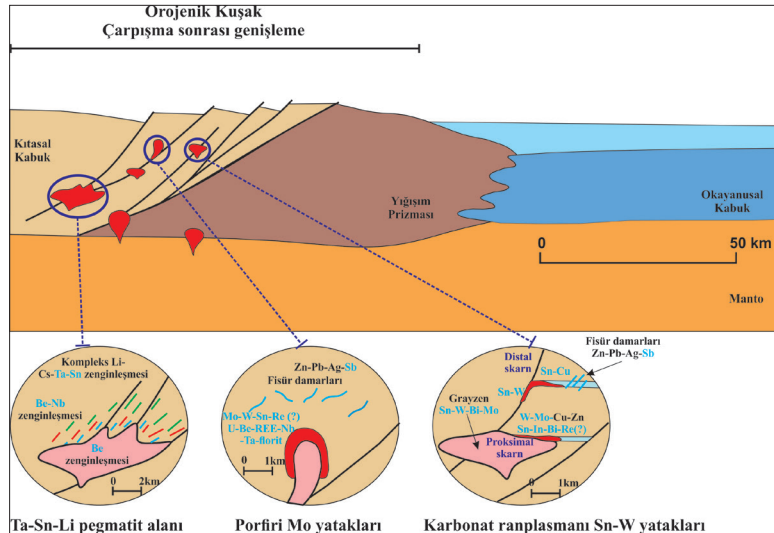
gelen intrüzyonlar Sn cevherleşmesine olanak verebilmektedir (Şekil 3). Geç orojenik ve post orojenik süreçlerde oluşan uyumsuz elementlerce zenginleşmiş Li-Cs-Ta (LCT) pegmatitler ve kısmen sığ derinlikteki granitik kütledeki magmatik-hidrotermal akışkanların dolaşımı sonucu oluşan grayzenler, Sn cevherleşmesinde oldukça etkin rol oynamaktadır.

Bu noktada nadir metaller olarak tanımlanan, oldukça mobil karakterli elementlerin zenginleştiği magmanın tanımlanması önem arz etmektedir. Magmatik ve hidrotermal süreçlerin kombinasyonu olarak, ileri derecede fraksiyonlanmış; yüksek silika ve alkali içerikli, peralüminalı alüminyum doygunluğuna sahip, daha çok S tipi magma serisi granit bileşimindeki intrüzif kayalarda (aynı zamanda subvolkanik-volkanik eşleniklerinde) bu metallerin diğer intrüzif karakterlerine göre daha belirgin zenginleşme gösterdiği tespit edilmiş olup, bunlar metalifer granitler olarak tanımlanmıştır (Lehman, 1990; Lee ve Morton, 2015; Schaefer vd., 2017, 2018). Li, Rb, Cs, Sn, W, Ta, Nb ve Be elementlerince zenginleşme gösteren bu granitler, Linnen ve Cuney (2005) tarafından kimyasal özelliklerine, tektonik parametrelerine göre nadir metal granitleri olarak tanımlanmıştır. Nadir metal granitleri tipik olarak granit bileşimli kütlelerin en son ve en çok fraksiyonlanmış fazını temsil etmekte olup; peralüminalı yüksek fosfatlı nadir metal granitleri, metalumina-peralümina geçişinde düşük fosfatlı nadir metal granitleri ve peralkalin nadir metal granitleri olmak üzere oluşumdaki farklı kaynaklar ve farklı tektonik ortamlara bağlı olarak üç gruba ayrılmıştır

