

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİGA YARIMADASI SÜLFÜR
MİNERALİZASYONLARINA BAĞLI KIYMETLİ
METALLERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeo. Müh. Didem MARAL**

Anabilim Dalı : JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : UYGULAMALI JEOLojİ

HAZİRAN 2006

**BİGA YARIMADASI SÜLFÜR
MİNERALİZASYONLARINA BAĞLI KIYMETLİ
METALLERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Jeo. Müh. Didem MARAL
(505031305)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Atasever GEDİKOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Yüksel ÖRGÜN (İTÜ)
Y. Doç. Dr. Ekrem YÜCE (İTÜ)**

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilimdalı, Uygulamalı Jeoloji Programı'nda hazırlanan bu Yüksek Lisans Tezi'nde, Biga Yarımadası'nda sülfür mineralizasyonlarına bağlı Kıymetli İz Metaller araştırılmıştır.

Bu araştırmanın yürütülmesinde desteğini ve bilgisini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Atasever GEDİKOĞLU'na, arazi çalışmalarım sırasında tüm bilgilerini ve deneyimlerini benim ile paylaşan Or Metal Şirketi'nden Maden Yük. Müh. Hikmet SEZENLER'e ve Or Metal çalışanlarına, Gesom Madencilik'ten Sayın Besim ERTEM'e, Maden Müh. Engin BAŞER'e, Jeoloji Yük. Müh. Turan AYDIN'a, Jeoloji Müh. Murat GÜNER'e, Jeoloji Müh. Sedat BEKER'e ve Gesom Madencilik çalışanlarına, Çanakkale Madencilik'ten Sayın Berkin AKOL'a, Maden Yük. Müh. Engin ÇETİNBAG'a, Jeoloji Müh. Nahide ÜNAL'a ve Çanakkale Madencilik çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca Prof. Dr. Fikret SUNER'e, Jeoloji Yük. Müh. Mehmet MARAL'a, Doç. Dr. Yüksel ÖRGÜN'e, Y. Doç. Dr. Mustafa KUMRAL'a, örneklerin analize hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Y. Doç. Dr. Ekrem YÜCE'ye, Prof. Dr. Ali Haydar GÜLTEKİN'e, tez yazımı sırasında yardımlarını ve görüşlerini esirgemeyen Jeoloji Yük. Müh. Araş. Gör. Aykan KEPEKLİ, Jeoloji Yük. Müh. Araş. Gör. Demet KIRAN, Jeoloji Yük. Müh. Araş. Gör. Zeynep AKTUNA'ya, başta Maden Yatakları – Jeokimya Anabilimdalı olmak üzere tüm Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri, araştırma görevlileri ve çalışanlarına ve maddi manevi her türlü desteği gösteren sevgili aileme ve arkadaşlarıma sonsuz TEŞEKKÜRLER ...

MAYIS, 2006

Didem Maral

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Coğrafi Konum ve Ulaşım	4
1.2. Önceki İncelemeler	5
1.2.1. Genel Jeoloji Çalışmaları	5
1.2.2. Maden Yatakları Çalışmaları	6
2. MATERYAL ve YÖNTEM	8
3. GENEL JEOLojİ	11
3.1. Stratigrafi	11
3.1.1. Sakarya Zonu	14
3.1.1.1 Kalabak Formasyonu	14
3.1.1.2. Jura Öncesi granitoidler	14
3.1.1.3. Kazdağ Grubu	15
3.1.1.4. Karakaya Kompleksi	15
3.1.1.5. Jura-Kretase birimleri	17
3.1.2. Ezine Zonu	17
3.1.2.1. Çamlıca Mikaşistleri	17
3.1.2.2. Karadağ Birimi	18
3.1.2.3. Denizgören Ofiyoliti	18
3.1.3. Çetmi Ofiyolitik Melanjı	18
3.1.4. Tersiyer Granitoidler	19
3.1.5. Tersiyer-Kuvaterner Birimler	19
3.2. Yapısal Jeoloji	20
3.3. Jeolojik Evrim	21
4. BİGA YARIMADASI MADEN YATAKLARI	23
4.1. Handeresi – Bağırkaçdere – Fırıncıkdere – Arılıdere (Kalkım) Bölgesi	
Cevherleşmeleri	26
4.2. Arapuçandere (Yenice) Bölgesi Cevherleşmesi	33
4.3. Korudere (Umurbey) Bölgesi Cevherleşmesi	38

5. SÜLFÜRLÜ MİNERALİZASYONLARA BAĞLI KIYMETLİ METALLER	45
5.1. Kıymetli İz Metallerin Genel Özellikleri ve Dünyadaki Durumları	46
5.2. Kıymetli İz Metallerin Kullanım Alanları	54
5.3. Kıymetli İz Metallerin Üretim Yöntemleri ve Teknolojileri	57
5.4. Kıymetli İz Metallerin Türkiye’deki Durumları	60
5.5. Kıymetli İz Metallerin Ortama Geliş ve Sülfürlü Cevher Minerallerinin Kristal Yapılarına Dahil Oluş Şekilleri	64
5.5.1. Kıymetli İz Metallerin Diadohik Olarak Yerleşimi	65
5.5.2. Kıymetli İz Metallerin İzomorfik Yerleşimi	66
5.5.3. Kristal Ağı Boşluklarına Yerleşim	66
5.5.4. Kristal Bağları	67
5.5.5. Kıymetli İz Metal Elementlerinin Diferansiasyonu	68
5.5.6. Yer Kabuğundaki Elementlerin Jeokimyasal Sınıflaması	69
5.6. Kıymetli İz Metallerin Sfalerit, Galen, Kalkopirit ve Pirit Minerallerinin Kristal Yapısında Yer Alma Şekilleri	69
5.6.1. Galen (PbS)	70
5.6.2. Sfalerit (ZnS)	74
5.6.3. Kalkopirit (CuFeS ₂)	77
5.6.4. Pirit (FeS ₂)	81
6. İNCELENEN ÖRNEKLERİN ANALİZ SONUÇLARININ İSTATİSLİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ	83
7. SONUÇLAR	100
7. KAYNAKLAR	102
ÖZGEÇMİŞ	106

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 : Biga Yarımadası'ndaki metalik cevherleşmeler ve oluşum şekilleri (Gedikoğlu, 2006).....	24
Tablo 5.1 : Sülfürlü mineralizasyonlara bağlı kıymetli iz metallerin yer kabuğu ve sülfürlü minerallerdeki miktarları (Gedikoğlu; 2006).....	50
Tablo 5.2 : Sülfürlü mineralizasyonlara bağlı kıymetli iz metalleri içeren bazı mineraller	51
Tablo 5.3 : Sülfürlü mineralizasyonlara bağlı kıymetli iz metallerin, dünyadaki üretim, rezerv, baz rezerv ve fiyat durumları	53
Tablo 5.4 : Türkiye'de mevcut bazı cevher, konsantre, baca tozlarının In içerikleri	62
Tablo 5.5 : Türkiye'de mevcut bazı cevher, konsantre, baca tozlarının Re içerikleri.....	63
Tablo 5.6 : Galen, sfalerit, kalkopirit ve pirit minerallerinin yapısal boşluk çapları	67
Tablo 5.7 : Galen mineralini oluşturan elementlerin ve yapıya girebilecek Kıymetli iz metallerin jeokimyasal özellikleri	74
Tablo 5.8 : Sfalerit mineralini oluşturan elementlerin ve yapıya girebilecek Kıymetli iz metallerin jeokimyasal özellikleri	77
Tablo 5.9 : Kalkopirit mineralini oluşturan elementlerin ve yapıya girebilecek Kıymetli iz metallerin jeokimyasal özellikleri	81
Tablo 5.10 : Pirit mineralini oluşturan elementlerin ve yapıya girebilecek Kıymetli iz metallerin jeokimyasal özellikleri	82
Tablo 6.1 : Korudere, Arapuçandere, Bağırkaçdere, Handeresi ve Fırıncıkdere cevherleşmelerinin kıymetli iz metal analiz sonuçları	85
Tablo 6.2 : Korudere, Arapuçandere, Bağırkaçdere, Handeresi ve Fırıncıkdere cevherleşmelerinin Tablo 6.1'deki analiz sonuçlarının her cevherleşme için bağlı bulunduğu ana elemente göre kıymetli iz metal tenör değerleri.....	87
Tablo 6.3 : Korudere, Arapuçandere, Fırıncıkdere, Bağırkaçdere ve Handeresi bölgelerindeki cevherleşmelerin içerdiği kıymetli iz metallerin korelasyon değerleri	88
Tablo 6.4 : Yutdışı ve Türkiye'de bazı metalik yataklarda yapılan kıymetli iz metal analiz sonuçlarının karşılaştırması	95

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : İnceleme alanının yerbulduru haritası	4
Şekil 2.1 : Arapuçandere Pb-Zn yatağında 308 kotunda örnekleme çalışmaları ..	8
Şekil 2.2 : Örneklerin çeneli ve konik kırıcıdan geçirilerek öğütülmesi	9
Şekil 2.3 : Örneklerdeki sülfürlü minerallerin binoküler mikroskop altında birbirlerinden ayrılması	10
Şekil 3.1 : Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti	12
Şekil 3.2 : Biga Yarımadası'nın genelleştirilmiş jeoloji haritası (Okay vd., 1990'dan yararlanılarak çizilmiştir).....	13
Şekil 3.3 : Batı Türkiye'nin yapısal birlikleri (Gutnic vd., 1979; Üşümezsoy, 1987; Üşümezsoy, 1990; Yüksel, 1993).....	20
Şekil 4.1 : Biga Yarımadası metalik zuhurları (Gedikoğlu, 2006).....	24
Şekil 4.2 : Biga Yarımadası ve Türkiye Pb-Zn Rezervleri (Gedikoğlu, 2006)....	25
Şekil 4.3 : İncelenen metalik maden yataklarının (Korudere, Arapuçandere, Bağırkaçdere, Fırıncıkdere, Arılıdere) konumu (www.googleearth.com).....	26
Şekil 4.4 : Bağırkaçdere ocağının genel görünümü	27
Şekil 4.5 : Bağırkaçdere maden ocağı girişi, 150 m'lik bir desandri ile ana galeriye ulaşılmakta	27
Şekil 4.6 : Kalkım (Handeresi – Bağırkaçdere – Fırıncıkdere – Arılıdere cevherleşmeleri) Bölgesi jeolojik haritası (Üşümezsoy, 1987'den yararlanılarak çizilmiştir).....	28
Şekil 4.7 : Bağırkaçdere bölgesinde gözlenen şistler	29
Şekil 4.8 : İnceleme alanı civarında gözlenen andezitler	29
Şekil 4.9 : Arılıdere ve Fırıncıkdere galerilerinin haritası (Sezenler, 2006'dan yararlanılarak çizilmiştir).....	31
Şekil 4.10 : Bağırkaçdere galerisi örnek alım yerleri (Sezenler, 2006'dan yararlanılarak çizilmiştir)	32
Şekil 4.11 : Arapuçandere kuyu galeri girişi ve depolama alanı	34
Şekil 4.12 : Arapuçandere bölgesi genelleştirilmiş jeolojik haritası (Kasapçı, 2005'den yararlanılarak çizilmiştir).....	35
Şekil 4.13 : Arapuçandere bölgesinde diyabaz daykın bir görünümü	35
Şekil 4.14 : Arapuçandere bölgesindeki şistler	36
Şekil 4.15 : Arapuçandere, 344 kotu, hidrotermal galen oluşumu, kuvars damarı ile birlikte	39
Şekil 4.16 : Arapuçandere 308 kotu galeri planı (Başar, 2005'ten yararlanılarak çizilmiştir).....	38
Şekil 4.17 : Korudere cevherleşmesi ve yakın civarının genelleştirilmiş jeolojik haritası (Beşir, 2003'den yararlanılarak çizilmiştir).....	39
Şekil 4.18 : Eskikişla ve Tahtalıkuyu ocakları oda-topuk yöntemi benimsenerek işletilmektedir. Yukarıda Eskikişla ocağında izlenen cevherleşme alanları stokverk tip cevherli zon / baritli zon / breşik cevherli zon şeklinde izlenmektedir.	40

Şekil 4.19	: Eskikışla – Tahtalı Kuyu ocakları arasında izlenen andezit sınırı	40
Şekil 4.20	: Korudere-Tahtalıkuyu cevherleşmesinin jeolojik kesiti (Beşir, 2003'den yararlanılarak çizilmiştir).....	41
Şekil 4.21	: Korudere- Eskikışla cevherleşmesinin jeolojik kesiti (Ünal, 2005'ten yararlanılarak çizilmiştir)	42
Şekil 4.22	: Korudere Madeni'nde (Eskikışla) riyolitlerin görünümü (üstte riyolitik tüf ve breşler)	42
Şekil 4.23	: Volkanik domların yerleşimini aşama aşama gösteren diagram. A. Yapı boyunca yükselim, koni kırıklarının oluşumu, uçucuların üstte toplanması B. Magmatik patlamalar sonucu tabakalı breşler tarafından çevrilen koni şekilli damarın oluşumu, havaya püskürtülen külün breşlerin üzerine çökmesi C. Radyal ve konsantrik kırıkların oluşumu ile beraber akış bantlı domun yerleşimi (Cunningham vd.; 1991'den derlenmiştir).....	43
Şekil 4.24	: Korudere Madeni ince damar tipi cevherleşme	44
Şekil 4.25	: Korudere Madeni (Eskikışla) ocak içi (stokverk tipi cevherleşmeler).	44
Şekil 5.1	: İncelenen kıymetli iz metallerin saf haldeki görünümleri	45
Şekil 5.2	: Galen mineralinin kristalografik yapısı	74
Şekil 5.3	: Sfalerit mineralinin kristalografik yapısı	77
Şekil 5.4	: Kalkopirit mineralinin kristalografik yapısı	81
Şekil 5.5	: Pirit mineralinin kristalografik yapısı	82
Şekil 6.1	: Araştırılan cevherleşmelerin, tiplerine göre içerdiği kıymetli iz metallerin (Pb – Kıymetli İz Metal Element) korelasyon grafikleri....	92
Şekil 6.2	: Araştırılan cevherleşmelerin, tiplerine göre içerdiği kıymetli iz metallerin (Zn – Kıymetli İz Metal Element) korelasyon grafikleri....	93
Şekil 6.3	: Araştırılan cevherleşmelerin, tiplerine göre içerdiği kıymetli iz metallerin (Pb – Kıymetli İz Metal Element) korelasyon grafikleri.....	94

BİGA YARIMADASI SÜLFÜR MİNERALİZASYONLARINA BAĞLI KIYMETLİ İZ METALLERİN İNCELENMESİ

ÖZET

Çalışma alanının içinde yer aldığı Biga Yarımadası, metalik cevherler bakımından oldukça zengin bir bölgedir. Yarımada’da çok sayıda sülfürlü mineralizasyonun (galen, sfalerit, kalkopirit, molibdenit, antimonit, vb.) varlığı bilinmektedir. Bu mineralizasyonlardan bazıları kurşun, çinko gibi metaller için işletilmektedir. Bu cevherleşmeler ayrıca altın, gümüş, kadmiyum gibi iz elementler bakımından da önemlidir. Ancak söz konusu cevherleşmeler galyum, germanyum, indiyum, selenyum, talyum, tellüryum, renyum bakımından da ekonomik önem taşıyabilir. Bu güne kadar bölgede, hatta Türkiye’de hiç incelenmemiş olan bu kıymetli iz metallerin varlığının ortaya konması ve bulunuş nedenlerinin incelenmesi araştırmanın konusunu teşkil etmektedir.

Sakarya Zonu ve Ezine Zonu’na ait kayaçların ve Tersiyer-Kuvaterner birimlerin oluşturduğu bölgenin çeşitli kesimlerinde büyük granitik sokulumlar mevcuttur. Bu genel jeolojik yapı içerisinde cevherleşmeler, Tersiyer granit ve volkanitlerine bağlı olarak gelişmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmada bölgedeki cevherleşmeler ele alınırken oluşum şekillerine göre üç gruba ayrılmışlardır. Bunlar; Korudere volkanojenik hidrotermal, Arapuçandere-Arılıdere-Fırıncıkdere plütojenik hidrotermal ve Bağırkaçdere-Handeresi skarn zonu tipi hidrotermal cevherleşmeleridir.

Bu çalışma ile; inceleme alanındaki metalik cevherleşmelerin galyum, germanyum, selenyum, altın, gümüş, indiyum, kadmiyum, tellüryum, talyum, renyum gibi kıymetli elementlerden hangilerini ne ölçüde içerdikleri; bunların mineral yapısına nasıl dahil oldukları ve cevhere ekonomik açıdan katkıları araştırılmıştır. Bu amaca yönelik olarak bölgede bazı metalik maden yatakları ve çevreleri jeolojik açıdan incelenerek örnekleme yapılmıştır. Daha sonra bu örnekler yurtdışında ICP-MS ve

atomik absorpsiyon yöntemleri ile analiz edilerek içerdikleri kıymetli iz metaller ve miktarları açısından değerlendirilip yorumlanmıştır.

Elde edilen analiz sonuçları ışığında; kıymetli iz metallerin, birliktelik gösterdiği minerallerin ve kıymetli iz metal içeriklerinin, her cevherleşme tipi için oldukça farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. Galyum ve indiyum dışındaki tüm kıymetli iz metallerin tenörleri, bulundukları mineraldeki işletilebilirlik sınır değerlerinin üzerindedir. Bu sebeplerle, Biga Yarımadası kıymetli iz metal potansiyeli yüksek olan ve bu yöndeki araştırmaların ilerletilmesi gereken bir bölgedir.

THE INVESTIGATION OF PRECIOUS METALS RELATED TO SULPHURE MINERALIZATIONS IN THE BIGA PENNINSULA

SUMMARY

Biga Penninsula contains a very rich zone in terms of metallic ores. There are many known sulphure mineralizations (galena, sphalerite, calcopyrite...etc.) which are in the study area. Some of these mineralizations being produced for metals like Pb-Zn. In addition, these mineralizations are important for some precious elements like gold, silver and cadmium. And, they also have precious metals (gallium, germanium, selenium, renium, thallium, tellurium, indium) in economically important levels. Nowadays, these precious metals have not been any investigated in Biga Penninsula and even in Turkey. The main subjects are of this thesis showing the existance and investigation of formations corditions of precious metals.

Biga Penninsula consists of Sakarya and Ezine zone rocks. There are big granitic intrusions in study area. In this general geological concept, mineralizations form assosciated with Tertiary's granites and volcanites. In this study, mineralizations are grouped in three types: Korudere volcanogenetic hydrothermal mineralizations, Arapuçandere-Arılıdere-Fırıncıkdere plutogenetic hydrothermal mineralizations and Bağırkaçdere-Handeresi zone of scarn type hydrothermal mineralizations.

In this study, precious metallic sulphide elements mineralizations (gallium, germanium, cadmium, gold, silver, indium, selenium, thallium, rhenium, tellurium) were investigated. Investigations on amount of these elements, how they are added to minerals' structures and economic properties were realized. For this purpose, some metallic ore deposits were explored and sampled. After that, these samples were analysed (ICP-MS and atomic absorption) abroad. Results show the amount of precious metals in metallic occurrences. They were appraised and explained.

As a results of analyses, we understand that mineralizations show differances according to amount and kind of precious metals content. All of precious metal

tenors are greater than cut off grade except gallium and indium. In this frame, it is seen that the precious metal potential is high in Biga Penninsula and precious metal investigations should be continued and improved.

1. GİRİŞ

Metalik madenler, geçmişten günümüze hep ilgi görmüş olup kullanım alanları bakımından ve ekonomik açıdan önemli noktadadırlar. Türkiye'nin bir çok bölgesi metalik maden yatakları açısından büyük zenginliklere sahiptir. Buna karşılık, kıymetli iz metal elementlerinden olan ve çoğunlukla Pb-Zn-Cu yataklarından (sülfürlü mineralizasyonlara bağlı olarak) yan ürün olarak elde edilebilen galyum (Ga), germanyum (Ge), selenyum (Se), indiyum (In), altın (Au), gümüş (Ag), talyum (Tl), tellüryum (Te), kadmiyum (Cd) ve renyum (Re) elementleri, metalik madenler açısından zengin olan ülkemizde, yeteri kadar araştırılmamakta ve hatta önemli kullanım alanları olan bu kıymetli iz elementlerin neredeyse hiçbirinin üretimi yapılamamaktadır. Oysa, bu kıymetli iz metal elementleri ekonomik değerleri bakımından da Türkiye için önem arz etmektedir.