(Pollard, 1989; Taylor ve Fallick, 1997; Linnen ve Cuney, 2005; Cuney, 2014; Romer ve Pichavant, 2020). Söz konusu üç grupta fO_2 , yan kayaç ilişkisi, akışkan-ergiyik etkileşimi, kütlelerin yerleşimi sırasında kabuktaki stres etkisi gibi parametrelere bağlı olarak Sn oluşturma potansiyeline sahiptir. Sn, Ta, W, Li ve Cs'ye özgü nadir element granitlerinde kabuğa ait metasedimanter protolitlerin kısmi ergimesi, ana metal kaynağını oluşturmada olup, mantodan türemiş ergiyiklerin bu granitlerde cevher oluşturacak element miktarına önemli bir katkısı yoktur. Bununla birlikte, mantodan türemiş bu eriyiklerin, kabuksal ergime için gerekli ısı taşıyıcıları olarak önemli rol oynadığı düşünülebilir (Romer ve Pichavant, 2020). Esas olarak kabuksal ergime için ısı kaynağının dalma batma, kıtasal çarpışma ve kabuksal genişleme olarak üç farklı tektonik ortamdaki süreçler etkisiyle geliştiği düşünülmektedir (Romer ve Kroner, 2016). Bu süreçte ergiyik-hidrotermal geçişi önemlidir çünkü kısmi ergime ve fraksiyonel kristalizasyon sırasında ergiyikte zenginleşen nadir metaller, benzer şekilde geç evre magmatik-hidrotermal süreçte de ergiyik/sıvı fazı tercih ederek en son çökelecektir (Schmidt, 2018). Nadir metal granitleriyle ilişkili gelişen kalay, geç evre magmatik-hidrotermal sürecin ürünü olan grayzen ve pegmatitlerde zenginleşerek cevher oluşturmaktadır (Romer ve Pichavant, 2020).

6. Dünyada Kalay Rezervi

Dünya çapında çıkarılan yaklaşık 27 milyon ton kalayın %99'dan fazlası intrüzyon ilişkili gelişen birincil kalay yatakları ve/veya bu kayaçlarla bağlantılı gelişen ikincil plaser yataklarıyla ilişkilidir (Lehmann,



Şekil 3- Kalay oluşabilecek ortamların jeodinamik model üzerinde gösterimi Geoscience Australia ("http://www.ga.gov.au/data-pubs/data-and-publications-search/publications/critical-commodities-for-a-high-tech-world" internet sitesinden alınarak değiştirilmiştir).

2020). Tarih boyunca Güneydoğu Asya (Endonezya, Malezya, Tayland, Myanmar), Güney Çin, Orta And Dağları (Bolivya ve Güney Peru) ve Birleşik Krallık Cornwell bölgeleri kalay madenciliği açısından önem arz eden bölgeler olmuştur (Lehmann, 2020). Güncel verilere göre dünya genelinde tespit edilmiş kalay rezervi en zengin ülke, 1.1 Mt rezerv ile Çin'dir. Ardından Endonezya (0.8 Mt), Avustralya (0.43 Mt), Brezilya (0.42 Mt), Bolivya (0.40 Mt), Rusya (0.28 Mt) en zengin kalay rezervi tespit edilmiş ülkelerdir (USGS, 2021). Kalayın işletilebilir ekonomik tenörü %1-1.5 olup bazı durumlarda bu değer %0.2 ile %0.3'e kadar düşebilir, plaser yataklarda ise 0.25 kg/m³ SnO₂ ekonomik olarak işletilebilmektedir (<https://www.mta.gov.tr/v3.0/metalik-madenler/kalay>). Londra Metal Borsası verilerine göre son 10 yılda ortalama 20.000\$/ton olan kalay fiyatları 2020 yılından günümüze kadar 35.000\$/ton'a ulaşmıştır.