Bu kıymetli iz metallerin varlığı ve miktarları bilinmeden, analizleri yapılmadan birtakım metalik cevherlerin içinde ya fark edilmeden ihraç edilmekte ya da cevherlerin zenginleştirilmesi sırasında atık içinde kalmaktadır. Altın, gümüş, kadmiyum gibi bir kaç Özel İhtisas Komisyonu Raporları'na göre kısmen de olsa araştırılıp incelenmekte ve eldeleri sağlanmaktadır. Ancak, bunlar da var olan kaynakların kıymetli iz metal element potansiyelleri düşünüldüğünde çok yetersiz kalmaktadır. Özel İhtisas Komisyonu Raporları'nda söz konusu kıymetli iz metaller için yazılan ifadeler aşağıda verilmiştir:

- Germanyumun stratejik önemi, fiyatlarının yüksekliği ve kullanım alanlarının çok önemli olması dolayısıyla ilk aşamada Ge potansiyelimizin ortaya konması gerekmektedir. Bunun için, işletilen veya işletilmeyen çinko sülfür cevherlerinin Ge tenörü saptanmalı ve analiz sonuçlarına göre bir değerlendirme yapılarak Ge potansiyelimiz belirlenmelidir.
- Türkiye'de galyum potansiyelinin belirlenmesi için termik santral külleri, çinko cevher ve konsantrelerinin periyodik olarak Ga analizlerinin yapılması

gerekmektedir. Bu konudaki araştırmalar sürdürülmeli, Türkiye'nin galyum potansiyeli ortaya konmalıdır.

- Uygun jeolojisi nedeni ile ortaya koyulmuş olan işletilebilir altın rezervinin çok üstünde rezerv beklenmektedir. Yapılan arama çalışmaları ile bilinen rezervlere sürekli yenileri eklenmektedir. Arama çalışmalarının teşvik edilerek hızlandırılması, beklenen büyük rezervlerin daha çabuk ortaya çıkarılmasını sağlayacaktır. Dünya altın madenciliği istatistikleri incelendiğinde, bulunan bütün rezervlerin hızla üretime alındığı görülmektedir. Türkiye ise, günümüzde, işletilebilir önemli miktarda altın rezervine sahip olduğu halde bunlardan yararlanmayan dünyadaki tek ülke konumundadır.
- Sekizinci Plan Döneminde, ülkemizde kıymetli iz metaller üretimi Genel Politika olarak benimsenmeli, sondaj ve arama faaliyetleri süratle yapılarak yeni gümüş rezervleri aranmalı, rezerv arttırıcı yönde çalışmalar hızlandırılmalıdır. Yurtdışında gerekli çalışmalar yapılarak, ikili ilişkilerle teknolojik birikimimizin değerlendirilmesi ve ortak yatırım olanakları araştırılmalıdır. Özellikle kıymetli iz metal sektöründe bakir durumda olan Türk Cumhuriyetlerinde ortak arama ve işletme olanakları yeniden gözden geçirilmeli, bu ülkelerde mevcut sahalar ve bulunacak ümitli yataklarda Türkiye'nin kazanmış olduğu deneyim kullanılmalıdır.
- İlk aşamada indiyum bulunabilecek cevher yatakları ve işletme artıklarında bir indiyum taraması yapılmalıdır. Ayrıca, indiyumun yan ürün olarak kazanılmasını hedefleyen araştırma projeleri ile indiyumdan değişik alaşımlar üretimine yönelik araştırmalar desteklenmelidir.
- Türkiye'nin talyum ile ilgili herhangi bir faaliyeti yoktur.
- Selenyum ve tellüryum üretimi ülkemiz için stratejik bir faaliyet olmamasına rağmen bu konuda bilgi ve deneyim birikimine bir an önce ulaşılması milli ekonomi açısından yararlı ve zorunludur. Ayrıca kıymetli iz metallerin (Au, Ag, vd.) kazanılması sırasında zaten Se ve Te proses sırasında ara ürün olarak kazanılmaktadır. Dünya nüfusunun %1'ini barındıran ülkemizde yılda 30 ton kadar Se üretimi ile toplam Se-üretiminde %1 ile pay almak pek iddialı bir hedef olarak mütalaa edilemez. Ülkemizde 10 ton kadar tellüryum üretiminin

gerçekleştirilmesi de ekonomik faydanın ve bilgi birikiminin yanında aynı zamanda teknolojik düzey bakımından da bir prestij kazancı olacaktır.

- Türkiye'de çok sayıda molibden içeren porfirik bakır yatağı vardır. Ancak, son yıllara kadar molibdenitin üretildiği ve ihraç edildiği Kırıkkale-Balşeyh yatağında ve diğer molibden zuhurlarında Mo içindeki renyum miktarları bilinmemektedir. Bu nedenle ülkemizin molibdenit ve porfirik bakır yatak ve zuhurlarının renyum içeriklerinin belirlenmesi ve Re potansiyelinin ortaya konması gerekmektedir. Ayrıca, ülkemiz kurşunu az benzin üretimine geçmiş bulunmaktadır. Petrol rafinasyonu sırasında kullanılan renyumun temin edildiği yerler ve ülke ihtiyacı belirlenmeli ve durum değerlendirmesi yapılmalıdır.

Sülfürlü mineralizasyonlara bağlı kıymetli iz metallerin (Ga, Ge, In, Se, Au, Ag, Te, Tl, Re, Cd) incelenmesi konusu tümü ile ilk kez bu çalışmada ele alınacaktır. Bu incelemenin, yukarıda belirtilen eksikliklerin giderilebilmesi açısından önemli bir adım olacağı inancındayız.

Biga Yarımadası, geçirdiği jeolojik olaylar sebebi ile Türkiye'nin belli başlı metalik maden yataklarına ev sahipliği yapmaktadır. Bu yataklar genellikle bölgedeki Tersiyer yaşlı volkanik ve intrüzif kayaların dağılımları ile birliktelik göstermektedirler (Gedikoğlu vd, 2005).

Bu çalışmada sülfürlü mineralizasyonlara bağlı kıymetli iz metallerin incelenmesi için değişik cevherleşme tipleri içermeleri ve mineralizasyon zenginlikleri nedeni ile Biga Yarımadası'nda Kalkım (Handeresi, Bağırkaçdere, Fırıncıkdere ve Arılıdere), Yenice (Arapuçandere), Umurbey (Korudere) yerleşim yerleri ve çevreleri seçilmiştir. Bu amaçla bölgede daha önce gerçekleştirilmiş olan çalışmalar incelenmiş, çalışma sahasının jeoloji haritası, önceki çalışmalar ve haritalar gözden geçirilerek yeniden hazırlanmıştır.

Çalışma alanındaki çeşitli metalik maden ocaklarından örnekler alınmış, öğütme yapılmış ve öğütülen örneklerde bulunan galen, sfalerit, pirit, kalkopirit mineralleri binoküler mikroskop altında ayrılmıştır. Sözü geçen minerallerin ICP-MS ve atomik absorpsiyon metodları kullanılarak yapılmıştır.

1.2. Önceki İncelemeler

Çalışma alanının da bulunduğu Biga Yarımadası ve çevresi daha önce çok sayıda araştırmacı tarafından değişik jeolojik amaçlarla incelenmiştir. Aşağıda, yapılan bu çalışmalardan ulaşabildiklerimizin başlıcaları kısaca içerikleri ile birlikte kronolojik bir sıra dahilinde sunulmuştur.

1.2.1. Genel Jeoloji Çalışmaları

Bingöl vd. (1973), Biga Yarımadası'nın temel kayaçlarını Kazdağ Grubu olarak belirtmiş ve Rb–Sr ve K–Ar yöntemleri ile ilk yaş tayinlerini elde edilmiştir. Çan – Biga arasındaki bölgede olivinli bazaltik karakterde bir volkanizmanın Neojen sonlarında geliştiğini belirtmiştir. Ayrıca bölgenin 1/25000 ölçekli haritasını yapmıştır (Tufan ve Kara, 1987).

Tufan ve Kara (1987), Çanakkale ili Yenice ilçesi Vakıf Köyü Pb-Zn yatağında yapmış oldukları çalışmalarda cevherleşmenin hidrotermal damar tipinde olduğunu ve ekonomikliğinin olmadığını söylemişlerdir.

Okay (1988), yarımadaının doğusunda yer alan Karakaya Kompleksi'nin farklı tektonostratigrafik birimlerden oluştuğunu belirtmiştir.

Okay vd. (1990), Biga Yarımadası'nın temelde Ezine Zonu ve Sakarya Zonu kayaçlarından oluştuğunu söylemiş, bölgenin genel jeolojisini açıklamıştır.

Ercan vd. (1990), inceleme alanı stratigrafik açıdan yorumlanmıştır. Ayrıca, Tersiyer yaşlı volkanitlerin petrografisi ve jeokimyası da araştırılmış olup sonuçta Miyosen yaşlı lavların andezitik, yer yer dasitik bazen de riyodasitik türde, tamamen kalkalkalen nitelikte, kabuksal köken özellikleri taşıyan ve kompresyonel tektonik rejimlerle meydana gelen orojenik volkanitler grubuna girdiklerini, Pliosen yaşlı lavların ise bazaltik karakterde olduğu saptanmıştır (Kasapçı, 2005).

Maral (2004), Biga Yarımadası kömür oluşumlarını jeokimyasal ve petrografik açıdan incelemiştir.

1.2.2. Maden Yatakları Çalışmaları

Alpan (1968), Kuru madenini hidrotermal barit yatağı olarak belirtmiş, ayrıca cevher yan kayacının yer yer silisleşmiş ve breşik karakter kazanmış olduğunu saptamıştır.

Yücelay (1976), Handeresi bölgesinde çalışmış olup Karakaya Kompleksi'nin birimlerinden oluşan istifin granit tarafından kesilmesi sonucunda oluşan kontak metamorfik kayalarda Pb-Zn-Cu cevherleşmesinin geliştiğini saptamıştır. Birincil olarak galenit, kalkopirit, sfalerit, hematit ve pirit; ikincil olarak da limonit, malakit, azurit, pirolusit ve psilomelan gibi cevher minerallerini tespit etmiştir (Kasapçı, 2005).

Aydın (1981), Biga Yarımadası Pb-Zn cevherleşmelerinin oluşum koşullarını incelemiştir. Yarımada'nın en önemli oluşuklarının Altınoluk, Kalkım-Handeresi, Bağırkaç ve Arapuçandere cevherleşmeleri olduğunu belirtmiştir. Araştırmalar sonucunda, Balya yöresi cevherleşmelerinin orta sıcaklık (200-300°C), Kalkım-Handeresi, Arapuçandere cevherleşmelerinin yüksek sıcaklık, Bağırkaç cevherleşmelerinin ise geçiş zonunu oluşturduğu belirtilmiştir (Kasapçı, 2005).

Anıl (1982), Arapuçandere Pb-Zn yatağının tektonizma sonucu gelişen cevherleşmesinde arkoz ve diyabaz bileşimli kayalar içindeki kırık ve çatlakların Pb-Zn dolgulu olduğunu ve bunun remobilizasyon sonucu oluştuğunu belirtmiştir (Kasapçı, 2005).

Beşir (2003), Korudere bölgesindeki yatakların yakın çevresinde yüzeylenen volkanik kayaları taban volkanitleri ve siferolitik riolitler olarak ikiye ayırmıştır. Siferolitik riolitlerin volkanik camın devitrifikasyonu ile oluşan ortalama %75 siferolitlerden oluştuğunu söylemiştir. Korudere cevherleşmelerinde ana damarın bu iki volkanit tipinin dokanağında yer aldığını belirtmiştir. Araştırmacı, Korudere cevherleşmesinde çeşitli ince kesit çalışmaları yapmış olup cevherleşme ile ilişkili olan alterasyon tiplerini silisleşme, serizitleşme ve adularya oluşumu şeklinde tanımlamıştır. Ayrıca yankayaç örneklerinin jeokimyasal analizleri neticesinde, volkanik ada yayı ortamında ve çarpışma ile eş yaşlı olarak gelişmiş bir magmatizmanın ürünleri olduklarını bulmuştur.

Örgün vd. (2003), Yenice-Arapuçandere (Çanakkale) cevherleşmesi ile ilgili olarak mikroprob analizleri ve cevher mikroskopisi çalışmalarının sonucunda volkanojenik hidrotermal cevherleşmelerin kanıtı olan tetraedrit mineralleri tespit etmişler ve bu cevherleşmenin volkanojenik hidrotermal tipte olduğunu söylemişlerdir. Cevherleşme alanındaki diabaz daykların cevherlerin kaynağı olması açısından önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca cevherleşmelerde inklüzyonlar halinde bizmutinit varlığına dikkat çekmişlerdir ki bu da cevherleşmenin yüksek sıcaklık oluşumu olduğunu ifade etmektedir.

Kasapçı (2005), KB Anadolu'da Pb-Zn yataklarının oluşumlarını irdelemiştir. Genel olarak bölgedeki cevherleşmelerin Üst Kretase-Alt Miyosen yaşlı olduklarını ve oluşum sıcaklıklarının 260-360⁰C aralığında olduğunu belirtmiştir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Biga Yarımadası'nda yer alan metalik madenlerde yapılmış olan araştırmalar; arazi, literatür ve laboratuvar çalışmaları şeklinde üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Literatür çalışmaları sırasında kıymetli iz metaller ile ilgili, Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve bölgedeki Pb-Zn-Cu cevherleşmeleri ile ilgili çok sayıda makale, tez ve kitap derlenip değerlendirilerek sözü geçen çalışmamızda kullanılmıştır.

Arazi çalışmaları Biga Yarımadası'nda yer alan Kalkım, Yenice ve Umurbey bölgelerinde yürütülmüştür. 2005 yılı yaz döneminde yapılmış olan incelemeler bu bölgede yer alan bazı Pb-Zn yataklarının ve çevrelerinin jeolojilerinin anlaşılmasına yönelik çalışmalardır. Tezin konusunu oluşturan sülfürlü mineralizasyonlara bağlı kıymetli metallerin incelenmesi amacına bağlı olarak ocak içlerindeki belirli lokasyonlardan ve depolama alanlarından ocağı temsil edecek şekilde örnekler alınmıştır. Her cevherleşme için ortalama toplam 20 kg ağırlığında 15-20'şer örnek alınmıştır. Her cevherleşmenin içeriğine göre cevherleşmelerin galen, sfalerit, kalkopirit ve pirit bakımından zengin olan kısımlarının seçilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Arapuçandere Pb-Zn yatağında 308 kotunda örnekleme çalışmaları

Laboratuar alışmaları aşamasında ise ilk adım örneklerin analize hazırlanmasıdır. Analizi yapılacak elementlerin çok dūřuk oranda bulunması nedeniyle bu elementleri içeren minerallerin (galen, sfalerit, kalkopirit, pirit) zenginleştirilmesi, böylece deteksiyon limiti üzerinde analiz sonuçları elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle araziden alınan rnekler İTÜ Maden Mühendislięi Bölümü Cevher Hazırlama ABD. laboratuarında çeneli ve konik kırıcıdan geçirildikten sonra, elenerek 30-60 mesh arasındaki malzemeler seçilmiştir (şekil 2.2). Seçilen bu malzemeler; binoküler mikroskop altında elle seçilerek; her örnek için galen, sfalerit, kalkopirit ve pirit minerallerine ayrılmıştır (şekil 2.3). Bölüm 6’da bahsedilen analizlerde de görülecektir ki istenilen zenginleştirme yaklaşık olarak elde edilmiştir.



şekil 2.2: Örneklerin eneli ve konik kırıcıdan geçirilerek öğütülmesi.

İkinci adımı ise örneklerin analizleri teşkil etmektedir. Hazırlanan örneklerin analizleri Ga, Ge, In, Re, Ag, Au, Se, Cd, Te, Tl, Fe, S element içerikleri ICP-MS yöntemi ile Kanada’daki ACME laboratuvarlarında tespit edilmiştir. İlgili laboratuvarlarda kıymetli iz metaller için kullanılan 1F-MS yöntemi tercih edilmiştir. Analize gönderilen numunelerin her biri ortalama 30 gr kadardır. Her bir numunenin 0,5-15 gr kadarı suda çözündürüldükten sonra ICP kötü spektroskopisi analizine tabi tutulmuştur. Numunelerin çözeltiye alınmasındaki amaç her numunen bileşenlerinin çözeltiye geçmesidir. Ancak, her bir bileşenin çözeltiye geçme eğilimi değişik olduğundan tek bir çözündürme tekniğinden bahsedilemez.



Şekil 2.3: Örneklerdeki sülfürlü minerallerin binoküler mikroskop altında birbirlerinden ayrılması

Cu, Pb, Zn ana elementlerinin analizleri ise Maden Yatakları-Jeokimya laboratuvarında ve kısmen de Maden Mühendisliği Bölümü Cevher hazırlama laboratuvarında atomik absorpsiyon yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemde ise binoküler mikroskop altında zenginleştirdiğimiz analize tabi tutulacak olan 13 tanesi 200 mesh boyutuna kadar inceltilmiş ve her birinden 0,1 gr temsili örnek alınarak teflon kaplara konulmuştur. Üzerlerine 10 ml N_2O_3 , 0,5 ml H_2SO_4 ve 30 ml kadar da HF ilave edilerek yaklaşık 2000C'de çözündürme işlemi yapılmıştır. Çözündürmeyi takiben 5 ml HCl ve 30 ml saf su ilavesi ile çözelti ısıtılarak 100 ml'lik balon jüjelere transfer edilmiştir. Bu şekilde analize hazır hale gelmiş çözelti Cu, Pb ve Zn yönü ile Atomik Absorpsiyon Spektrofotometri (AAS) yöntemi ile analiz edilmiştir.

Yapılan analizlerin sonucunda Tablo 6.1'deki niceliksel sonuçlara ulaşılmıştır.

3. GENEL JEOLojİ

3.1. Stratigrafi

Biga Yarımadası'nı oluşturan birimlere genel olarak bakıldığında aşağıdaki gibidir (Okay vd, 1990):

❖ SAKARYA ZONU

- Kazdağ Grubu
- Kalabak Formasyonu
- Jura Öncesi Granitoidler
- Karakaya Kompleksi
- Jura-Kretase Kayaçları

❖ EZİNE ZONU

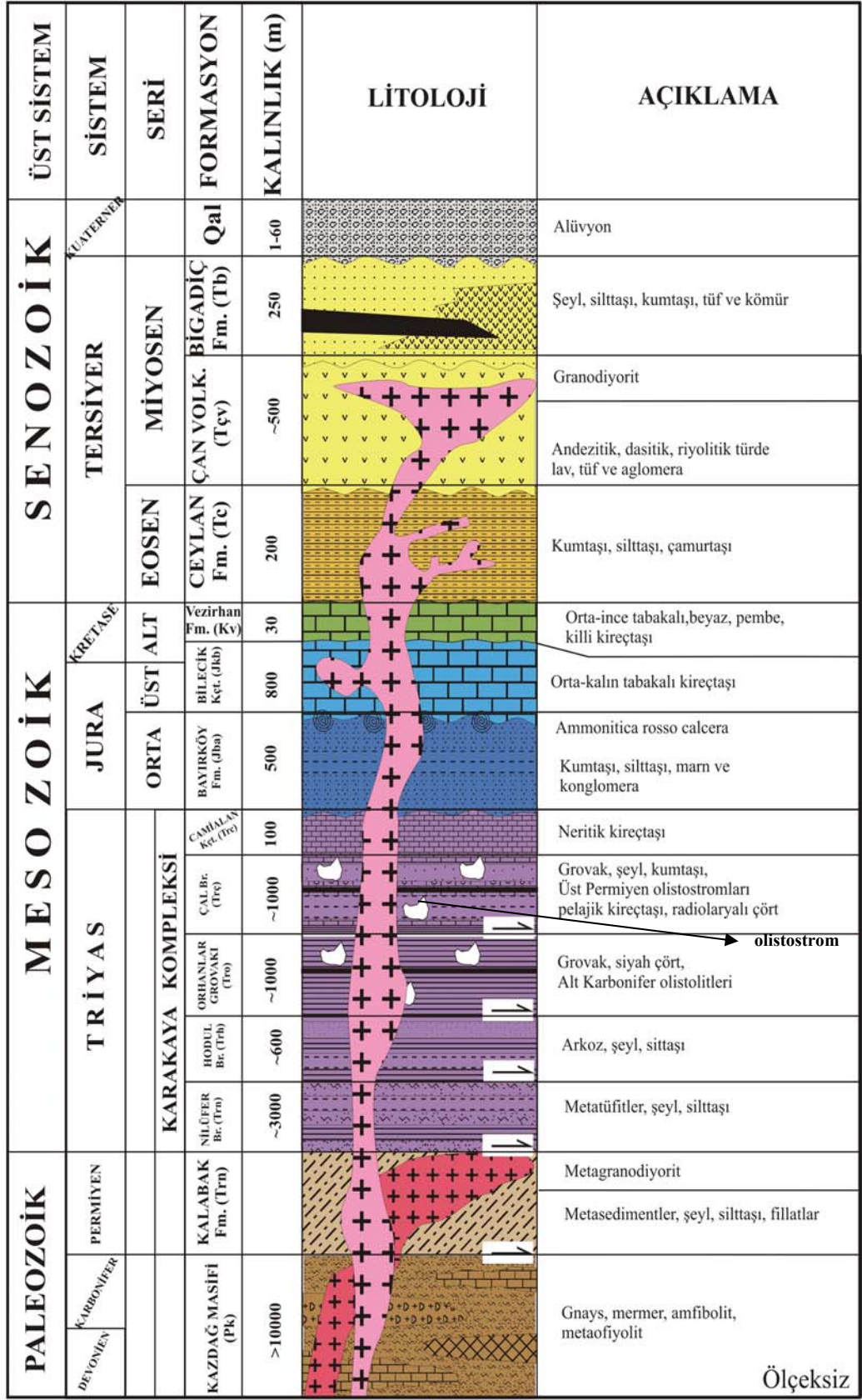
- Çamlıca Mikaşistleri
- Karadağ Birimi
- Denizgören Ofiyoliti

❖ Çetmi Ofiyolitik Melanjı

❖ Tersiyer Granitoidler

❖ Tersiyer-Kuvaterner Birimler

Bu birimler ve özellikleri aşağıda en yaşlıdan en gence doğru açıklanmıştır. Ayrıca Şekil 3.1'deki genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesitinde ve Şekil 3.2'de Biga Yarımadası'nın genelleştirilmiş jeoloji haritasında da ayrıntılı olarak gösterilmişlerdir.



Şekil 3.1: Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti

3.1.1. Sakarya Zonu

Çoğunlukla Biga Yarımadası'nın orta kesiminde geniş alanlar kaplayan Sakarya Kıtası'na ait kayaçlar, Yılmaz (1981) tarafından Sakarya Zonu Kayaçları olarak adlandırılmıştır (Kasapçı, 2005). Paleozoik ve Mesozoik yaşlı birimlerden oluşan Sakarya Zonu kayaçları stratigrafik olarak yarımadaının en altta yer alan kayaçları olarak bilinmektedir (Kasapçı, 2005). Okay vd.'nin 1990 ve 2000 yıllarında yaptığı çalışmalarında Sakarya Zonu'nda yer alan birimleri aralarındaki yaş ilişkilerine göre şu şekilde sıralamıştır: Temel kayayı oluşturan, çeşitli deformasyonlara uğramış ve metamorfizma geçirmiş Kalabak Formasyonu; bu formasyonun üzerinde yer alan Paleozoik yaşlı granitoidler ve Kazdağ Grubu metamorfikleri ile bunları tektonik olarak üzerleyen Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi; en üstte ise uyumsuzlukla gelen Jura-Kretase kireçtaşları.

3.1.1.1. Kalabak Formasyonu

Krushensky vd. tarafından 1980'da Kalabak Formasyonu olarak adlandırılan birim esas olarak metasedimanter kayaçlar topluluğudur. Güney'de Edremit ve Havran, Kuzey'de ise Kalkın ve Pazarköy arasında uzanmakta olup Paleozoik yaşlı bu formasyonu Batı'da Tersiyer granitoidlerden olan Eybek Granodiyoriti, Doğu'da ise Jura Öncesi granitoidlerden olan Çamlık Granodiyoriti keser (Okay vd., 1990). Formasyon ince taneli yapıya sahip gri tonlarında fillat, orta taneli, bileşimsel bantlı yapıda, sarımsı renkte kuvarsofeldspatik şist ve birkaç metre kalınlıktaki mermer ve yeşil metabazitten oluşur. Bu mermer ve metabazitler ara katlar halinde olup çok sık izlenmezler.

3.1.1.2. Jura Öncesi granitoidler

Biga Yarımadası'nın çeşitli kesimlerinde karşılaşılan Paleozoik zamana ait bu granitoidlerin en büyükleri Çamlık Metagranodiyoriti, Yolindi Metagranitoyidi ve Sarıoluk Granitoyidi'dir (Okay vd., 1990). İsimlerini Çamlık, Yolindi ve Sarıoluk köylerinden almışlardır.

Güney'de Havran ve Kalkın arasında 4-5 kilometrelik bir zon şeklinde Çamlık Metagranodiyoriti uzanır. Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi metagranodiyoritin her iki yanında Kalabak Formasyonu yer almaktadır. Okay vd. 1990'da formasyona yakın kesimlerde bulunan kontakt metamorfik kayaçların varlığından dolayı, Çamlık

Metagranodiyoriti'nin Kalabak Formasyonu'nu kestiğini belirtmiştir (Gedikoğlu vd., 2005). Yolindi Metagranitoyidi ve Sarıoluk Granitoyidi'nin, Karakaya Kompleksi birimleri ile tektonik veya intrüzif ilişkili olduğu gözlenmiştir (Gedikoğlu vd, 2005). Yolindi Metagranitoyidi Hoşoba'nın hemen Güney'inde, Batı'da Çal Birimi ve Doğu'da Hodul biriminden Tersiyer yaşlı doğrultu atımlı faylarla ayrılmış şekilde izlenir. Yer yer aplit damarlarının kestiği metagranitoyit homojen ve gnaysik bir doku sergiler. Sarıoluk Granitoyidi ise Yolindi Metagranitoyidi'nin Doğu'sunda yer alır (Şekil 3.2.). Yolindi Metagranitoyidi'nde olduğu gibi Sarıoluk Granitoyidi de Kuzey'indeki Hodul biriminden doğrultu atımlı bir fay ile ayrılır. Doğu'sunda ise Jura- Kretase yaşlı kireçtaşlarından oluşan Bayırköy Formasyonu diskordansla yer almaktadır. Homojen bir dokuya sahip olan granitoyid, Yolindi Metagranitoyidi'nden foliasyon göstermemesi ile ayrılır (Okay vd., 1990).

Bu bölgede tek bir granit haritalanmasına karşılık farklı yaşta ve nitelikte granitoidler bulunabilir. Granitoidlerin bir kısmı Tersiyer yaşlı olabilir. Çünkü çoğunda "meta" karakteri izlenmemektedir (Gedikoğlu, 2006).

3.1.1.3. Kazdağ Grubu

Bingöl vd. (1975) genel olarak gnays, amfibolit ve mermerlerden oluşan bu birimi Kazdağ Grubu olarak isimlendirmiştir (Maral, 2004). En çok gözlenen litoloji orta ve kaba taneli, bantlı, gri renkte gnayslardır. Özellikle Kazdağ'da gözlemlenenlerinden bu ismi almış olan grup Tersiyer granitoyidlerince kesilmektedir. Edremit Körfezi kıyılarına yakın kesimlerden Kuzeybatı'daki Karakaya Kompleksi'ne ait birimlere kadar geniş bir alan kaplamaktadır. Metamorfizmlerden oluşan grup Permiyen yaştadır (Beşir, 2003) ve Batı'da Çetmi Ofiyolitik Melanjı ile tektonik olarak örtülmüş olup Kuzeydoğu ve Doğu'da Karakaya Kompleksi birimleri ile sınırlanmıştır. Ayrıca bazı kesimlerde Çetmi Ofiyolitik Melanjı'ndan faylarla ayrılmıştır.

3.1.1.4. Karakaya Kompleksi

Triyas yaşlı bu karmaşık, Biga Yarımadası'nda ilk kez 1973'te Bingöl vd. tarafından Karakaya Kompleksi olarak tanımlanmıştır (Kasapçı, 2005). Biga Yarımadası'nda geniş bir yayılımı olan Karakaya Kompleksi birimleri özellikle yarımadanın orta ve Doğu kesimlerinde yoğun olarak bulunmaktadır. Yer yer Permo-Karbonifer döneme ait fosillerin bulunduğu kireçtaşı blokları içeren Karakaya Kompleksi spilitik bazalt, diyabaz, gabro, çamurtaşı, çört ve radyolaritler ile daha seyrek olarak ve aralanmalı

görülen feldispatik kumtaşı-kuvarsit-konglomera-silttaşından oluşmuştur (Beşir, 2003). Çok az derecede metamorfizma geçirmiş olan kompleksin altında uyumsuzlukla üzerlediği Kazdağ Grubu kayaçları, üzerinde ise uyumsuzlukla örtüldüğü Jura-Kretase yaşlı birimler bulunmaktadır (Okay vd., 1990).

Karakaya Kompleksi oluşum yaşlarına göre alttan üste doğru Nilüfer Birimi, Orhanlar Grovağı, Hodul Birimi ve Çal Birimi olmak üzere 4 farklı tektonostratigrafik birim kapsamaktadır (Okay vd., 1990). Bunlar aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

- **Nilüfer Birimi:** Karakaya Kompleksi'nin temelini oluşturan, yeşil metatüfitler ve bunlarla ardalanmalı mermer ve fillatlardan meydana gelen Permo-Triyas yaşlı Nilüfer Birimi'nin Akyüz ve Okay (1998) tarafından yeşilist fasiyesinde metamorfizmaya uğradığı ve bu metamorfizmanın Geç Triyas'ta gerçekleştiği belirtilmiştir. Birim tektonik bir dokanakla Kazdağ Grubu metamorfitleri üzerinde yer alırken aynı şekilde tektonik dokanakla Hodul Birimi tarafından üzerlenmektedir (Okay, 1990). Yenice ve Kalkım civarında geniş alanlar kaplayan birim Edremit'in Kuzey'inde Tersiyer granitoidleri ile birlikte gözlenir.
- **Orhanlar Grovağı:** Okay vd. (1990); Orhanlar Grovağı'nı sarımsı kahve renkte monoton grovak istifinden oluşmuş, zaman zaman çörtler ve kireçtaşları ihtiva eden bir birim olarak tanımlamıştır (Kasapçı, 2005). Bu kireçtaşı bloklarının boyları 2 metreyi bulmaktadır ve Alt Karbonifer yaşını vermektedirler. Geç Triyas yaşta Orhanlar Grovağı, Biga Yarımadası'nın Doğu kesiminde Orhanlar ve Pazarköy civarında Jura-Kretase birimlerinin civarında yer almaktadır.
- **Hodul Birimi:** Okay vd.'nin 1990'da belirttikleri gibi Edremit-Hoşoba arasında ve İvrindi'den Kuzey'e doğru geniş alanlar kaplayan Hodul Birimi Geç Triyas yaşlıdır. Birim, çeşitli faylar da içermektedir. Kaaden'in 1957'de yaptığı çalışmalarında tespit ettiği Holobia, Daonella ve Posidonomia fosilleri Üst Triyas için karakteristiktir (Kasapçı, 2005). Karakaya Kompleksi içinde en fazla gözlenen bu birim; beyaz arkozik kumtaşları, Permo-Karbonifer yaşlı kireçtaşı olistolitleri bulunan killi kumtaşları ile şeylerden oluşmuştur. Yer yer de spilit ve rekristalize kireçtaşlarından oluşan tektonik bloklar gözlenmektedir (Okay vd., 1990).

➤ **Çal Birimi:** Esas olarak spilit, grovak, şeyl ve kireçtaşı blokları içeren olistostromlardan oluşmuştur. Geç Permiyen-Erken Triyas yaşı; içerdiği Permiyen kireçtaşlarından ve boyutları birkaç kilometreyi bulan bloklardan oluşan, Orta-Üst Triyas fosilleri içeren Camialan Kireçtaşı'nın Çal birimi'ni üzerlemesinden anlaşılmaktadır. Okay vd. (1990) bu birimin Karakaya Kompleksi'nin deformasyon ve metamorfizmadan en az etkilenmiş birimi olduğunu söylemiştir (Kasapçı, 2005). Birim Biga ve Hoşoba'nın Güneybatı'sına doğru uzanmakta ve Bandırma'nın hemen Batı'sında yer almaktadır.

3.1.1.5. Jura-Kretase birimleri

Jura-Kretase birimleri, Karakaya Kompleksi'nin üzerine sırasıyla gelen Bayırköy Formasyonu, Bilecik Kireçtaşı ve Vezirhan Formasyonu'ndan oluşur. Bingöl (1973), bu sedimanter istifin en altında yer alan Bayırköy Formasyonu'nun çakıltası, kumtaşı ve siltten meydana geldiğini belirtmiştir (Okay vd., 1990). Bilecik Kireçtaşı ise uyumlu olarak bu birimin üzerine gelmiştir. Geç Jura-Erken Kretase yaşlı bu kireçtaşlarını diskordansla örten Vezirhan Formasyonu Geç Kretase yaşlıdır ve beyaz-pembe renkte pelajik kireçtaşlarından oluşur. Bu kireçtaşları ince tabakalı olup marn içermektedir (Maral, 2004). Jura-Kretase birimleri Biga yakınlarında az miktarlarda ve Havran'dan Kuzeybatı'da Gönen'e doğru yer yer bulunmaktadır.

3.1.2. Ezine Zonu

Ezine'den Kuzeydoğu'ya doğru Marmara Adası'na kadar yer yer geniş alanlarda izlenen Ezine Zonu kayaçları kıtasal kökenlidir. Bu kıtasal kökenli kayaçlar yüksek dereceli metamorfizma geçirmiş Paleozoik ve Mesozoik yaşlı 3 birim ile temsil edilir (Okay vd., 1990). Bunlar Jura-Kretase birimlerini üzerleyen Çamlıca Mikaşistleri, Karadağ Birimi ve en üstte de Denizgören Ofiyoliti'dir.

3.1.2.1. Çamlıca Mikaşistleri

İsmi Çamlıca Köyü'nden alan birim metasedimanter kayaçlardan oluşmuştur. Okay vd.'nin (1990) belirtmiş olduğu gibi Ezine Kuzeydoğu'sunda yer alan mikaşistler Karadağ Birimi'nin ve Denizgören Ofiyoliti'nin altında bulunurken Karabiga'nın Batı'sında yer alanlar Çetmi Ofiyolitik Melanjı altında ve yer yer Tersiyer granitoidlerince kesilmiş şekilde gözlenirler.

Bu iki bölgedeki Çamlıca Mikaşistleri'nin ortak özellikleri gri, kahverengi renkleri, iyi foliasyon göstermeleri, bolca mika içermeleri, kuvars ve mikaşistlerden oluşmalarıdır. Ara ara yer alan kalkışit, metakuvarsit ve mermerler batıda 1-100 metre kalınlıkta iken kuzeydoğuda 1-10 metre kalınlıktadır (Okay vd., 1990).

3.1.2.2. Karadağ Birimi

Birim, ismini Karadağ Köyü'nden almıştır. Şekil 3.2.'de de görüldüğü gibi Karadağ Birimi Biga Yarımadası'nın yalnızca Batı'sında az bir alan kaplar (Okay vd., 1990). Permo-Karbonifer yaştaki birimi Okay vd. (1990) epikontinental sedimanter bir istif olarak tanımlamış ve hafif metamorfik olduğunu belirtmiştir (Kasapçı, 2005).

İstifin en altında metaşeyl, metakuvarsit, kalkışit; bunların üzerinde ardalanmalı uyumlu bir geçişle 1600m kalınlıktaki rekristalize kireçtaşları; en üstünde ise kalsitürbidit seviyeli metaklastik bir istif yer almaktadır. Denizgören Ofiyoliti tarafından tektonik olarak üzerlenen Karadağ Birimi, yeşilşist fasiyesinde hafif bir metamorfizma geçirmiştir (Okay vd., 1990).

3.1.2.3. Denizgören Ofiyoliti

Ezine Zonu'nun en üst birimini oluşturan Permo-Triyas yaşlı Denizgören Ofiyoliti Ezine'nin Kuzey'inde yer alır ve ismini de bölgedeki Denizgören Köyü'nden almıştır. Kısmen serpantinleşmiş harzburjitten oluşur. Okay vd. 1990'da bu ofiyolitinin KKD-GGB yönünde 25-30 kilometre takip edilebildiğini ve tektonik hatlarla sınırlandığını belirtmiştir.

3.1.3. Çetmi Ofiyolitik Melanjı

Spilit, grovak, kireçtaşı, pelajik şeyler, radyolarit ve serpantin bloklarından meydana gelen Çetmi Ofiyolitik Melanjı Karabiga ve Kuzeybatı'sında, Ezine Zonu birimlerinin üzerinde; Küçükkuyu-Bayramiç arasında, Kazdağ Metamorfitleri üzerinde uyumsuzluklarla yer almaktadır (Kasapçı, 2005). Faylar ve makaslanma zonları ile bu birimlerden ayrılmış, heterojen bir yapı kazanmış bu karmaşık Triyas-Paleosen yaşlıdır (Okay vd., 1990). Kuzeyde Çamlıca Mikaşistleri ile tektonik dokanaklıdır ve Tersiyer granitoidlerince kesilmektedir. Değişik makaslanma zonları bulundurmaması sebebi ile ezilme ve foliasyon Güney'dekine göre daha azdır (Okay vd., 1990).

3.1.4. Tersiyer Granitoidler

Ercan'ın 1979'da belirttiği gibi Oligo-Miyosen döneme ait Eybek Granodiyoriti, Kestanbol Siyeniti, Ilıca-Şamlı Granodiyoriti, Nevruz-Çakıroba Granodiyoriti yoğun ve geniş alanlar kaplayan kalkalkalen bir magmatizmanın etkisinde kalarak oluşmuşlardır (Gedikoğlu vd., 2005). Bu granotoidler Biga Yarımadası'nın çeşitli kesimlerinde ve bütün Biga Yarımadası birimlerini keser vaziyette izlenmektedir (Siyako vd., 1989).

3.1.5. Tersiyer-Kuvaterner Birimler

Biga Yarımadası'nın çok büyük bir bölümü bu birimler ile örtülü vaziyettir. Siyako vd. tarafından 1989'da Tersiyer Çökelleri olarak da anılmaktadır.

Tersiyer-Kuvaterner birimlerinin en altında neritik kireçtaşları ve andezit-andezitik tuf içeren Üst Eosen türbiditleri yer almaktadır. Ceylan Formasyonu adı ile anılan bu istif orta kalınlıkta tabakalanmalar sergilemektedir. Ancak Oligosen sonunda yaşanan yükselme ve karasallaşma bu istifi önemli ölçüde aşındırmıştır (Maral, 2004).

Ceylan Formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelen Çan Volkanitleri andezit, dasit ve riyodasit türde lav, tuf ve aglomeralardan oluşur. Orta-Üst Oligosen'de bölgeye hakim olan karasal volkanizmanın sonucunda meydana gelmişlerdir (Ercan, 1979). Oligosen yaşlı bu volkanitlerde hidrotermal alterasyon yoğun şekilde gözlenebilmektedir. Bu altere zonlarda silişleşmeler mevcuttur ve tüflerin ayrışmasından zengin kaolen yatakları meydana gelmiştir (Maral, 2004).

Bigadiç Formasyonu ise bu volkanitleri uyumsuzluklarla üzerlemektedir. Topoğrafyanın az eğimli olduğu kesimlerde yayılmışlardır. Ortalama 250m. kalınlıktaki bu karasal çökel istif andezit, tuf, aglomera ve kömürden oluşmuştur. Miyosen volkanizması ile eş zamanlı olarak oluşmuştur ve Pliosen-Kuvaterner birimlerce uyumsuz olarak örtülmüştür. Altere kesimlerinde kaolinleşmeler gözlenmektedir (Maral, 2004)

Sığ denizel ve alüvyal klastikler Geç Miyosen'de durulan volkanizmanın tesiri ile kuzey kesimlerde çökelmeye başlamıştır. Pliosen ve Kuvaterner'de ise zaman zaman bazaltik volkanizma ve yersel nehir-göl sedimantasyonları gözlenmiştir (Kasapçı, 2005). Kuvaterner yaşlı alüvyonlar vadi ve dere yatakları boyunca kendinden yaşlı birimleri diskordansla örtmüştür (Maral, 2004).

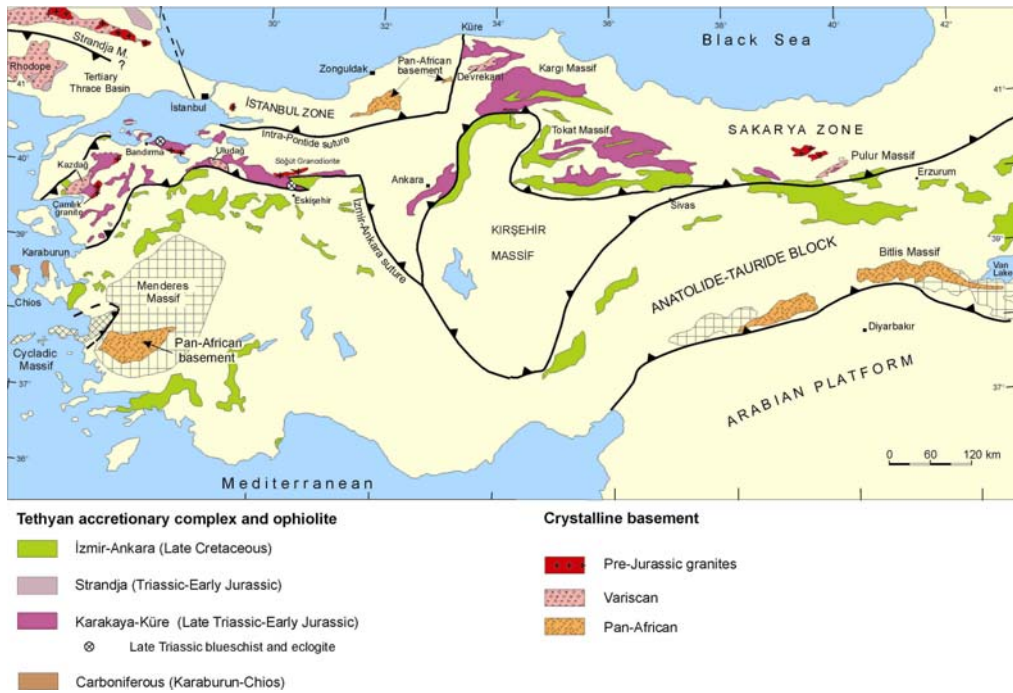
3.2. Yapısal Jeoloji

Türkiye'nin genel jeotektonik birimleri Şekil 3.3'te verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi Biga Yarımadası'nın Kuzeybatı'sı Ezine Zonu, geri kalan diğer kısımlar ise Sakarya Zonu'na aittir.