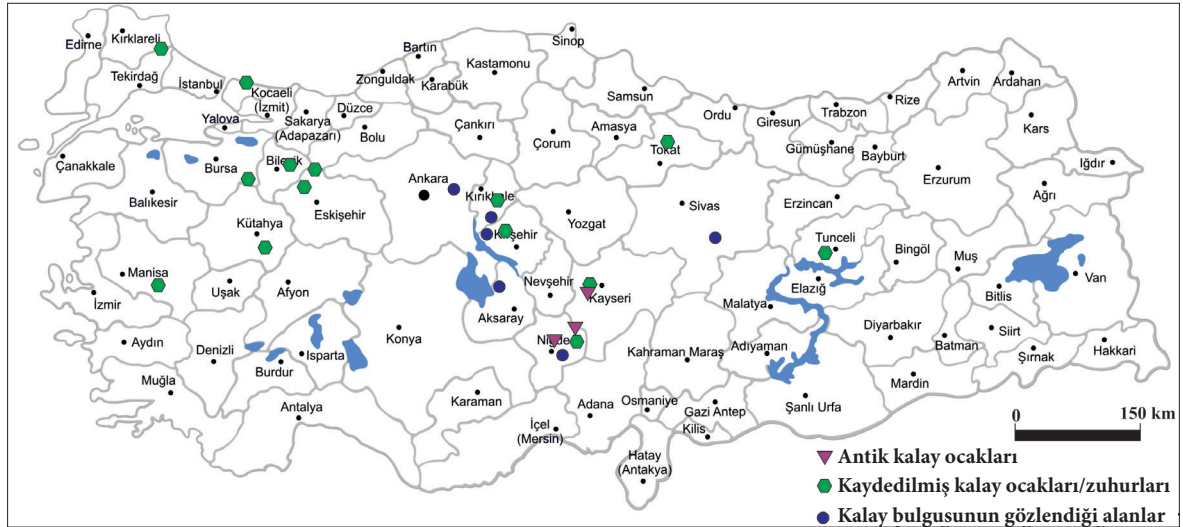
7. Ülkemizdeki Kalay Potansiyeli Bulguları

Ülkemizde ilk kalay bulgusu stannit cevherleşmesi şeklinde Bursa Madenbelenitepe'de ve sonrasında Bolcardağ Sulucadere (Niğde) mevkiinde stannit içeren Pb-Zn cevheri şeklinde tespit edilmiştir (Çağatay vd., 1979, 1982; Yener ve Özbal, 1986, 1987, Şekil 4). Çeşitli metalik cevherleşmelere konaklık yapan Bolkar Dağları'nda (Niğde - Çamardı - Celaller) yapılan ağır mineral çalışmaları ışığında bölgede kassiteritin varlığı tespit edilmiştir (Pehlivan ve Alpan, 1986, Çağatay ve Pehlivan, 1989). 1970'lerden günümüze kadar yapılan araştırmalarda Niğde İli, Çamardı İlçesi Celaller Köyü civarında Mine damı ve Kestel; Kayseri Hisarcık'ta kalay antik madenleri bulunmuştur.

Ülkemiz genelinde değinilen antik ocaklar yanında bazı kalay zuhur ve bulguları belirlenmiştir. Kırklareli'nde Burgaz ve Saray ilçeleri dolaylarında pegmatitlerle ilişkili gelişmiş olabileceği düşünülen kassiterit yatakları, İstanbul Şile, Uşak Murat dağı dolaylarında Eskişehir Mihalgazi, Söğüt, Sarıcakaya ve Gölpazarı dolaylarında kaydedilmiş kalay yatakları söz konusudur (Kaptan, 1983, 1995). Orta Karadeniz bölgesinde Amasya Merzifon ve Sakapınarı dolaylarında bakır cürufalarında kalay bulguları gözlenmektedir (Kaptan ve Jeus, 1974). Doğu Anadolu'da da Tunceli'de Tilek köyü ve Pertek dolaylarında kalay yataklarının varlığı belirtilmiştir (Ryan, 1960).

Yoğun kalay bulgularının gözleendiği Niğde dolayları dışında Orta Anadolu Bölgesi'nde birçok araştırma yürütülmüş olup; Ankara-Karapürçek-Hüseyingazi, Sivas-Divriği-Karakeban arasında, Kırşehir-Kaman, Kırıkkale-Keskin, Aksaray-Hamamdere dolaylarında kalay aramalarına yönelik projeler yapılmıştır (Kaptan, 1983).