Çalışma alanını oluşturan Biga Yarımadası Hersinien ve Alpin orojenezlerinin etkisi altında kalmıştır (Okay vd., 1990). Bu tektonik hareketliliğin sonucu olarak bölgede irili ufaklı birçok fay gelişmiş ve birimler birbirlerini uyumsuzluklarla üzerlemişlerdir. Çok karmaşık jeolojik değişimler yaşamış bu birimlerin anlaşılmaındaki zorlukların sebebi de budur.

Miyosen'den itibaren Anadolu bloğunun doğrultu atımlı faylar boyunca yılda 5 milimetre Batı'ya kayması, Batı Anadolu'da bir genleşme tektoniğinin oluşmasına yol açmıştır. Buna bağlı olarak Batı Anadolu'da kabuk incelmış ve KD-GB gidişli grabenler oluşmuştur (Gedikoğlu vd., 2005).

Günümüzde de hala canlı bir fay olan Kuzey Anadolu Fayı'nın Erken Miyosen'de faaliyete geçmesi ile yarımada KD-GB gidişli yanal atımlı birçok fay meydana gelmiştir. Bu fayların çoğunluğu Biga Yarımadası'nın Doğu'sunda yer almaktadır (Okay vd., 1990).



Şekil 3.3: Batı Türkiye'nin yapısal birlikleri (Gutnic vd., 1979; Üşümezsoy, 1987; Üşümezsoy, 1990; Yüksel, 1993)

Triyas yaşı bindirmelerin de gözlendiği Biga Yarımadası'nda Karakaya Kompleksi birimlerinin çoğu dik eğimli faylarla sınırlanmıştır. Ayrıca birçok makaslanma zonu içermektedirler. Balya'nın KB'sında Hodul Birimi'ni ve Orhanlar Grovağı'nı Tersiyer'de hareketlenmiş bir fay ayırmaktadır. Siyako vd. ise 1989'da Çan ve Kalkım havzalarının doğrultu atımlı faylarla kontrol edildiklerini belirtmiştir. Bunun dışında ofiyolit melanjlari ile kıtasal kökenli kayalar Geç Tersiyer yaşı dik eğime sahip faylarla kesilmişlerdir. Bölgedeki doğrultu atımlı fay zonundaki sıkışmalı bölümleri Kazdağ Grubu'nun ve Yolindi Metagranodiyoriti'nin bulunduğu bölgeler temsil eder (Okay vd., 1990).

Özetle; Kazdağ metamorfikleri önemli bir yükselti (horst) verir, tüm birimler ve tektonik hatlar GB-KD yönlenmişlerdir, Tersiyer volkanit ve granitoidler bu hatlar boyunca yerleşmiştir, kalkalkali volkanit ve granitoidler Tersiyer başlangıcındaki bir yitimle ilişkilidir.

3.3. Jeolojik Evrim

Temelde Sakarya Zonu ve Ezine Zonu'na ait kayalardan oluşan Biga Yarımadası Hersinien ve Alpin orojenezlerinin etkisinde kalmış olup Alpin Orojenezi, yarımadayı oluşturan birimleri bu orojenezin öncesinde gerçekleşen olayların net olarak açıklanmasını zorlaştıracı şekilde etkilemiştir.(Okay vd., 1990).

Biga Yarımadası'nda Geç Paleozoik'te açılıp Geç Triyas'ta kapanan "Paleo Tetis" denilen okyanusal bir havza mevcuttu. Geç Permien'de Paleo Tetis'in Kuzeybatı'sında Karadağ Birimi karbonatları kalın bir istif şeklinde, Güneydoğu'sunda ise Karakaya Kompleksi birimlerinden olan Nilüfer Birimi yer almaktaydı. Bu birimlerin üst kesimleri yay içi ve yay önü havzaları iken, Paleo Tetis'in Kuzeybatı kenarı pasif, Güneydoğu kenarı ise aktifti. Permien-Alt Jura arasında Kuzey'den Güney'e doğru Türkiye'nin altına dalan Paleo Tetis Karadağ Birimi'nin yay ardı kesimlerinde gerilme yaratarak bir riftleşme başlamasına sebep olmuştur. Bu riftin Kuzey kolunu Alt Triyas'ta açılıp Erken Jura'da kapanan Karakaya Rifti oluşturmaktaydı. Geç Permien-Erken Triyas yaşı Denizgören Ofiyoliti bu Paleo Tetis'in pasif kıta kenarını üzerlemiştir. Rift volkanizmasının sona ermesi ile Camialan Kireçtaşı bölgede çökelmiştir (Okay vd., 1990).

Karakaya Rifti'nin kapanmasına yol açan sıkışma, Geç Triyas'ta Paleo-Tetis'in kapanması ve bunun sonucu olarak Ezine ve Sakarya zonlarının çarpışması ile başlamıştır. Noriye'deki bu kıtasal çarpışmayı takip eden doğrultu atımlı faylanmaya bağlı olarak Geç Mesozoyik'te Ezine Zonu Kuzey'inde "Pontit İçi Okyanusu" denilen bir okyanus açılmış ve Orta Paleosen-Orta Eosen arasında Kuzeybatı'ya doğru dalarak kapanmıştır (Okay vd.,1990).

Jura'da Bayırköy Formasyonu ile Bilecik Kireçtaşı arasında bölgenin yükseldiğini ve aşındığını gösteren muhtemel uyumsuzluk düzeyleri mevcuttur. Üst Kretase-Eosen arasında ise Alpin Orojenezi'nin etkili olduğu çalışılan bölgenin Kuzey'inde, Biga çevresinde Mesozoik istif devrik bir konumda bulunmaktadır. Bölgenin Güney'inde ise birimler yataya yakın bir konumdadır (Okay, 1988).

Okay vd. (1990) tarafından; malzemesini Pontit İçi Okyanusu'ndan aldığı görüşünün bulunduğu söylenen Çetmi Ofiyolitik Melanjı, Gedikoğlu vd.'nin 2005'te belirttiği gibi, Rodop-Istıranca Masifi ile Ezine-Sakarya Zonu arasındaki çarpışma sonucu Geç Paleosen'de Güneydoğu'ya doğru itilmeye başlanmıştır. Zamanla Ezine ve Sakarya zonlarının bir kesimini örtmüştür.

Erken Tersiyer'de Biga Yarımadası'nda meydana gelen kabuk kalınlaşması ile Oligosen'de bir yükselme ve Oligo-Miyosen'de yaygın bir kalkalkalen magmatizma bölgeyi etkilemiştir (Okay vd. 1990). Okay 1988'de bu volkanizmanın ürünleri olarak andezitik lavlar, riyolitler ve piroklastiklerin mostra verdiklerini belirtmiştir. İlk olarak andezitik lavlarla kendini gösteren volkanik aktivite, felsik lavlar ve piroklastik yağma, akma ürünleriyle sürmüştür.

Miyosen'den itibaren Anadolu Bloğu doğrultu atımlı faylar boyunca Batı'ya kaymaya başlamıştır. Buna bağlı olarak Orta Miyosen'de Biga Yarımadası'nı da içeren Batı Anadolu'da kabuk incelmış ve grabenler oluşmuştur. Biga Yarımadası sağ yönlü bir transform fay zonu olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun etkisinde kalmıştır (Kasapçı, 2005).

4. BİGA YARIMADASI MADEN YATAKLARI

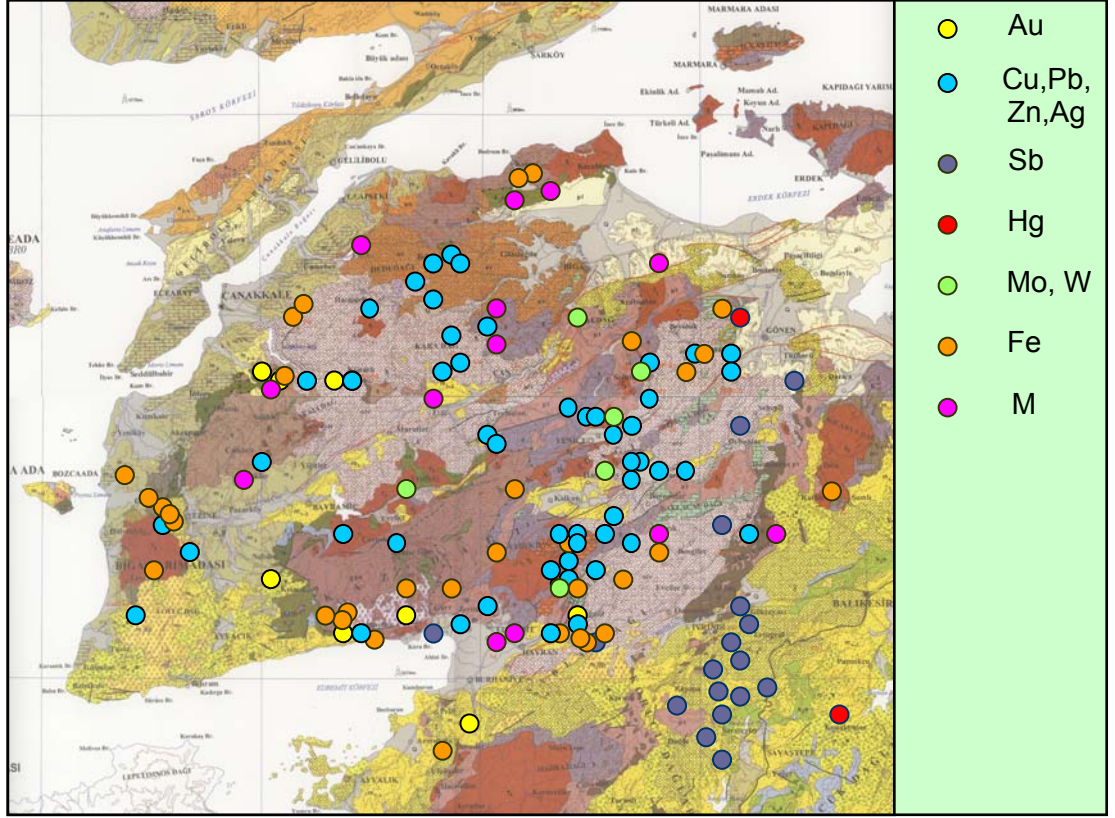
Biga Yarımadası geçirmiş olduğu gerek volkanik gerekse plütonik süreçler ve özellikle uğradığı karmaşık tektonik faaliyetler sebebi ile maden yatakları açısından Türkiye'nin önemli bir bölgesidir. Bir çok endüstriyel hammadde, enerji hammaddesi ve metalik maden yataklarına ev sahipliği yapan yarımada'nın yaklaşık 5000 yıllık bir madencilik geçmişi vardır. Yörede antik çağlarda işletilmiş bir çok maden yatağı mevcuttur. Örneğin; Kartaldağ ve Kısacık yatakları bunlardan bazılarıdır.

Ekonomik değerleri oldukça yüksek olan Biga Yarımadası maden yataklarının varlığı bölgedeki madenciliğin önemli bir geçim sahası olarak günümüzde de devam etmesinin sebebidir.

Şekil 4.1'de de görüldüğü üzere Biga Yarımadası'nın Güneydoğu'sunda ve Kuzeydoğu'su ile Güneybatı'sı arasında uzanan metalik maden yatak ve zuhurları Pb, Zn, Cu, Fe, Au, Ag, Sb, Mn, Mo, Hg ve W olmak üzere çok çeşitlidir. Ayrıca Şkil 4.2'de de Biga Yarımadası ve Türkiye'deki Pb-Zn rezervlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Yarımada'nın Güney kesiminde Bayramiç, Çan ve Yenice civarında bir çok kil ve kaolen, linyit ve grafit oluşumları mevcuttur. Ezine'nin Kuzey'ine doğru mermer, Ayvacık-Bayramiç arası bentonit, yarımada'nın Kuzey kesiminde de bazı asbest, feldspat ve barit oluşumları görülmektedir. Bunların dışında bölgede halloysit, opal, fosfat, jips, manyezit, vollastonit, perlit, talk ve diatomit de bulunmaktadır.

Eosen'de başlayan Oligosen ve Miyosen'de etkin olan yay ve kıtasal çarpışma magmatizmasıyla ilişkili olarak bölgede oluşan cevherleşmeler Tablo 4.1'de verilmiştir.

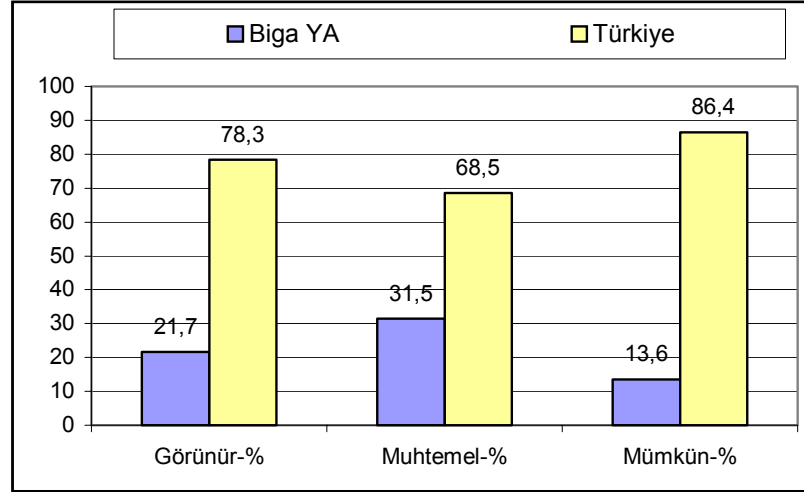


Şekil 4.1: Biga Yarımadası metalik zuhurları (Gedikoğlu,2006)

Tablo 4.1: Biga Yarımadası'ndaki metalik cevherleşmeler ve oluşum şekilleri (Gedikoğlu, 2006)

OLUŞUM	Mineralizasyon	YAŞ	ÖRNEK
PLÜTOJENİK HİDROTHERMAL	Au	Triyas	Kirazlı - Madendağ
PLÜTOJENİK PNÖMATOLİTİK HİDROTHERMAL (PORFİRİ)	Mo, W, Cu	Eosen, Alt Miyosen	Havran - Tepeoba Bayramiç - Tongurlu
PLÜTOJENİK SKARN ZONU HİDROTHERMAL	Pb, Zn, Cu, (Au, Ag)	Eosen, Alt Miyosen	Havran Kozcağız Kalkım- Çulhaçukuru Kalkım - Handeresi Evciler - Dağoba
PLÜTOJENİK SKARN ZONU HİDROTHERMAL	Fe (Cu, Au)	Eosen, Alt Miyosen	Altınoluk – Kızılkeçili Havran – Atizi Ayvalık - Ayazmant
PLÜTOJENİK HİDROTHERMAL	Pb, Zn, Cu, (Au, Ag)	Eosen, Alt Miyosen	Doyran - Papazlık Yenice – Arapuçan Kalkım Elmalı Sırtı
VOLKANOJENİK EGZALATİF SEDİMANTER	Fe	Üst Kretase	Biga - Çakırlı
VOLKANOJENİK HİDROTHERMAL	Pb, Zn, Cu, (Ag)	Oligosen, Miyosen	Lapseki - Korudere Balya
VOLKANOJENİK HİDROTHERMAL	Cu	Oligosen	Kalkım Kayatepe
VOLKANOJENİK HİDROTHERMAL (Epitermal)	Au	Oligosen, Miyosen	Gömeç - Kobaşlar Kısacık - Kıran Tepe
VOLKANOJENİK HİDROTHERMAL (Epitermal)	Sb	Oligosen	Yenice - Kobalı İvrindi - Korucu Taşdibi
VOLKANOJENİK HİDROTHERMAL (Epitermal)	Hg	Oligosen	Gönen - Sarıköy
VOLKANOJENİK HİDROTHERMAL	Fe	Oligosen	Havran – Eymir Havran – Kocaşık
VOLKANOJENİK EGZALATİF SEDİMANTER	Fe	Oligosen	Havran – Eymir Havran – Hallaçlar

Bölgedeki asbest ve talk yatakları ise metamorfik kökenlidir. Linyitler Miyosen volkanosedimanter gölsel çökellerin içinde yer almaktadır. Yer yer killere ardalama sergilemektedirler.



Şekil 4.2: Biga Yarımadası ve Türkiye Pb-Zn rezervleri (Gedikoğlu, 2006)

Yapmış olduğumuz bu çalışmada Biga Yarımadası'nda üç ayrı yerde Pb-Zn yatağı incelenmiştir. Bunlar ;

1. Kalkım'da skarn zonu tipi hidrotermal ve plütojenik hidrotermal tipteki Bağırkaçdere, Handeresi, Fırıncıkdere ve Arılıdere cevherleşmeleri;
2. Yenice'de plütojenik hidrotermal tipteki Arapuçandere cevherleşmesi;
3. Umurbey'de de volkanojenik hidrotermal tipteki Korudere cevherleşmesidir (Şekil 4.3).

Bu zuhurların seçiminde şu faktörler etken olmuştur:

- ✓ Bu zuhurlar, tenör ve rezervleri nispeten büyük olduğundan, ekonomik olarak daha büyük bir önem göstermektedirler.
- ✓ Söz konusu zuhurlar galen, sfalerit ve kalkopirit mineralleri bakımından zengindirler. Konumuz olan kıymetli iz metal elementleri içermeleri olasılığı bakımından daha önemlidirler.

- ✓ Bu yataklarda halen işletme yapıldığından ulaşım, bilgi edinme ve örnek alma kolaylığı vardır.
- ✓ Bu yataklara ait cevher zenginleştirilmiş olarak yurt dışına ihraç edildiğinden kıymetli iz metal element içeriğinin bilinmesi ekonomik yarar sağlayacaktır.



Şekil 4.3: İncelenen metalik maden yataklarının (Korudere, Arapuçandere, Bağırkaçdere, Fırıncıkdere, Arılıdere) konumu (www.googleearth.com)

4.1. Handeresi – Bağırkaçdere – Fırıncıkdere – Arılıdere (Kalkım) Bölgesi Cevherleşmeleri

Edremit'e 37 km mesafede olan Kalkım'a Kazdağı yolu takip edilerek ulaşılmaktadır. İncelenen ocaklar, bu yerleşim birimine 12 – 15 km uzaklıktadır.

Kalkım Beldesi'nde Or-Metal Ltd. Şti.'ye ait 10.000 hektarlık ruhsat sahasında, İ18-d1, b4, c4 paftalarında yer alan Bağırkaçdere, Handeresi, Fırıncıkdere ve Arılıdere

ocakları incelenmiştir (Şekil 4.4, Şekil 4.5). Tümünde halen esas üretime hazırlık mahiyetinde yeraltı çalışmaları yapılmaktadır.