Lehmann (2020)'ın "Granitin kalay oluşturabilmesi bir ihtimalken kalayın olduğu yerde granitin varlığı kuraldır" ifadesinden hareketle Ülkemizde kalay bulgu ve zuhurlarının olduğu alanlarla ilişkili granitoidlerin incelenmesi önem arz etmektedir. Ülkemizde Paleozoyik'ten Paleojen-Neojen'e uzanan yaş aralığında çeşitli yaşlarda ve bileşimde asidik-ortaç intrüzifler yüzeylenmektedir. Genel ifadeyle büyük magmatik kütlelerin son ürünü içinde zenginleşen kalayın cevherleşmesini irdelemek için Orta Anadolu Bölgesi oldukça elverişli bir alandır. Orta Anadolu Bölgesi Neotetis okyanusunun yitimine bağlı olarak gelişen yitim (VAG), çarpışmayla eş



Şekil 4- Ülkemizde kalayın antik ocaklar, zuhur ve bulgu olarak gözleendiği lokalitelerin dağılımı [Fidan (2016)'dan değiştirilerek alınmıştır].

yaşlı (Syn-COLG) ve çarpışma sonrası (Post-COLG) farklı tektonik ortamları temsil eden, farklı derinlik kaynaklarından gelen ekonomik jeoloji açısından da oldukça verimli olabilen magmatik birimlerden oluşmaktadır (Kadioğlu vd., 2006). Söz konusu birimler Mezozoyik'ten Senozoyik'e kadar uzanan zamansal ve mekânsal çeşitlilik sergilemektedir. Bölgedeki felsik kayalar levha tektoniğine bağlı olarak, farklı dönemlerde gelişen kalkalkali, şoşonitik ve alkalin karakterli magmalardan türemiş olup bunlar sırasıyla granitoid, siyenitoid ve monzonitoid üst takımları olarak gruplandırılmıştır (Kadioğlu vd., 2006). Yapılan araştırmalarda kalay oluşturma potansiyeli en yüksek kayaç grubu S tipi, alkali değeri yüksek, peralüminalı-metalüminalı granitoidler olarak tanımlanmıştır (Beus, 1982; Cerny, 1991). Orta Anadolu Bölgesi'nde yüzeylenen granitoid ailesi kayalarının (Ağaçören, Behrekdağ, Çelebi, Ekecikdağ, Günyüzü, Karamadazı, Namlıkışla, Sivrihisar-Kaymaz, Üçkapılı, Horoz, Yozgat Batoliti) genel olarak I/H/S-tipi, kalkalkalin karakterli, metalüminalı, metalüminalı - peralüminalı geçişli ve peralüminalı alüminyum doymunluk indisine sahip olduğu günümüze değin yapılan petrolojik çalışmalarla ortaya konulmuştur (Akçe, 2010; Boztuğ, 2000; Boztuğ vd., 2007; Deniz ve Kadioğlu, 2016; Erler ve Bayhan, 1995; İlbeyli, 2005; İlbeyli vd., 2004, 2009; Kadioğlu vd., 2005, 2006; Kadioğlu ve Güleç, 1996; Kadioğlu ve Dilek, 2010; Köksal ve Göncüoğlu, 2008; Köksal vd., 2004, 2007).

Orta Anadolu Granitoidleri içindeki S tipi granitlere yönelik Akçe ve Kadioğlu (2005) tarafından yapılan ayrıntılı çalışmalarla S tipi granitlerin ayırt edilmesindeki karakteristikler anlatılmıştır. Bu karakteristikler Sn cevherleşmesinin ortaya konulmasında önem arz eden kılavuzlardır.

Yapılan petrolojik çalışmaların, nadir metal granitoidleri özellikleri açısından ele alınarak irdelenmesi ve geliştirilmesi, ayrıca bölgede kalay minerallerinin tespit edilmesi Ülkemizde tam anlamıyla aydınlatılamamış kalay varlığının çözülmesini sağlayacaktır.

8. Sonuç

İnsanlık tarihi boyunca birçok uygarlığa ev sahipliği yapan Anadolu'da tarih öncesi devirlere ait bulgular; tüm tarih boyunca kalayın etkin şekilde kullanıldığını göstermektedir. Keşfi Anadolu'ya dayanan kalayın bölgeye ticari yollarla geldiği düşünülmektedir, yakın tarihte belirlenen antik ocaklar bölgede kalay cevherleşmesinin varlığını göstermektedir. Kalay ocaklarının keşfedilmesi, kalayın oluşum mekanizmalarının çözümlenmesi ve

kalay oluşturan kayaların Türkiye'de yayılımına bakıldığında Ülkemizin umut verici potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır. Anadolu'da Geç Kretase'den Paleojen-Neojen'e uzanan yaş aralığında çeşitli bileşimlerde farklı tektonik ortamları temsil eden intrüzifler gözlenmektedir. Neotetis'in yitimine bağlı olarak gelişen söz konusu magmatik birimlerin detaylı olarak çalışılmasının kalay aramacılığı ve yeni kalay yataklarının belirlenmesinin yanı sıra granitoidlerle ilişkili gelişebilecek olan diğer nadir metal cevherleşmelerinin ortaya çıkartılmasında da büyük kolaylık teşkil edeceği öngörülmektedir.

Katkı Belirtme

Bu çalışmanın oluşturulmasındaki yönlendirme ve desteklerinden dolayı Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanı Dr. M. Bahadır ŞAHİN'e; çalışma sürecindeki önerileri ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU'na (Ankara Üniversitesi) teşekkür ederim.

Değinilen Belgeler

- Akçe, M. A. 2010. Yozgat intrüzif kompleksinin jeolojisi, petrolojisi ve Orta Anadolu kristalen karmaşığındaki zamansal ve mekansal konumu. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Akçe, M.A., Kadioğlu, Y.K. 2005. Yozgat Batoliti Kuzey Bölümündeki Lökogranitlerin Petrolojisi. Türkiye Jeoloji Bülteni 48, 2, 1-20.
- Ayaz, M. E. 2017. Yeryuvarının Zonlu İç Yapısı, Yerbilim Kaynaklarının Sınıflandırılması ve Granitoidlere Bağlı Olarak Gelişen Maden Yatakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni 23, 1-12.
- Barbarin, B. 1990. Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting. Geological Journal, 25(3-4), 227-238.
- Barton, M. D. 1996. Granitic magmatism and metallogeny of southwestern North America. Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 87(1-2), 261-280.
- Beus, A. A. 1982. Metallogeny of Precambrian rare-metal granitoids. Revista brasileira de Geociencias, 12(1-3), 410-413.
- Boztuğ, D. 2000. S-I-A- type intrusive associations: Geodynamic significance of synchronism between metamorphism and magmatism in Central Anatolia, Turkey, E.Bozkurt, J. Winchester and J.A. Piper (eds.) Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area: 173, 407-424. Geological Society of London, Special Publication, London.