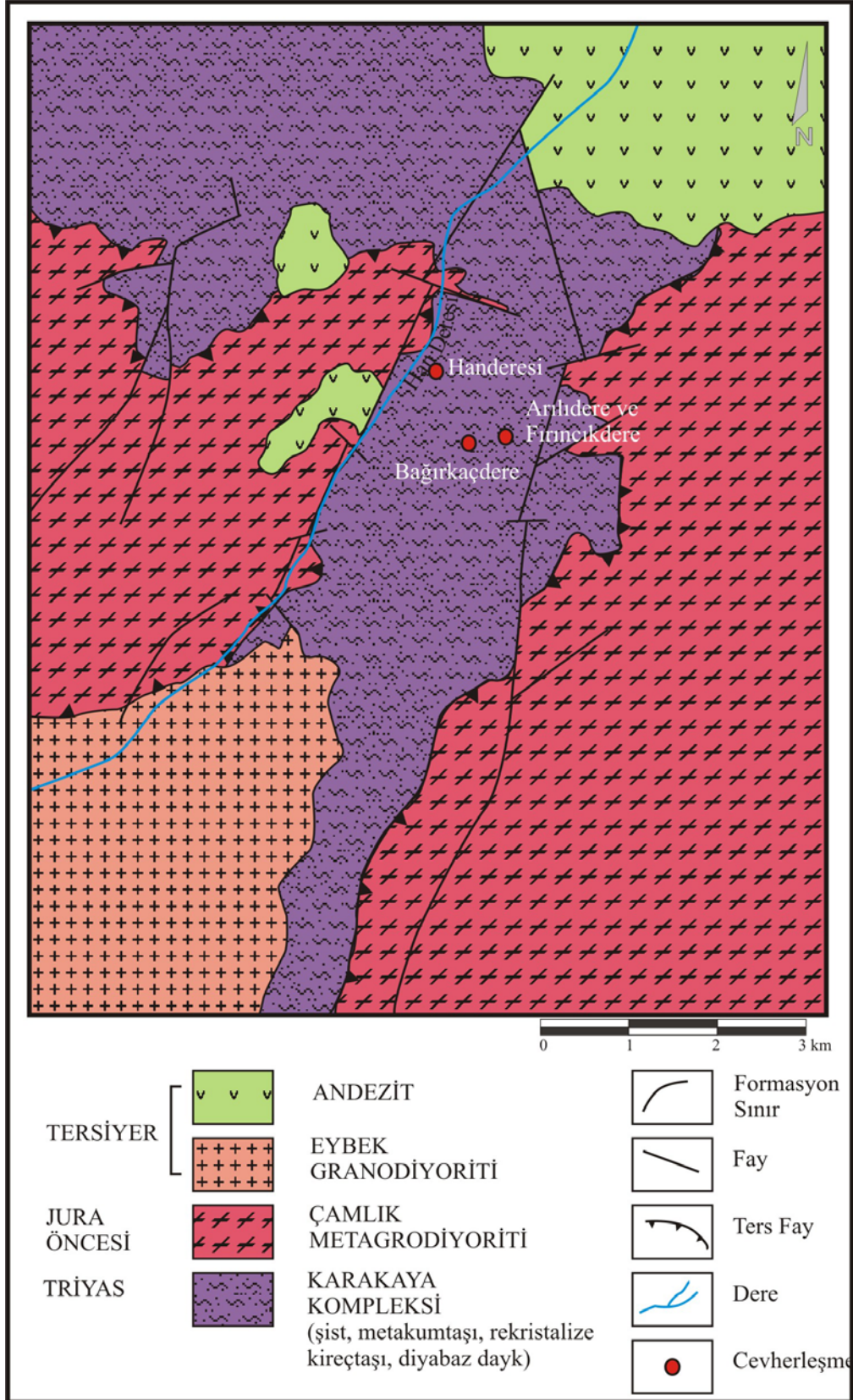


Şekil 4.4: Bağırkaçdere ocağının genel görünümü



Şekil 4.5: Bağırkaçdere maden ocağı girişi, 150 m’lik bir desandri ile ana galeriye ulaşılmakta

Çalışma alanında Karakaya Kompleksi birimleri, Çamlık Metagranodiyoriti, Eybek Granodiyoriti ve andezitler gözlenmektedir. Ayrıca bölgeye ait genel jeoloji haritası Şekil 4.6’te verilmiştir.



Şekil 4.6: Kalkım (Handeresi – Bağırkaçdere – Fıncıkdere – Arıldere ceherleşmeleri) Bölgesi jeolojik haritası (Üşümezsoy, 1987'den yararlanılarak çizilmiştir)

Karakaya Kompleksi birimleri genel olarak şist, metakumtaşı, rekristalize kireçtaşı ve dayk-sil şeklinde diyabazlardan oluşmaktadır ve Triyas yaşlıdır. Şistler, inceleme alanının görünür temelini oluşturmaktadır (Şekil 4.7). Şistozite, tabakalanmaya uyumludur (Kasapçı, 2005). Şistlerin karbonatlı seviyeleri, Eybek Granodiyoriti etkisiyle skarnlaşmaya uğramıştır. Bu seviyeler cevherli eriyiklere yataklık yaparlar.



Şekil 4.7: Bağırkaçdere bölgesinde gözlenen şistler



Şekil 4.8: İnceleme alanı civarında gözlenen andezitler

Çamlık Metagranodiyoriti, sahanın Güney’inde gözlenmektedir. Şistleşmenin çok belirgin olarak gözleendiği ve cevherleşme ile ilgisi olmayan bu sokulum, Doğu’da ve Batı’da Karakaya Kompleksi birimleri üzerine bindirme ile yerleşmiştir. Bu matagranodiyorit kuvars, feldspat, biyotit ve amfibollerden oluşmuştur. Feldspatlar ayrışma ve alterasyon sonucu kısmen serisitleşmiştir. Yer yer epidotlaşmalar da izlenmiştir (Sezenler, 2005).

Andezitler bölgenin Kuzeydoğu’sunda yer yer küçük alanlarda gözlenmektedirler. (Şekil 4.8). Tersiyer yaşlıdırlar.

Eybek Granodiyoriti, Karakaya Kompleksi birimlerini kesmektedir. Tesiyer yaşlı plütonik kayaç, nispeten daha kaba tanelidir ve yer yer yüzeysel alterasyon sonucu parçalanmış – ufalanmış halde (arenalaşma) izlenmektedir. İçinde kuvars, biotit, hornblend mineralleri ile birlikte plajioklaslar bulunur (Sezenler, 2005). Eybek granodiyoritine yakın veya dokanak bazı dar alanlarda hornfels oluşumları gözlenmiştir (Gedikoğlu, 2006).

Cevherleşme alanında dört farklı fay sistemi bulunduğu düşünülmektedir:

- ❖ Metagranitler ile şist dokanaklarında gözlenen KD-GB doğrultulu GB eğimli bindirme fayları en yaşlı olanlarıdır.
- ❖ Eğim atımlı K70-80°B doğrultulu birbirlerine paralel olarak uzanan faylar
- ❖ Güneybatı’dan Kuzeydoğu’ya uzanmakta olan birbirlerine paralel, K50-60°D doğrultulu oblik faylar ise cevherli zonlarda da takip edilmektedir. Bazen bu faylar D-B doğrultulu olabilmektedir.
- ❖ Cevherleşme alanındaki en genç fay da oblik karakterli olup K35-45°B doğrultuludur ve cevherleşmeyi etkilemiştir (Kasapçı, 2005).

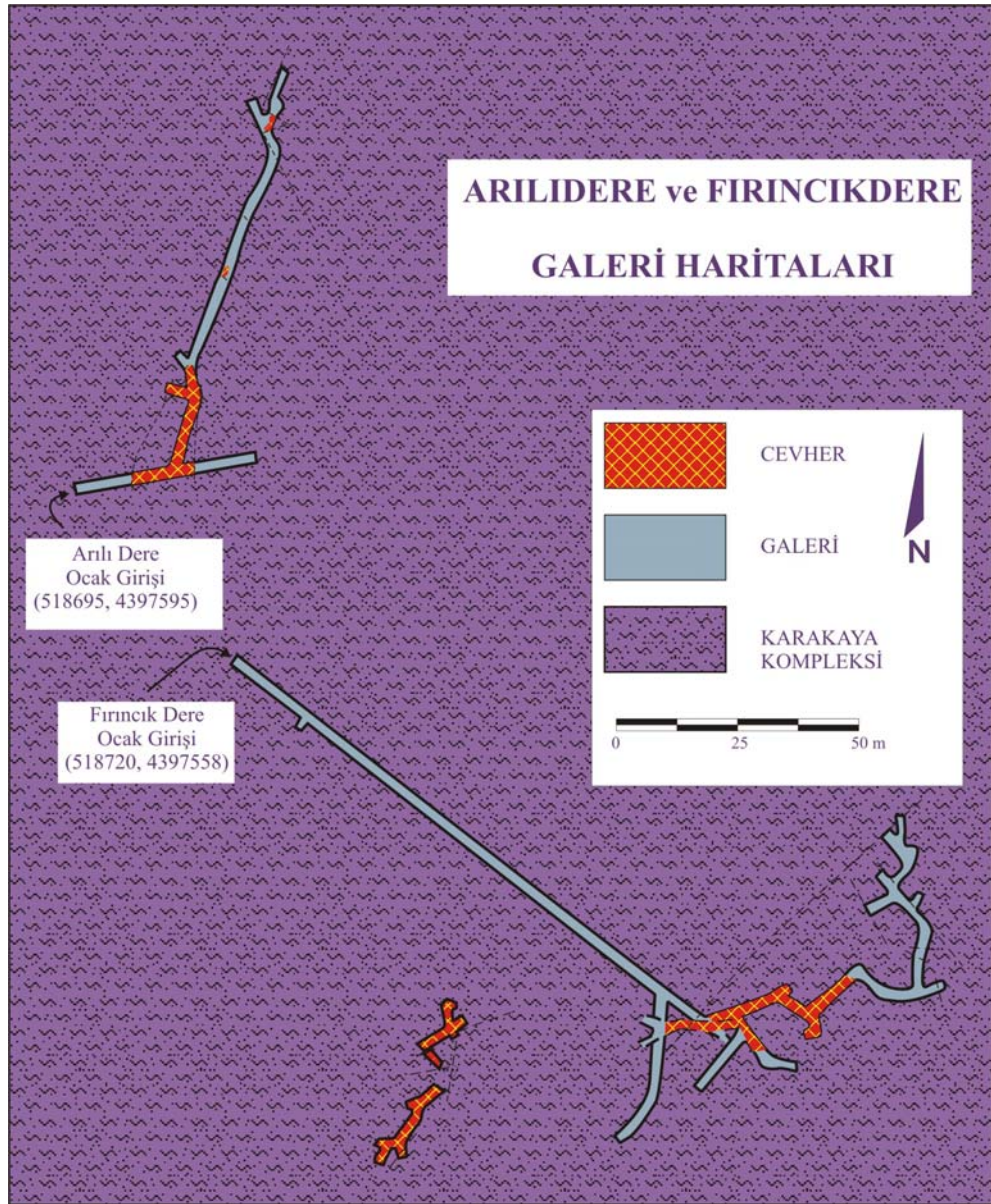
Bölgedeki cevherleşmeler KD-GB veya Bağırkaçdere’deki gibi D-B doğrultuludur. Cevherleşmeyi kontrol eden tektonik hatlar da aynı doğrultudadırlar. KB doğrultulu kırıklar ise cevherleşmeleri kesmektedir.

Bölgede iki tip cevherleşme söz konusudur:

- a) Plütojenik hidrotermal cevherleşmeler: Fırıncıkdere ve Arılıdere

- b) Skarn zonlarındaki hidrotermal cevherleşmeler (Bu ikinci tip yine plütojenik hidrotermal olmakla beraber skarn zonları içinde yer almaları bakımından farklıdır: Bağırkaçdere ve Handeresi

Plütojenik hidrotermal cevherleşmeler KD – GB uzanımlı olup kalınlıkları yaklaşık 1-1,5 m'dir. Süreklilik göstermezler. Şistler ve fillatlar içinde ardalımalı küçük mercekli damarlar şeklindedirler. Bu yapı yatay ve düşey yönlerde izlenebilmektedir. Eğimleri genelde dike yakın olmakla beraber 90°'den farklı olanları da mevcuttur (Şekil 4.9).

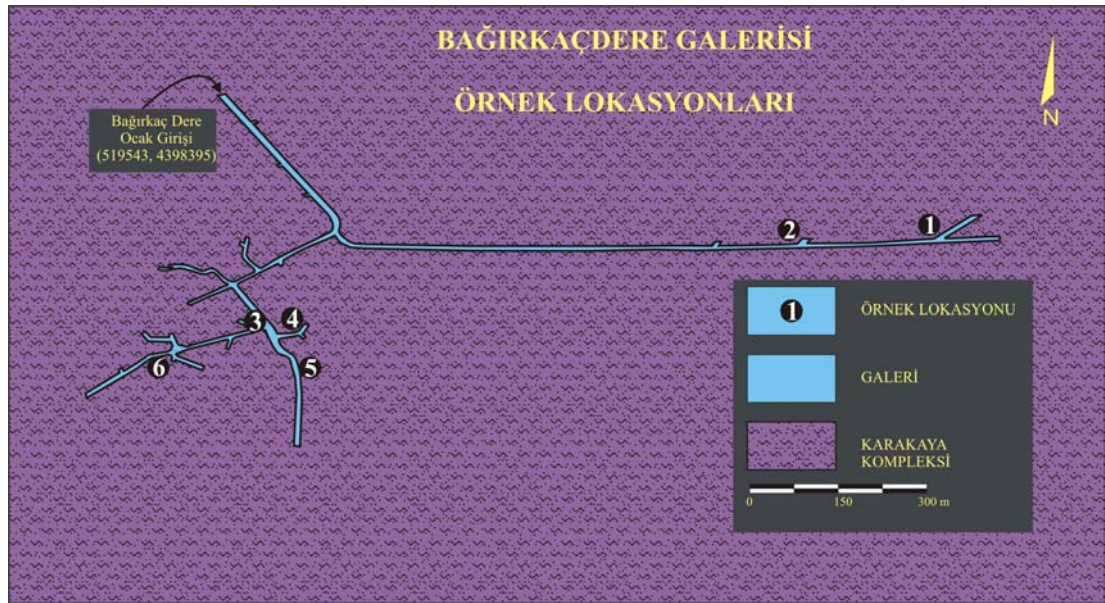


Şekil 4.9: Arılıdere ve Fırıncıkdere galerilerinin haritası (Sezenler, 2006'dan yararlanılarak çizilmiştir)

Bağırkaçdere cevherleşmesinin Kuzeydoğu'sunda yer alan Fırıncıkdere cevherleşmesi ve bu cevherleşmenin yaklaşık Güney'inde bulunan Arılıdere cevherleşmesi plütojenik hidrotermal tiptedir. Bu ocaklarda işletme yapılmadığından ocak içerisine girilememiş, bu sahaların çevresinde jeolojik çalışmalar ve depolama alanından da örneklemeler gerçekleştirilmiştir.

Skarn zonu tipi hidrotermal cevherleşmeler de şistlerin arasında yer alan yataklardır. Eybek Granidioriti'nin sokulumundan sonra bu granite bağlı hidrotermal getirimler granitin skarnlaşan karbonatlı kısımlarına yerleşerek cevherleşmeleri oluşturmuşlardır. Skarn zonlarında hidrotermal şekilsiz damarlar mevcuttur. Bu cevher çabuk yön değiştiren ve küçük damarcıklara ayrılan bir karakterdedir. Eğimleri genellikle yaklaşık 35° KD'ya doğrudur.

Bağırkaçdere cevherleşmesi kurşun, çinko, bakır ve gümüş açısından zengindir. 1980'lerde bir miktar çalışılmış olan ocakta 2003 yılında jeolojik etütlere başlanmış ve 2004 yılında yeniden faaliyete geçirilmiştir. Ocağa yaklaşık 150 m uzunluğunda ve 26° eğimli bir desandri ile girilmektedir (Şekil 4.10). Üretimin mümkün olabileceği birden çok damar mevcuttur. Damar kalınlıkları 10-15 m.'dir. Cevherleşmenin Batı kısmı KD-GB doğrultulu, Doğu uzantısı ise D-B doğrultuludur. Eğim 35° K'ye doğrudur.



Şekil 4.10: Bağırkaçdere galerisi örnek alım yerleri (Sezenler, 2006'dan yararlanılarak çizilmiştir)

Cevher mineralleri galen, sfalerit ve pirittir. Gang minerali ise kuvarstır. Yan kayacı skarn, hornfels ve mermerlerden oluşmuştur. Skarn mineralleri; aktinot, epidot, diopsit, gröna (andradit, grossüler)... gözlenmiştir. Aydın (1981) bu cevherleşmenin oluşum sıcaklığını 200 – 300 °C (Mezotermal) olarak belirtmiştir (Kasapçı, 2005).

Kalkım Beldesi'ne 7 km uzaklıktaki Handeresi cevherleşmesi, kurşun ve çinko bakımından zengindir. Cevher minerallerini galen, sfalerit, pirit ve kalkopirit oluşturmaktadır. Yan kayaçları andezitik olmakla beraber, ayrışma sonucu yoğun killeşme gözlenmektedir. Bağırkaçdere cevherleşmesinden, kalite ve zenginliği açısından tek farkı Zn miktarının daha fazla olmasıdır (Sezenler, 2005). Aydın (1981) oluşum sıcaklığının yüksek – orta sıcaklık aralığında bulunduğunu belirtmiştir (Kasapçı, 2005).

4 damardan oluşan cevherleşmenin 2 damarı skarn zonu içindedir. Damar kalınlıkları yaklaşık 1 m.'dir. Cevherleşmenin eğimi yaklaşık 30°K'dir. Cevherleşmelerin doğrultuları ise D-B ve KD-GB'dır.

Sezenler'in (2005) verilerine göre plütojenik hidrotermal ve skarn zonu tipi hidrotermal cevherleşmelerinin toplam rezervi yaklaşık 500.000 metalik ton olarak tahmin edilmektedir. Bu bölgedeki ortalama tenörleri ise %5,28 Pb, %2,13 Zn ve %1 Cu olarak belirtmiştir. İTÜ-MTA Projesi (2004) kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda ise 250.000 metalik ton görünür rezerv değeri ve %7 Pb, %3 Zn, %1,25 Cu tenörleri verilmiştir.

4.2. Arapuçandere (Yenice) Bölgesi Cevherleşmesi

İ18-b1,b2 paftaları içerisinde yer alan Arapuçandere Pb-Zn-Cu-Ag zenginleşmesi Yenice İlçe Merkezi'nin 11 km Kuzeydoğu'sunda yer almaktadır.

GEOSOM Madencilik Ltd. Şti.'ye ait geniş alanlar kaplayan maden ruhsatlı arazinin yaklaşık 1 km²'lik bölümünde yer altı madencilik faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Üretim 344 ve 308 kotlarında sürdürülmektedir. 60 m.'lik bir shaft ile bu üç seviyeye de ulaşım mümkündür (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Arapuçandere kuyu galeri girişı ve depolama alanı

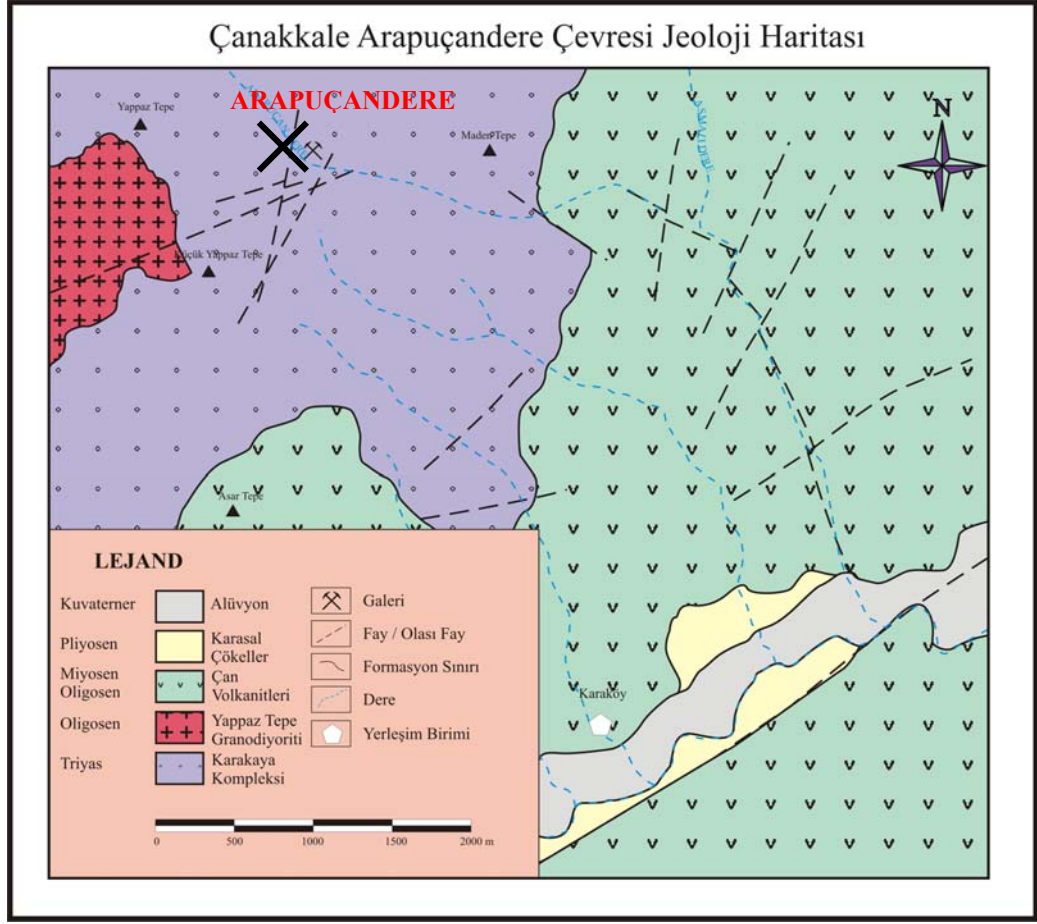
İşletme sahası içinde genellikle Triyas yaşlı Karakaya Formasyonu'na ait şist (Şekil 4.14), kuvarsit-metaarkoz, şeyl ve metadiabaz (Şekil 4.13) gibi birimler görülmektedir.