- Boztuğ, D., Tichomirowa, M., Bombach, K. 2007. 207Pb–206Pb single-zircon evaporation ages of some granitoid rocks reveal continent-oceanic island arc collision during the Cretaceous geodynamic evolution of the Central Anatolian crust, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 31(1), 71-86.
- Cerny, P. 1991. Rare-element granitic pegmatites, part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. *Geoscience Canada* 18 (2), 49–67.
- Cuney, M. 2014. Felsic magmatism and uranium deposits. *Bulletin de la Société Géologique de France* 185: 75–92
- Çağatay, A., Alton, Y., Arman, B. 1979. Madenbelenitepe (Soğukpınar-Bursa) Kalay Cevherleşmesinin Mineralojisi. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 92, 40-8.
- Çağatay, A., Arman, B., Altun, Y. 1982. Madenbelenitepe (Soğukpınar-Keles, Bursa) Stannitinin incelenmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 6(1), 23-26.
- Çağatay, A., Pehlivan, N.A. 1988, Celaller (Niğde Çamardı) kalay cevherleşmesinin mineralojisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Mayıs-Kasım, sayı 32-33, s. 27-31.
- Deniz, K., Kadioğlu, Y. K. 2016. Assimilation and fractional crystallization of foid-bearing alkaline rocks: Buzlukdağ intrusives, Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25(4), 341-366.
- Erlor, A., Bayhan, H. 1995. Orta Anadolu granitoidlerinin genel değerlendirilmesi ve sorunları. *Yerbilimleri*, 16(17), 49-69.
- Fidan, E. 2016. Tarih öncesi dönemlerde Anadolu'da kullanılmış olan maden yatakları. *MT Bilimsel*, (9), 49-59.
- GeoscienceAustralia. <http://www.ga.gov.au/data-pubs/data-and-publications-search/publications/critical-commodities-for-a-high-tech-world>, Erişim tarihi : 20/09/2021
- İlbeyli, N. 2005. Mineralogical–geochemical constraints on intrusives in central Anatolia, Turkey: Tectonomagmatic evolution and characteristics of mantle source. *Geological Magazine*, 142(2), 187-207.
- İlbeyli, N., Pearce, J. A., Meighan, I. G., Fallick, A. E. 2009. Contemporaneous Late Cretaceous calc-alkaline and alkaline magmatism in Central Anatolia, Turkey: O isotope constraints on petrogenesis. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18(4), 529-547.
- İlbeyli, N., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F., Mitchell, J. G. 2004. Petrogenesis of collision-related plutonics in Central Anatolia, Turkey. *Lithos*, 72(3-4), 163-182.
- Kadioğlu, Y. K., Dilek, Y. 2010. Structure and geochemistry of the adakitic Horoz granitoid, Bolkar “Mountains, south-central Turkey, and its tectonomagmatic evolution. *International Geology Review*, 52(4-6), 505-535.
- Kadioğlu, Y. K., Dilek, Y., Foland, K. A., Pavlides, S. 2006. Slab break-off and syncollisional origin of the Late Cretaceous magmatism in the Central Anatolian crystalline complex, Turkey. *Special Papers-Geological Society Of America*, 409, 381.
- Kadioğlu, Y. K., Dilek, Y., Güleç, N., Foland, K. A. 2005. Tectonomagmatic evolution of bimodal plutons in the central Anatolian crystalline complex, Turkey: A reply. *The Journal of Geology*, 113(4), 497-499.
- Kadioğlu, Y. K., Güleç, N. 1996. Structural setting of Gabbros in the Ağaören Granitoid: Implications from geological and geophysical (resistivity) data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5(3), 153-159.
- Kamilli, R.J., Kimball, B.E., and Carlin, J.F., Jr. 2017. Tin, chap. S of Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Jr., Seal, R.R., II, and Bradley, D.C., eds., *Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply*: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, p. S1– S53, <https://doi.org/10.3133/pp1802S>.
- Kaptan, E. 1983. Türkiye madencilik tarihi içinde kalayın önemi ve kökeni, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 95/96 1.64-172.
- Kaptan, E. 1992. Anadolu'da kalay ve eski yeraltı kalay madenciliği, *Jeoloji Mühendisliği* 40: 15-19.
- Kaptan, E. 1995. Tin and Ancient Tin Mining in Turkey, *Anatolia XXI*, s. 197- 203
- Kaptan, E., Jesus, P.S. 1974. Türkiye madencilik tarihi için genel bir araştırma (kalayın kökeni). *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 5226* Ankara (yayımlanmamış).
- Köksal, S., Göncüoğlu, M. C. 2008. Sr and Nd isotopic characteristics of some S-, I-and A-type granitoids from Central Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(1), 111-127.
- Köksal, S., Gürsu, S., Toksoy-Köksal, F., Göncüoğlu, M. C. 2007. Comparison of zircon/apatite geothermometry methods and zircon typology data of the central anatolian granitoids.
- Köksal, S., Romer, R. L., Göncüoğlu, M. C., Toksoy-Köksal, F. 2004. Timing of post-collisional H-type to A-type granitic magmatism: U–Pb titanite ages from the Alpine central Anatolian granitoids (Turkey). *International Journal of Earth Sciences*, 93(6), 974-989.
- Lee, C. T. A., Morton, D. M. 2015. High silica granites: Terminal porosity and crystal settling in shallow magma chambers. *Earth and Planetary Science Letters*, 409, 23-31.
- Lehmann, B. 1990. *Metallogeny of Tin*. Springer, Berlin, p. 211
- Lehmann, B. 2020. Formation of tin ore deposits: A reassessment. *Lithos*, 105756.
- Linnen, R.L., Cuney, M. 2005. Granite-Related Rare-Element Deposits and Experimental Constraints on Ta-Nb-W-Sn-Zr-Hf Mineralization. In: Linnen,

- R.L. and Samson, I.M., Eds., Rare-Element Geochemistry and Mineral Deposits, Vol. 17, Geological Association of Canada Short Course Notes, 45-68.
- Moss, R., Tzimas, E., Willis, P., Arendorf, J., Tercero Espinoza, L. 2013. Critical metals in the path towards the decarbonisation of the EU energy sector. Assessing rare metals as supply-chain bottlenecks in low-carbon energy technologies. Scientific and Policy report, Joint Research Centre, European Commission. Publications Office, Luxemburg, p. 242.
- Pehlivan, N.A., Alpan, T. 1986. Niğde masifi altın kalay cevherleşmesi ve ağır mineral çalışmaları ön raporu: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Pitcher, W. S. 1983. Granite: typology, geological environment and melting relationships. In *Migmatites, melting and metamorphism*, Edited by: Atherton, M. P. and Gribble, C. D. 277–285.
- Pitcher, W. S. 1993. *The Nature and Origin of Granite*. xiii+ 321 pp. London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: Blackie Academic & Professional. ISBN 0 7514 0800 7.
- Pollard, P. J. 1989. Geologic characteristics and genetic problems associated with the development of granite-hosted deposits of tantalum and niobium. In *Lanthanides, tantalum and niobium* (pp. 240-256). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Romer, R.L., Kroner, U. 2016. Phanerozoic tin and tungsten mineralization -Tectonic controls on the distribution of enriched protoliths and heat sources for crustal melting. *Gondwana Research* 31, 60–95.
- Romer, R. L., Pichavant, M. 2020. Rare Metal Granites and Pegmatites. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102908-4.00003-5>
- Ryan, C.M. 1960. A guide to the known minerals of Turkey. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Schaen, A. J., Cottle, J. M., Singer, B. S., Keller, C. B., Garibaldi, N., Schoene, B. 2017. Complementary crystal accumulation and rhyolite melt segregation in a late Miocene Andean pluton. *Geology*, 45(9), 835-838.
- Schaen, A. J., Singer, B. S., Cottle, J. M., Garibaldi, N., Schoene, B., Satkoski, A. M., Fournelle, J. 2018. Textural and mineralogical record of low-pressure melt extraction and silicic cumulate formation in the late Miocene Risco Bayo–Huemul plutonic complex, southern Andes. *Journal of Petrology*, 59(10), 1991-2016.
- Schmidt, C. 2018. Formation of hydrothermal tin deposits: Raman spectroscopic evidence for an important role of aqueous Sn (IV) species. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 220, 499-511.
- Taylor, R. P., Fallick, A. E. 1997. The evolution of fluorine-rich felsic magmas: source dichotomy, magmatic convergence and the origins of topaz granite. *Terra Nova*, 9(3), 105-108.
- U.S. Geological Survey, 2021, Mineral commodity summaries 2021: U.S. Geological Survey, 200 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2021>.
- Yener, K. A., Özbal, H. 1986. Toros dağlarında kalay: Bolkardağ maden bölgesi. *Tübitak Arkeometri Ünitesi Bilimsel Toplantı Bildirileri VI*, 157, 173.
- Yener, K.A., Özbal, H. 1987. Tin. in the Turkish Taurus mountains: The Bolkardağ mining district, *Antiquity*, 61, 232, 220-226.
- <https://www.mta.gov.tr/v3.0/metalik-madenler/kalay>