Alt Oligosen yaşlı Yappaz Tepe Granodiyorit Karakaya Kompleksi birimlerini kesmektedir. Bunların granodiyoritin karbonatlı kayalar ile olan dokanaklarında skarnlaşma mevcuttur.

Doğu'ya doğru Oligosen-Miyosen yaşlı dasitik volkanikler (Çan Volkanitleri) Karakaya Formasyonu'nu üzerlemektedir. Çan Volkanitleri tabanda aglomera ile başlamakta, ve üste doğru andezit, dasit, dasitik breş ve andezitik tüflerden oluşmaktadır.

Pliyosen-Kuvaterner birimler en genç oluşuklardır.

Şekil 4.12'de Arapuçandere cevherleşmesi yakın civarının genel jeoloji haritası verilmektedir.



Şekil 4.12: Arapuçandere bölgesi genelleştirilmiş jeolojik haritası (Kasapçı, 2005'den yararlanılarak çizilmiştir)



Şekil 4.13: Arapuçandere bölgesinde metadiyabaz daykın bir görünümü



Şekil 4.14: Arapuçandere bölgesindeki şistler

Birçok kez orojenik faaliyetlerin etkisinde kalan cevherleşme bölgesi, Ege graben sistemini oluşturan Kuzey – Güney gerilme kuvvetlerinin zayıfladığı ve Kuzey Anadolu transform fayının etkinleştiği bir bölgedir. İç basıncı yüksek magma sokulumları ve Tersiyer volkanizması sahanın karmaşık yapısını daha da arttırmıştır. (Kasapçı, 2005).

Cevherleşme öncesi ve sonrası faylar genellikle D-B yönelimlidir. Bunları KD-GB yönelimli faylar da kesmektedir. Cevherleşme esas olarak D-B doğrultulu paralel kırıklara yerleşmiştir (K damarı ve G damarı) . Tali olarak KD-GB doğrultulu kırıklar içinde de daha önemsiz uzantılı cevher mevcuttur.

Arapuçandere cevherleşmesi yapısal kontrollü plütojenik hidrotermal tip polimetalik (Pb-Zn-Cu-Ag) bir cevherleşmedir. Cevher galen, sfalerit, kalkopirit ve pirit minerallerinden müteşekkildir. Gang minerali kuvarstır (Şekil 4.15). Gözler vd. (1984), Triyas kumtaşları ve metamorfik kayalar içinde oluşmuş cevherleşmenin kırık hatlarına yakın kesimlerde görüldüğünü ve cevherleşmeyi oluşturan elementleri taşıyan hidrotermal eriyikleri civarda bulunan granitik intrüzyonların getirdiğini belirtmektedir. Oluşumun 260-360⁰C sıcaklık sınırları dahilinde geliştiği düşünülmektedir (Kasapçı, 2005).

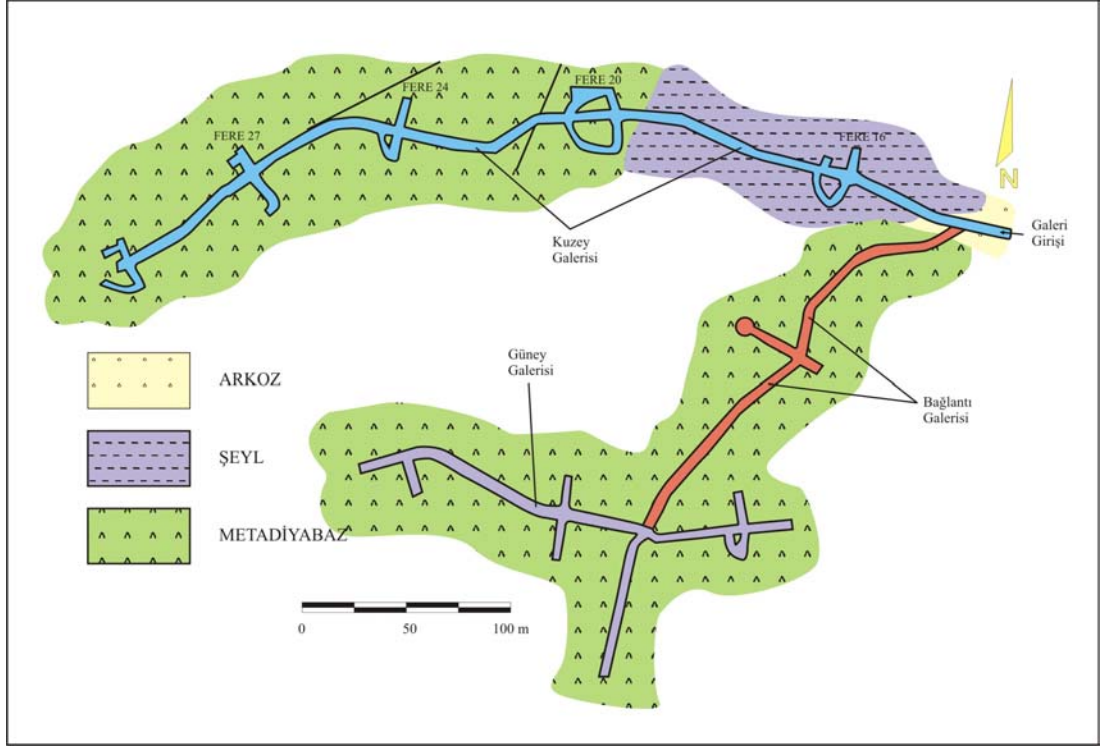
Ayrıca, Örgün vd. (2003)'ün sahada yaptıkları çalışmada; yatağın volkanojenik tipte bir yatak olduğunu ve sıvı kapanım çalışmalarından da 229-384⁰C sıcaklık aralığı tespit ettiklerini belirtmişlerdir.

İşletme yapılan saha içinde D-B yönelimli iki damar (4. ve 5. damar) mevcut olup çalışmalar bunlar üzerindedir. 4. damar 400 m uzunluk ve 2 m kalınlık vermektedir. 5. damar ise 110 m uzunluk ve 1,5 m kalınlık vermektedir. MTA sondaj verilerine göre 170 m seviyesine kadar cevherleşme mevcuttur (Şekil 4.16). Bu iki damar dışında D-B yönelimli 1. damar ile K-G yönelimli 2. ve 3. damar bulunmaktadır.



Şekil 4.15: Arapuçandere, 344 kotu, hidrotermal galen oluşumu, kuvars damarı ile birlikte

2002 yılından itibaren üç yıl içerisinde yaklaşık olarak 125.000 ton cevher üretilmiştir. Görünür + muhtemel rezervi 300.000 metalik ton, mümkün rezerv 870.000 metalik ton olarak hesaplanmıştır. Tenörler % 20 Pb+Zn ve 153 ppm Ag şeklindedir (Güner, 2005). İTÜ-MTA Projesi (2004) kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda ise 125.000 metalik ton görünür rezerv değeri ve %6,5 Pb, %4,25 Zn, %1,05 Cu tenörleri verilmiştir.



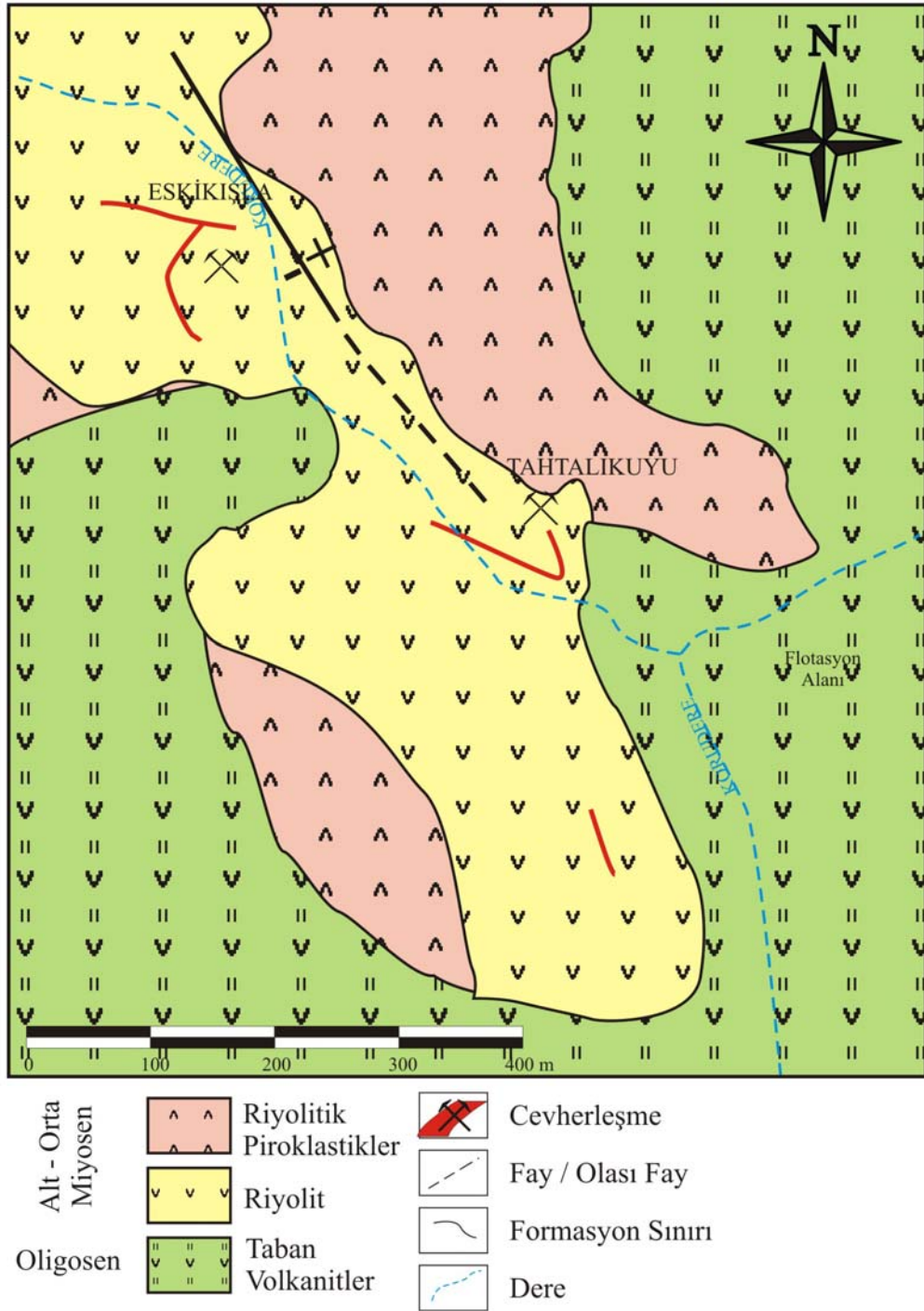
Şekil 4.16: Arapuçandere 308 kotu galeri planı (Başar, 2005'ten yararlanılarak çizilmiştir)

4.3. Korudere (Umurbey) Bölgesi Cevherleşmesi

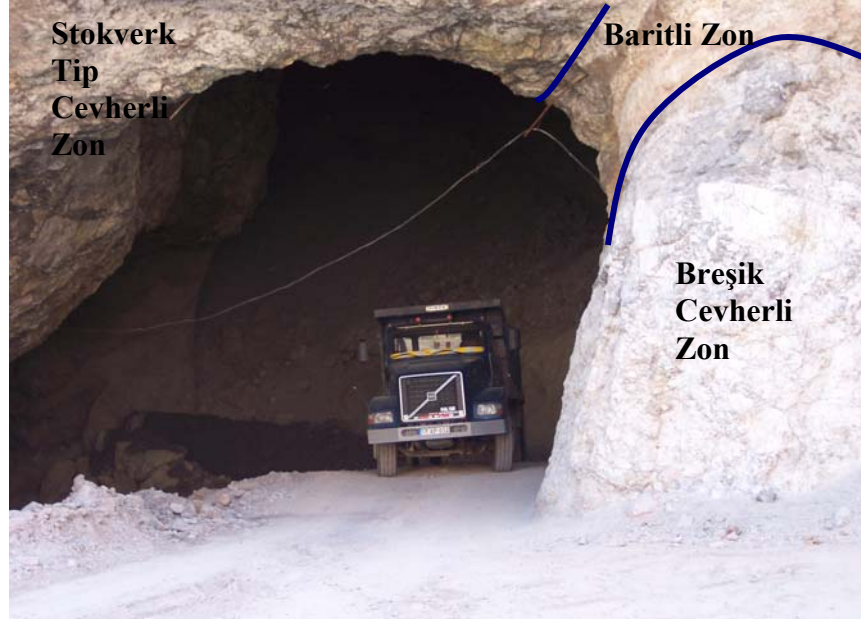
H17-c1 paftasında yer alan Korudere cevherleşmeleri, Çanakkale Madencilik Ltd. Şti. tarafından oda – topuk sistemiyle işletilmektedir. Kuru Köyü'nün 3,5 km Kuzeybatı'sında Korudere vadisinde bulunan saha Çanakkale il merkezine 46 km mesafededir. Bitki örtüsünün zayıf olduğu ve bodur ağaçlardan oluştuğu saha, bahar aylarında fazla yağış almaktadır. Bu yağışlar sebebiyle ocaklarda su baskınları meydana gelebilmektedir. Bu nedenle ocak içi faaliyetlerde aksamalar yaşanmaktadır (Şekil 4.18).

Sahadaki tüm cevherleşmelere volkanik kayalar eşlik etmektedir. Muhtemelen Miyosen yaşlı riyolitler, Oligosen yaşlı taban volkanitlerini ve riyolitik piroklastikleri üzerlemektedir. Cevherleşmeler üstteki riyolitler ve piroklastikleri içinde damar, damarcık stokverk ve saçınım biçimindedir. Ayrıca andezitik kayalar (Bölgedeki taban volkanitlerinin genelini oluşturmaktadır.) ve riyolitler arasındaki dokanakta da cevherleşmeler mevcuttur. Şekil 4.17'de Korudere Bölgesi'nin genelleştirilmiş jeoloji haritası verilmektedir.

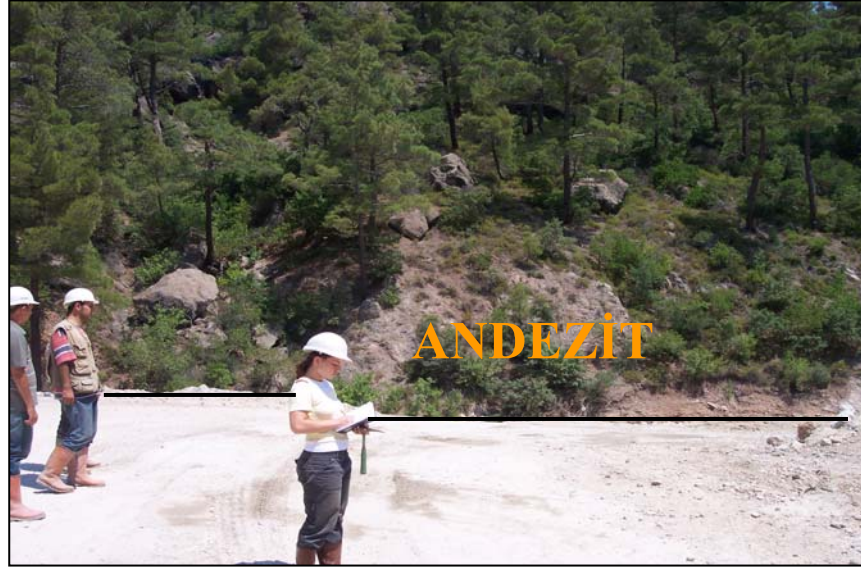
Çanakkale Korudere Çevresi Jeoloji Haritası



Şekil 4.17: Korudere cevherleşmesi ve yakın civarının genelleştirilmiş jeolojik haritası (Beşir, 2003'den yararlanılarak çizilmiştir)



Şekil 4.18: Eskikışla ve Tahtalıkuyu ocakları oda-topuk yöntemi benimsenerek işletilmektedir. Yukarıda Eskikışla ocağında izlenen cevherleşme alanları stokverk tip cevherli zon / baritli zon / breşik cevherli zon şeklinde izlenmektedir.



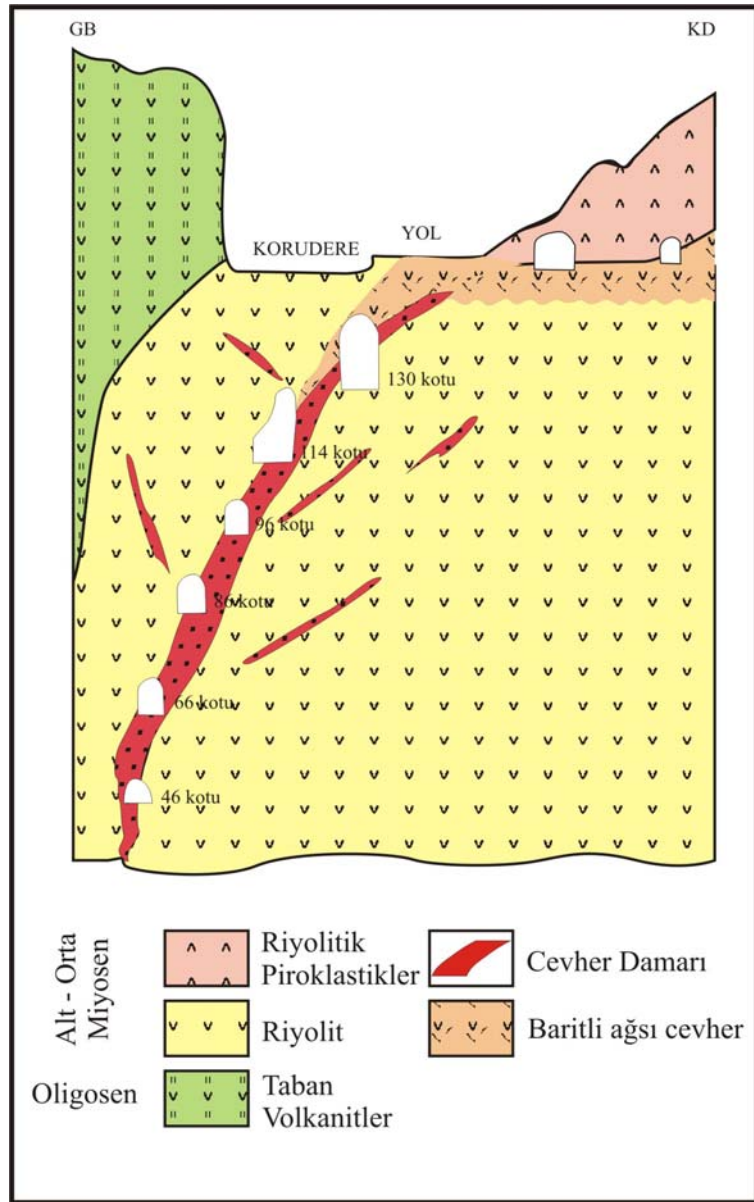
Şekil 4. 19: Eskikışla – Tahtalıkuyu ocakları arasında izlenen andezitler

Bölgede Oligosen yaşlı taban volkanitleri ve Alt-Orta Miyosen yaşlı riyolitler olmak üzere iki tip volkanik fasiyes bulunmaktadır (Beşir 2003).

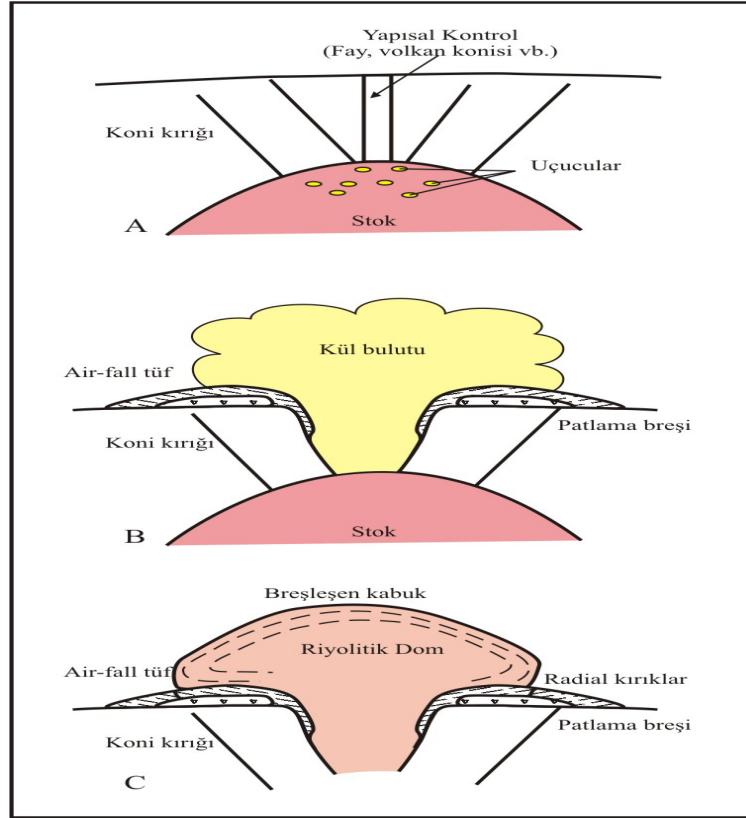
Taban volkanitleri esas olarak andezitik (Şekil 4.19) olmakla beraber yer yer dasitik, riyolitik bileşimli lav, tuf ve aglomeralardan oluşur. Renkleri sarımsı beyazdan gri, kahve zaman zaman yeşil olarak gözlenebilir. Vadi içersinde iri bloklardan oluşan

aglomeralar izlenirken yukarılara doğru tane boyu düşerek lapilli, kül ve tüften meydana gelen tabakalı bir yapı gösterir.

Alt-Orta Miyosen yaşlı riylitler (Şekil 4.22), maden sahasında cevherleşmelerle ilişki sergiler. Pembe – açık bej ağırlıklı renk tonlarına sahip olan birimin dayanımı da oldukça yüksektir. Bir kaç riylit domu şeklinde yükselerek çalışma sahasındaki taban volkanitlerini keser (Şekil 4.20). Domun dış çeperlerinde riylitik kayaçlara ait volkanik breş ve tüfler mevcuttur (Şekil 4.21). Breşler arası silis karakterli bir hamurla doldurulmuştur.



Şekil 4.20: Korudere-Tahtalıkuyu cevherleşmesinin jeolojik kesiti (Beşir, 2003'den yararlanılarak çizilmiştir)



Şekil 4.23: Volkanik domların yerleşimini aşama aşama gösteren diagram. **A.** Yapı boyunca yükselim, koni kırıklarının oluşumu, uçucuların üstte toplanması **B.** Magmatik patlamalar sonucu tabakalı breşler tarafından çevrilen koni şekilli damarın oluşumu, havaya püskürtülen külün breşlerin üzerine çökmesi **C.** Radyal ve konsantrik kırıkların oluşumu ile beraber akış bantlı domun yerleşimi (Cunningham vd.; 1991’den derlenmiştir)

Oligo-Miyosen yaşlı Korudere cevherleşmesi, breşler içersinde yer alan Pb-Zn-Cu ile temsil edilir ve volkanojenik hidrotermal tiptedir. 6m kalınlığa ulaşabilen cevherleşme, volkanojenik hidrotermal damar karakterinde (Şekil 4.24) ve ince stokverk (Şekil 4.25) şeklinde gözlenmektedir. Yan kayaçları riyolitler ve riyolitik tüfler oluşturur, ancak bazı derin kesimlerinde cevher damarları Eosen andezitik kayaçlar ile dokanaklıdır.

Yatayda 50-100m düşeyde ise yaklaşık 150 m devamlılığa sahip olup düşeydeki devamlılığı daha fazladır. Damarların doğrultuları ve eğimleri değişkendir. Cevher mineralleri galen, sfalerit, kalkopirit, tetraedrit, pirittir. Gang mineralleri ise kuvars ve barittir. Üstten alta doğru barit, galen, sfalerit ve kalkopirit zonlanması gözlenmektedir. Cevherleşmenin volkanojenik hidrotermal tipte olduğunun en

önemli kanıtları tipik dallı yapısı ve barit oluşumlarının varlığıdır. Bu duruma işaret eden esas kanıt ise cevherleşmenin tetraedrit içermesidir. Çünkü tetraedrit, bir sülfosel mineralidir ve sülfosel mineralleri de volkanojenik oluşumları göstermektedir.

500.000 ton rezerve sahip olan yatak %10 Pb, %10 Zn, %5 Cu tenörlüdür (Gedikoğlu, 2006). İTÜ-MTA Projesi (2004) kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda ise 1.130.000 metalik ton görünür rezerv değeri ve %2,25 Pb, %3 Zn tenörleri verilmiştir.



Şekil 4.24: Korudere Madeni ince damar tipi cevherleşme



Şekil 4.25: Korudere Madeni (Eskikışla) ocak içi (stokverk tipi cevherleşmeler)

5. SÜLFÜRLÜ MİNERALİZASYONLARA BAĞLI KIYMETLİ METALLER

Bu ana başlık altında çalışma kapsamında ele aldığımız kıymetli iz metal elementlerin özellikleri, kullanım alanları, üretim yöntemleri, dünyadaki ve ülkemizdeki durumları, bulundukları ortama nasıl geldikleri ve ne şekilde kristal yapısına dahil olabildikleri genel hatları ile tanıtılmıştır.

Biga Yarımadası sülfürlü cevherleşmeleri ile ilgili olarak çalışma alanından alınan çeşitli örneklerde sfalerit, galen, pirit, kalkopirit gibi cevher mineralleri içinde galyum (Ga), germanyum (Ge), selenyum (Se), altın (Au), gümüş (Ag), kadmiyum (Cd), renyum (Re), indiyum (In), talyum (Tl) ve tellüryum (Te) kıymetli iz metallerinin varlığı ve miktarları araştırılmıştır.



Şekil 5.1: İncelenen kıymetli iz metallerin saf haldeki görünüşleri

Bu bilgiler ışığında kıymetli iz metallerin ortamdaki varlıklarının sebepleri, cevher minerallerinin kristal yapılarına nasıl dahil oldukları ve cevhere ekonomik açıdan nasıl katkı sağlamış olabilecekleri hakkında yorumlarda bulunulmuştur. Şekil 5.1’de bu elementlerin saf haldeki görünümleri verilmiştir.

Kıymetli İz Metal: Cevherleşmeler içinde iz element olarak bulunan, yan ürün olarak işletilebilen, dolayısıyla ekonomik önem arz eden metaller için bu deyim kullanılmıştır.

5.1. Kıymetli İz Metallerin Genel Özellikleri ve Dünyadaki Durumları

Bu başlık altındaki bilgilerin büyük bir kısmı Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (Özel İhtisas Komisyonu - 2001) Raporları, U.S. Geological Survey (2006) ve İhracat Dünyası Raporu (2006) isimli kaynaklardan derlenmiştir.

--- **Galyum (Ga):** Yüksek saflıktaki galyum metali gümüşü beyaz renktedir. Boksit ve çinko yataklarından yan ürün olarak elde edilir. Yer kabuğunda 19 ppm civarında bulunan galyum kurşun ile aynı oranda bulunmasına rağmen ekonomik olarak işletilebilecek yataklarına rastlanılmamaktadır. Galyumun miktarları granit, bazalt ve şeyllerde birbiriyle aynıdır (ort. 18.000 ppb). En önemli galyum minerali gallit $\{(Cu,Ga)S_2\}$ ’tir. Galyum, boksit cevherlerinde 20-100 ppm, çinko cevherlerinde ise sfalerit içinde iz element olarak bulunmaktadır ve çinko konsantrelerindeki galyum içeriği ise 5-250 ppm arasında değişmektedir. Galyum ayrıca baca tozlarında ve Ga_2O_3 olarak bazı kömür küllerinde bulunmaktadır.

Üretimde önde gelen ülke Çin’dir. 2005 yılı verilerine göre dünya toplam galyum üretimi (primer ve rafine) 150 bin kg’dır. Dünya toplam rezervi ise (primer, rafine ve geri dönüşüm) 370 bin ton’dur. 2300 ton sfalerit mineralinde, 1 milyon ton ise boksit mineralinde baz rezerv olarak hesaplanmıştır. 2003 ve 2004 yıllarında düşüş gösteren galyum fiyatları 2005 yılında artışa geçerek eski seyrini yakalamıştır.

--- **Germanyum (Ge):** Kurşuni beyaz renkte metalik görünümlü, sert ve çok kırılgan bir yapıya sahiptir. Germanyum bir yarı iletken olup birçok metaldeki durumun tersine, empüritelerin varlığında malzemenin iletkenliği artmaktadır. Oldukça nadir bulunan bir elementtir. Yer kabuğundaki konsantrasyonu 1.4 ppm değerindedir.

Germanyumun miktarları granit, bazalt ve şeylerde birbiriyle aynıdır (15.000 ppb). Germanyum üretiminin büyük bir kısmı sülfürlü çinko (ZnS) cevherlerinden sağlanmaktadır. Çinko konsantrelerinde olduğu gibi, çinko konsantrelerinin sinterlenmesi sırasında meydana gelen kadmiyum dumanları da önemli ölçüde germanyum içermektedir. Kömürlerde de 10 ila 100 ppm arasında bulunan germanyum, kömürün yakılması sırasında baca tozları ile gider. Taşkömürü külleri diğer küllere oranla daha fazla germanyum içermektedir.

Dünyada üretimine ABD'nin liderlik yaptığı germanyum, yan ürün olarak elde edilmektedir. Bu üretim yıllık yaklaşık 4400 kg'dır. Dünya toplam üretimi ise 2005 yılı verilerine göre 3000 kg artış göstermiştir. Toplam rezerv 450 bin kg olup, 2003 yılında düşen fiyatlar 610 \$/kg'ye yükselmiştir.

--- **Selenyum (Se):** Eser miktarda hemen hemen bütün sülfürlerde bulunmaktadır. Özellikle bakır yatakları ile ilgili olarak bulunur. Selenyum kabukta 0.05 ppm'lik bir orana sahipken, kalkopirit ve piritte galen ve zinobere göre daha yüksek orandadır. Selenyum miktarı şeyllerde daha fazladır (60 ppb). Selenyum yan ürün olarak üretilmektedir.

Şili ve ABD'nin en büyük rezervlere sahip olduğu selenyum üretiminin en fazla olduğu ülke Japonya'dır. Dünya üzerindeki 2004 ve 2005 yılı üretim miktarları birbirine yakındır. 2005 yılında Şili'de %50 artış gösteren üretim Almanya'da büyük bir düşüş yaşamıştır. 2003 yılına kadar ortalama 4 \$/pound civarında kalan fiyatlar 2004 yılında önemli ölçüde artmış ve 2005 yılında 52 \$/pound seviyesine ulaşmıştır.

--- **Gümüş (Ag):** Yer kabuğunda çok az bulunur. Gümüşe doğada serbest halde rastlanıldığı gibi (+1) ve (+2) değerli bileşikler halinde de rastlanılır. Duraylı bileşiklerinde genelde (+1) değerlidir. Öte yandan Ag iyonu, Cu, Pb-Zn ve Sb elementleriyle de yer değişimi yapabildiğinden bu elementlerin minerallerinde belirli oranlarda gümüşe rastlanılmaktadır. En önemli gümüş minerali arjantit (Ag_2S)'tir. Gümüşün 2/3'ü Cu-Pb-Zn yataklarından, geri kalanı Au damarlarından elde edilmektedir. Galen ve sülfosellerde kalkopirittekinden daha yüksek değerlerde rastlanan gümüş, kabukta 0.07 ppm mertebesindedir.

2004 – 2005 yılı üretiminin hemen hemen aynı kaldığı gümüşte söz sahibi ülkelerin başında Orta ve Güney Amerika ülkeleri ile Avustralya gelmektedir. Primer olarak

Tellüryumda üretim ve rezerv miktarı olarak başı ABD çekmektedir. Üretimi yan ürün eldesi şeklindedir. Fiyatı son beş yılda 90 \$/pound artmıştır.

--- **Renyum (Re):** Bu metal gümüş beyazı renktedir. Renyum yer kabuğunda 0.0026 ppm oranında bulunur. Doğada nabit renyum ve renyum mineralleri bulunmamakla beraber 15 kadar metal bileşiği iz element olarak 0.8-20 ppm arasında Re içermektedir. Renyum içeren en önemli mineral molibdenittir. Özellikle porfirik bakır yataklarındaki molibdenitlerde renyum oranı 1800 ppm mertebesine kadar çıkmaktadır. Dünya renyum üretiminin %99'u (düşük tenörlü) mezotermal oluşumlu, porfirik bakır yataklarından sağlanmaktadır.

Şili ve ABD'nin üretimde büyük paya sahip olduğu primer olarak üretilen renyum, Dünya'da 2400 ton görünür ve 10000 ton baz rezerve sahiptir. Fiyatı 2001 - 2005 yılları arasında yaklaşık %20 artış göstermiştir.

--- **Altın (Au):** Sarı renkli çok kolay şekil verilebilen, elektriği iyi ileten bir metaldir. Yeryüzü kabuğu ortalama olarak 3 ppb civarında altın içerir. Altın doğada genellikle saf halde, gümüş ve diğer metallerle alaşım halde ve tellüritler halinde bulunur. Diğer altın mineralleri nadirdir. Altın üretimi esnasında %15 kayıp verilmektedir.

Güney Afrika, Avustralya, ABD ve Çin'in lider olduğu pazarda dünya toplam üretimi 2450 ton'dur. 42 bin ton'luk dünya rezervinde büyük oranda Güney Afrika ve Avustralya önde gelmektedir. 2001 – 2005 yılları arasında altın fiyatları %50 artış göstermiştir.

--- **Talyum (Tl):** Çoğunlukla, kurşun, çinko, bakır ve demir gibi ağır metallere ait maden yataklarında iz element olarak bulunur ve bu metallerin üretimi sırasında yan ürün olarak kazanılır. Kabukta 530 ppb değerinde olan talyum, daha çok sfaleritin yapısında gözlenir. Daha çok granitik kayaların bünyesinde bulunmaktadır (1.200 ppb). Diğer kıymetli iz metallere göre en düşük dünya üretimine sahip olan kıymetli iz metal talyumdur. 650 ton baz rezerve sahiptir. Fiyatı ise 2005 yılı itibari ile 1900\$/kg'dir.

Bu veriler, aşağıda Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de topluca gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 5.3'te de dünyadaki üretim, rezerv ve fiyatlarından bahsedilmiştir. Tablo 5.2 Gedikoğlu(2006), www.tsumebfineminerals.com, www.fabre-minerals.com,

www.rareminerals.com kaynaklarından; Tablo 5.3 ise Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (Özel İhtisas Komisyonu) Raporları (2001), U.S. Geological Survey (2006), İhracat Dünyası Raporu (2006) kaynaklarından derlenerek oluşturulmuştur.

Tablo 5.1: Sülfürlü mineralizasyonlara bağlı kıymetli iz metallerin yer kabuğu ve sülfürlü minerallerdeki miktarları (Gedikoğlu; 2006)

Element	Atom No	Grup	Crust	Granit	Bazalt	Şeyl	Sfalerit	Galen	Kalkopirit	Pirit	Sülfosel	Molibdenit	Zinobir	Kömür
			Pbb	Pbb	Pbb	Pbb								
GALYUM	Ga	31	Diğer Metal	19 000	18 000	18 000	19 000	X ¹						X ²
GERMANYUM	Ge	32	Metalloidy	1 400	1 500	1 500	1 500	X	x	x				x
SELENYUM	Se	34	Non metal	50	50	50	60		x	X	X		x	
GÜMÜŞ	Ag	47	Tran. metal	70	40	100	100		X	x		X		
KADMİYUM	Cd	48	Tran. metal	150	100	200	300	X						
İNDİYUM	In	49	Diğer metal	160	50	70	60	X	x	x				
TELLÜRYUM	Te	52	Metalloidy	450	750	100	1000		X	X				
RENYUM	Re	75	Tran. metal	2,6								X		
ALTIN	Au	79	Tran. Metal	3	2	4	3			X	X			
TALYUM	Tl	81	Diğer metal	530	1 200	200	1 000	X						

¹: Kıymetli iz metal elementin ilgili mineralde bol olduğunu ifade eder.

²: Kıymetli iz metal elementin ilgili mineralde az olduğunu ifade eder.

Tablo 5.2: Sülfürlü mineralizasyonlara bağlı kıymetli iz metalleri içeren bazı mineraller

ADI	OLUŞTURDUĞU MİNERALLER	İZ ELEMENT OLARAK BULUNDUĞU MİNERALLER
GALYUM (Ga)	Gallit: $(\text{Cu,Ga})\text{S}_2$ Ekonomik değil Germanit: $\text{Cu}_3(\text{Fe,Ge})\text{S}_4$ (%1,8 Ga) Ekonomik değil Galyum-Bodanit: $\text{Pb}(\text{Fe,Ga})_3(\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$	Sfalerit: ≈ 50 ppm Boksit: $\approx 20 - 100$ ppm Kömür: Bazen külde $> \%1,5$ Kaolin Manyetit Diaspor
GERMANYUM (Ge)	Germanit: $\text{Cu}_3(\text{Fe,Ge})\text{S}_4$ (%8 Ge) Ekonomik değil Arjirodit: Ag_8GeS_6 Ekonomik değil Kanfedit: $\text{Ag}_8(\text{Sn,Ge})\text{S}_6$ Ekonomik değil Arjutit: GeO_2 Briartit: $\text{Cu}_2(\text{Fe,Zn})\text{GeS}_4$ Renierit: $(\text{Cu,Zn})_{11}(\text{Ge,As})_2\text{Fe}_4\text{S}_{16}$	Sfalerit Kalkopirit Galen Kömür: 10-100 ppm
SELENYUM (Se)	Naumanit: Ag_2Se Ajuilarit: $\text{Ag}_2(\text{Se,S})$ Berzelianit: Cu_2Se Ökarit: $\text{Cu}_2\text{Se Ag}_2\text{Se}$ Kokmanit: Cu Se Seleniyumlu Galen: $\text{Pb}(\text{S,Se})$ Klausthalit: Pb Se Kerstenit: Pb Se O_4 Tiemanit: Hg Se Ferroselit: Fe Se_2 Kalkomenit: $\text{Cu}(\text{SeO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Seleniyumlu Tellüryum: (Te,Se)	Kalkopirit Pirit Galen Zinober
GÜMÜŞ (Ag)	Nabit Gümüş: Ag Arjantit: Ag_2S Pirarjirit: Ag_3SbS_3 Prostit: Ag_3AsS_3	Galen: $< \% 10$ Tetraedrit: $\% 0 - 18$ Enarjit: Ag yabancı mineral inklüzyonları içinde Bornit: $< \% 3$ Tennantit Kalkopirit
KADMIYUM (Cd)	Grenoskit: CdS Havleyit: CdS Kadmiyumlu Sfalerit: $(\text{Zn,Cd})\text{S}$ Monteponit: CdO Otavit: CdCO_3	Sfalerit: $< \% 10$

Tablo 5.2'nin Devamı: Sülfürlü mineralizasyonlara bağlı kıymetli iz metalleri içeren bazı mineraller

ADI	OLUŞTURDUĞU MİNERALLER	İZ ELEMENT OLARAK BULUNDUĞU MİNERALLER
İNDİYUM (In)	Nabit İndiyum: In Indit: $\text{Fe}^{2+}\text{In}_2\text{S}_4$ Sakurait: $(\text{Cu,Zn,Fe,In,Sn})_4\text{S}_4$ Rokuesit: CuInS_2	Sfalerit: % 0,001 – 0,1 Galen Kalkopirit Stannit Pirotin Bornit
TELLÜRYUM (Te)	Nabit Tellüriyum: Te Tetradimit: BiTe_2S Hessit: Ag_2Te Petzit: $(\text{Ag,Au})_2\text{Te}$ Altait: PbTe Krenerit: AuTe_2 Kalaverit: AuTe_2 Silvanit: $(\text{Ag,Au})_2\text{Te}$ Teinit: $\text{Cu}[(\text{Te,S})\text{O}_4]2\text{H}_2\text{O}$ Durtenit (Emonsit): $\text{Fe}_2(\text{TeO}_3)_34\text{H}_2\text{O}$	Kalkopirit Galen
RENYUM (Re)	Gadolinit: $\text{Y}_2\text{FeBe}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$	Molibdenit: % $5.10^{-7} - 2.10^{-4}$
ALTIN (Au)	Nabit Altın: Au Elektrum: (Au,Ag) Petzit: $(\text{Ag,Au})_2\text{Te}$ Krenerit: AuTe_2 Silvanit: $(\text{Ag,Au})_2\text{Te}$	Kalkopirit Pirit: Au yabancı mineral inklüzyonları içinde
TALYUM (Tl)	Virbait: $\text{Tl(As,Sb)}_3\text{S}_4$ Lorandit: TlAsS_2 Haçinsonit: $(\text{Cu,Ag,Tl})_2\text{SPbS}_2\text{As}_2\text{S}_3$ Talliyumlu Markasit: $(\text{Fe,Tl})\text{S}_2$	Sfalerit

Tablo 5.3: Sulfürlü mineralizasyonlara bağlı kıymetli iz metallerin, dünyadaki üretim, rezerv, baz rezerv ve fiyat durumları

KIYMETLİ METAL	ÜLKE	Üretim Yöntem	ÜRETİM (metal ton)		REZERV (metal ton)	BAZ REZERV (metal ton)	FİYAT				
			2004	2005	2005	2005	2001	2002	2003	2004	2005
GALYUM (Ga)	Çin	Birmcil		63	160	2 300 (Sfalerit) 1 000 000 (Boksit)					
	Almanya										
	Japonya										
	Fransa	Refine		91	140		640 \$/kg	530 \$/kg	411 \$/kg	494 \$/kg	512 \$/kg
	Almanya										
	Japonya										
	Almanya	Dönüştürme			68						
	Japonya										
	UK										
GERMANYUM (Ge)	USA	Refine	4,4	4,5	450	500	890 \$/kg	620 \$/kg	380 \$/kg	600 \$/kg	610 \$/kg
	TOPLAM		87	90							
SELENYUM (Se)	Belçika	Refine	200	200			3,8 \$/pound	4,27 \$/pound	5,68 \$/pound	24,86 \$/pound	52 \$/pound
	Kanada		250	250	6 000	10 000					
	Şili		40	84	16 000	37 000					
	Japonya		600	650							
	TOPLAM		1 330	1 350	82 000	170 000					
GÜMÜŞ (Ag)	USA	Birmcil	1 250	1 300	25 000	80 000	4,39 \$/troy ounce	4,62 \$/troy ounce	4,91 \$/troy ounce	6,69 \$/troy ounce	7,15 \$/troy ounce
	Çin		2 450	2 800	26 000	120 000					
	Meksika		2 700	2 700	37 000	40 000					
	Peru		3 060	3 060	36 000	37 000					
	Polonya		1 250	1 300	51 000	140 000					
	TOPLAM		19 700	20 300	270 000	570 000					
KADMIYUM (Cd)	USA	Refine	550	550	90 000	270 000	0,5 \$/kg	0,64 \$/kg	1,31 \$/kg	1,2 \$/kg	3,31 \$/kg
	Avustralya		350	460	110 000	300 000					
	Çin		2 800	3 000	90 000	380 000					
	Japonya		2 233	2 400	10 000	15 000					
	Kore		2 100	2 200							
	Meksika		1 600	1 600	35 000	40 000					
	TOPLAM		18 800	18 000	600 000	1 800 000					
İNDİYUM (In)	Kanada	Refine	50	50	1 000	2 000	120 \$/kg	97 \$/kg	170 \$/kg	643 \$/kg	810 \$/kg
	Çin		200	250	280	1 300					
	Japonya		70	70	100	150					
	TOPLAM		405	455	2 800	6 000					
TELLÜRYUM (Te)	USA	Refine			3 000	6 000	7 \$/pound	7 \$/pound	10 \$/pound	13 \$/pound	96 \$/pound
	Kanada		40	50	700	1 500					
	Japonya		33	35							
	Peru		20	28	1 600	2 800					
	TOPLAM		93	113	21 000	47 000					
RENYUM (Re)	USA	Birmcil	5,9	6,9	390	4 500	910 \$/kg	1 030 \$/kg	1 090 \$/kg	1 090 \$/kg	1 170 \$/kg
	Şili		18,1	18,9	1 300	2 500					
	Peru		5	5	45	550					
	TOPLAM		36,7	43,2	2 400	10 000					
ALTIN (Au)	USA	Birmcil	258	250	2 700	3 700	272 \$/ounce	311 \$/ounce	365 \$/ounce	411 \$/ounce	440 \$/ounce
	Avustralya		259	254	5 000	6 000					
	Çin		215	225	1 200	4 100					
	Peru		173	175	3 500	4 100					
	Güney Afrika		341	300	6 000	36 000					
	TOPLAM		2 430	2 450	42 000	90 000					
TALYUM (Tl)	USA	Birmcil	12	10	32	120	1 295 \$/kg	1 250 \$/kg	1 300 \$/kg	1 600 \$/kg	1 900 \$/kg
	TOPLAM				380	650					

5.2. Kıymetli İz Metallerin Kullanım Alanları

Bu başlık altında verilen bilgiler internetteki çeşitli adreslerden derlenmiştir. Bunlardan en sık başvuruluları www.tsumebfineminerals.com, www.fabre-minerals.com ve www.rareminerals.com adresleridir.

Bu çalışma sırasında incelenen kıymetli iz metallerin kullanım alanları aşağıda başlıklar altında kısaca verilmiştir.

--- **Galyum (Ga):** Cama ve porselene ıslak bir görünüm verir. Camın üzerine sürüldüğünde camı oldukça parlak bir aynaya dönüştürür. Yarı iletkenlerin güçlendirilmesinde ve transistör gibi cihazların üretiminde kullanılır. Galliyumarsenit elektriği doğrudan ışığa çevirebilir. Güneş nötronlarının tespitinde kullanılır. Yüksek sıcaklık termometresidir (Ga oda sıcaklığında sıvıdır.). Kuartz termometrelerin, lazer diyotlarının yapımında ve tümör tespitinde kullanılır.

--- **Germanyum (Ge):** Arsenik, galliyum ya da diğer elementler ile takviye edilmiş hali bir transistör element oluşturur ve elektronik uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Yarı iletken olarak oldukça geniş kullanım alanı bulur. Alaşımda ve floresan lambalarındaki fosforesan bileşiklerinde kullanılır. Katalizör olarak kullanılır. Germanyum ve germanyumoksit kızılötesi ışığa karşı şeffaftır. Bu nedenle kızılötesi spektroskoplar gibi muhtelif optik aletlerde ve hassas kızılötesi detektörlerinde kullanılırlar. Germanyum oksitlerinin optik özellikleri nedeniyle (yüksek kırılma indisi ve ışınları dağıtma) geniş açılı kamera merceklerinde, projektörlerde ve mikroskop objektiflerinde de tercih edilen bir bileşendir. Organogermanyum kimya alanı hızla önem kazanmaktadır. Bazı germanyum bileşiklerinin memelilerde düşük toksik özellikler göstermeleri ama belirli bakteri türlerine karşı göze çarpan özgül etkinlikleri olması nedeniyle, kimyasal tedavi yöntemlerinde kullanılmaktadırlar. Bu da onları kemoterapatik ajanlar olarak kullanışlı kılar. Gama radyasyon dedektörü olarak kullanılır.

--- **Selenyum (Se):** Hem ışık direkt elektriğe dönüştürülürken fotovolt aktivite, hem de aydınlatmanın yükselmesiyle elektriksel direnç düşerken fotoiletken aktivite gösterdiğinden fotoğrafik kullanım için fotosellerin ve ışıkölçerlerin üretiminde önemlidir. Güneş pillerinde; alternatif akımı (a.c.) doğru akıma (d.c.)

dönüştürebildiğinden yaygın şekilde rektifierlerde (dalgalı elektrik akımını düz akıma çevirici); P-tipi yarı iletken katı hali elektronikte ve katı haldeki uygulamalarda; fotoiletken özelliği nedeniyle fotokopi makinelerinde; camı renklendirmek için, özellikle yakut renkli cam ve mine yapımında; fotoğrafik tonerlerin, fotoelektrik gözelerin, televizyon kameralarının yapımında ve güneş gözelerinde kullanılır. Yarıiletken ve paslanmaz çelik yapımında katkı maddesi olarak kullanımı vardır.

--- **Gümüş (Ag):** En geniş kullanım alanı kuyumculuk ve gümüş işçiliğindedir. Fotoğrafçılıkta çok geniş bir kullanıma sahiptir. Dişçilikte kullanılan alaşımların yapısında ve lehim alaşımlarında; elektrik bağlantılarında, yüksek kapasiteli Ag-Zn ve Ag-Cd pillerinde kullanılır. Cam ya da metallerin üzeri gümüş boyayla kaplanarak, ayna üretilir. Gümüş iyodit, bulutlara yağmur yağdırmak amacıyla; dünyada birçok ülke, madeni paraların yapımında kullanılır.

--- **Kadmiyum (Cd):** Kullanımındaki en önemli payı %60 ile elektroliz yoluyla kaplama alır. Lehim içeren bazı özel alaşımların ve düşük sürtünme katsayısı ile iyi yorulma direncine sahip alaşımların bileşeni olan bir metaldir. Yani en düşük erime noktasına sahip alaşımların bir bileşenidir. Ni-Cd pillerinin bileşenidir. Nötron yutucu özelliği nedeniyle nükleer reaktörlerde kontrol çubuklarında ve zırhlamada, siyah-beyaz televizyon tüplerindeki fosforlar ve renkli televizyon tüplerindeki mavi-yeşil fosforlarda kullanılır. Bazı yarıiletkenler kadmiyum içerirler. Kadmiyum sülfid (CdS) sarı pigment olarak kullanılır. Bazı bileşikler PVC maddeye dayanıklılık kazandırır. E.M.F. gözeleri ve lehim yapımında kullanılır. Kadmiyum ve bileşiklerinin çözeltileri zehirlidir.

--- **İndiyum (In):** Nükleer santrallerde tepkime zicirlerinin düzenleyicisi olarak ve güneş gözelerinin yapımında kullanılır. Kan ile akciğer araştırmalarında kullanılmaktadır. Yatak alaşımların, damıtıcıların, germanyum transistörlerin, rektifierlerin, termistörlerin ve fotoileticilerin yapımında kullanılır. Metallerin (plaka kaplama) ve camın üzeri (buharlaştırılarak) İndiyum ile kaplandığında, atmosferik aşınmaya karşı gümüş ile yapılanlardan daha dayanıklı ve en az bu aynalar kadar iyi olan aynalar elde edilir. Fotosellerde; düşük sıcaklıklarda eriyebilen alaşımların yapımında kullanılır. Örneğin, %76 oranında galyum, %24 oranında da indiyum içeren alaşım, oda sıcaklığında sıvıdır. Bu alaşım lehimlerde kullanılır.

--- **Tellüryum (Te):** Seramik sanayinde; metal ürünlerin üretiminde; cam ürünlerin hafif boyanmasında; bateri zillerinde ve pil kaplama koruyucularında; elektrik dirençlerinde, termoelektrik aletlerde ve yarı iletkenlerde kullanılır. Dökme demir, bakır ve paslanmaz çelik ile alaşım oluşturur. Bakırın ve paslanmaz çeliğin işlenebilirliğini artırır; demire katıldığında dayanıklılığını artırarak, sülfürik asit nedenli aşınmanın etkisini azaltır. Korozyonu önleyici katkı maddesidir.

--- **Renyum (Re):** Aşınmaya ve bozunmaya karşı dirençli olması nedeniyle, elektrik kontaklarında ve yüksek kaliteli bilimsel gereçlerin kaplamalarında; uçak bujilerinde, telefon rölelerinde, dolmakalem uçlarında ve far yansıtıcılarında da kullanılır. Tungsten ve molibdenin esas alaşımlarında katkı maddesi olarak kullanıldığında önemli özellikler katar. Renyum-molibden alaşımları -263°C (10^0K)'de süperiletkendir. Kütle spektrograflarında ve iyon ölçüm aletlerinde bulunan ince tellerin (flamentlerin) yapımında; Re-W ısı çiftleri 2200°C 'ye kadar olan sıcaklıkları ölçmede; reniyum telleri fotoğrafçılıkta kullanılan flaş ampullerinin yapımında; reniyum katalistleri ayrıcalıklı olarak nitrojen, sülfür ve fosforlardan zehirlenmelere direnen yapıdadır. Saf kimyasalların hidrojenasyonu, hidrokrakingi (hidro-ayırımı) ve iyileştirilmesi ile alkenlerin disproporsinasyonu (orantısızlığı) için kullanılır.

--- **Altın (Au):** Madeni para yapımında, kuyumculukta, dekorasyonda, diş hekimliğinde, durağan olması ve kızılötesi ışığı iyi yansıtması nedeniyle uzay uydularında kaplama maddesi olarak, kolay işlenebilirliği nedeniyle elektronik endüstrisinde kullanımı vardır. Kloraurik asit (HAuCl_4) fotoğrafta gümüş rengi imajların rengini kimyasal banyo ile değiştirmekte kullanılır. Disodyum orothiomalat arterit (mafsal iltihabı) hastalığında tedavi edici olarak uygulanır. ^{198}Au kanser ve benzeri hastalıkların tedavisinde kullanılır.

--- **Talyum (Tl):** Kükürt, sülfür, selenyum ya da arsenik ile oluşturduğu bileşikler, $125-150^{\circ}\text{C}$ arası sıcaklıklarda sıvı hale geçen camların yapımında kullanılır. Bu camlar, oda sıcaklığında normal cama benzer özellikler gösterir. Belirli deri enfeksiyonlarının tedavisinde kullanılır. Ancak, tedavi açısından olumlu özelliği ve zehirli etkisi arasında çok dar bir aralık olması nedeniyle, bu kullanımı oldukça sınırlıdır. Talyumoksit, kırılma indisi yüksek camların üretiminde; kokusu ve tadı olmayan talyumsülfat, rodentisit (kemirgen öldürücü) ve karınca öldürücü olarak; kızılötesi ışığa maruz kaldığında elektrik iletkenliğinin değişmesi nedeniyle

fotosellerde; talliyum bromid-iyodit kristalleri de kızılötesi optik malzemelerin yapımında kullanılır. Civa-talliyum alaşımları (% 8.5 talliyum içeren ötektik bir oluşum) -60°C’de donar (civanın donma noktasının yaklaşık 20°C).

5.3. Kıymetli İz Metallerin Üretim Yöntemleri ve Teknolojileri

Bu başlık altındaki bilgilerin büyük bir kısmı Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (Özel İhtisas Komisyonu - 2001) Raporları, U.S. Geological Survey (2006), Türkiye İhracatçılar Derneği yayın Organı (2003) ve İhracat Dünyası Raporu (2006) isimli kaynaklardan derlenmiştir.

--- **Galyum (Ga):** Sülfürlü çinko cevherlerinin izabesi sırasında Ga ve Ge distilasyon artıklarında zenginleşmektedir. Artıklar, Waelz fırınında yüksek sıcaklıkta kavurma işlemine tabi tutulur, Ga, Ge ve geri kalan Zn buhar fazında yoğunlaşan tozda kalır. Tozun kimyasal işlemi sonucu Zn içeren çözelti izabeye geri gönderilir ve çöken kek HCl de çözündürülür. GeCl_4 distile edilir ve kimyasal olarak kombine olan galyum triklorür ve hidrojen klorür kısmı (GaCl_3 HCl) çözeltide kalır ve kazanılır.

--- **Germanyum (Ge):** En çok tercih edilen mineralleri germanit ve renierit olup bunlar kovelin, Galen veya arsenikli cevherler ile birlikte bulunurlar. Bu cevherlerin flotasyonu sırasında germanit ve renierit, Cu-Pb konsantresine geçer. Bunlardan ferromanyetik olan renierit manyetik ayırma işlemi ile zenginleştirilebilir. Üretim yöntemlerinin tümünde en önemli problemi arseniğin ayrıştırılması oluşturmaktadır. Cevher hazırlama işlemine tabi tutulmuş Ge cevherleri için ya asidik veya bazik çözündürme yada pirometalurjik yöntemler uygulanır.

Yan ürün olarak germanyum, çinko ve bakır izabehanelerinde ya filtre artıklarından ya da uçucu tozlardan kazanılır. Pb-Zn uçucu tozları çözündürülerek, Ge bir iyon değiştirici yardımıyla tutulur. Bu kompleks bileşikten yıkama işlemi yapıldıktan sonra Cl_2 gazı ile GeCl_4 distile edilir.

--- **Selenyum (Se) - Tellüryum (Te):** Tellüryumun önemli konsantrasyonlarda bulunduğu altın yataklarından kazanılması, günümüzde uygulanmamaktadır. Çünkü, altın tellüritler, kullanılan siyanür çözeltilerinden ve amalgamasyon metotlarından hiç etkilenmezler. Selenyum ve tellüryum esas olarak, bakır elektrolizi sırasında elde

edilen anot çamurundan üretilmektedir. Elektroliz yapılan blister bakırlar % 0.1'e kadar tellüryum ve selenyum içerirler. Anot çamurunda tellüryum içeriği % 3'ün üzerine çıkmaktadır.

--- **Altın (Au) ve Gümüş (Ag):** Altın madenciliğinde teknoloji seçimi, cevher içindeki altın taneciklerinin büyüklüğüne ve cevher kayasında bulunan diğer minerallerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Cevherdeki altın taneciklerinin mikroskobik boyutta dağılmış olması durumunda kullanılan yöntem, siyanür yardımı ile çözeltiye alma (siyanür liçi) teknolojisi günümüzde dünya altın üretiminde yaklaşık yüzde 85'ler oranında kullanılmaktadır. Kütahya-Gümüşköy işletmesinde 1987 yılından beri uygulanan üretim teknolojisi de, Ovacık'taki tesis gibi altın madenlerindeki teknoloji ile temelde benzerlik göstermektedir. Yöntem; üretilen cevherin kırılıp öğütülmesinden sonra, karıştırmalı liç yöntemiyle cevherdeki altın ve gümüşün siyanür kompleksleri halinde çözündürülmesi ve sulu fazdan kazanılması proseslerini kapsamaktadır. Siyanür çözündürmesi sonucu katı fazdan sıvı faza geçen altın ve gümüşün sıvı fazdan geri kazanımı aktif karbona yüzey soğurma (adsorption) ve aktif karbondan geri sıyırma (desorption) işlemleriyle ön zenginleştirme ve sonrasında elektroliz (electrowinning) ve ergitme yoluyla gerçekleştirilir. Ergitme işlemi sonucunda, altın ve gümüş ile çok daha az miktarlardaki diğer nadir metallerin homojen karışımından oluşan "dore" külçe üretilir. Dore külçenin elektrolizi yolu ile de rafinasyonu gerçekleştirilir. Ovacık Altın Madeni'nde sodyum siyanür çözündürmesinden sonra elde edilen atıklar önce INCO SO₂/Hava kimyasal bozundurma biriminde siyanürler bozundurulur, ardından, ferrik sülfat yöntemiyle, cevherde az miktarlarda bulunan ağır metaller kararlı hale getirilerek, sulu ortamlarda çözünmeyecek bileşikler biçiminde, atık havuzunda depolanır. Atık barajından dışarıya deşarj yapılmamakta, barajdaki su tesise geri döndürülerek kullanılmaktadır. Dünyada, 24 ülkede 800 civarında siyanür çözündürmesi ile altın ve gümüş üreten maden bulunmakta ve siyanür yöntemi 130 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır.

--- **Kadmiyum (Cd):** Dünyada genellikle çinko üretimi sırasında yan ürün olarak ortalama her ton çinko için takriben 3 kg. üretilmektedir. Az miktarda baca tozlarından, cüruf ve diğer proses artıklarından, kullanılmış pillerden de üretilmektedir. Çok az miktarda, kurşun ve bakır izabesinde yan ürün olarak

kadmiyum, elde edilmektedir. Ticari kadmiyum için, min. % 99,95 saflık gerekmektedir. Kadmiyum üretiminde başlıca iki yöntem kullanılmaktadır:

Hidrometalurjik yöntemler genellikle oksit halinde yan ürün olarak elde edilen kadmiyumlu artıkların, içinde bulunan diğer minerallerin yapısına göre kadmiyum çözebilen bir çözücü ile işlem görmesi ve çözeltiye geçen kadmiyumun bir metal olarak çöktürülmesi esasına dayanmaktadır.

Elektroliz yöntemi ise hidrometalurjik yöntemin bir devamı olarak nitelendirilebilir. Hidrometalurjik yöntemle çöktürülme sağlanamadığı takdirde çözeltiden kadmiyumun alınması elektroliz yolu ile gerçekleştirilir.

--- **İndiyum (In):** Çinko ve kurşun üretimi sırasında oluşan curuflardan pirometalurjik olarak ve ayrıca indiyum içeren cevherlerin işlenmesi sırasında oluşan artık ve uçucu küllerin ekstraksiyonu yolu ile indiyum üretimi yapılır. Ekstraksiyon sonrası matrikse uygun ve ardışık olarak uygulanan çöktürme ve çözme işlemleri ile indiyumca zenginleşen çözeltilerden alüminyum levhalar üzerine çöktürülen süngerimsi indiyumun peletleştirilmesi sureti ile % 98 - 99'luk ham indiyum metali elde edilir. Ham indiyumun rafinasyonu kimyasal, elektrokimyasal, zon ergitmesi veya destilasyon yöntemleri ile gerçekleştirilebilir.

--- **Renyum (Re):** Molibden konsantrelerinin yaklaşık 500°C'de (bünyedeki kükürdün uzaklaştırılması amacıyla) kavrulması esnasında renyum, heptoksit (Re_2O_7) şeklinde gaz haline geçer. Duman ve sis halinde bulunan ve fiziksel yöntemlerle zenginleştirilemeyen Re_2O_7 , kavurma gazlarının su ile yıkanması sonucu çözeltiye geçer. Çözeltinin HClO_4 ve NH_3 ile reaksiyona sokulması sonucu bütün renyum NH_4ReO olarak çözeltiye geçer ve Fe ve Al gibi empüritelerden arındırılmış olur. Aynı zamanda Mo içeren bu çözeltiden renyumun selektif olarak kazanılması, iyon değiştiricilerle veya solvent ekstraksiyon yöntemiyle sağlanır. Renyumun molibdenden ayrılması, kavurma gazlarının içindeki tozun % 98'den fazlasını kazanabilen kızgın elektrostatik filtrelerde büyük ölçüde çözümlenmiştir. Bütün bu işlemler sonunda renyum, NH_4ReO kristalleri halinde elde edilmektedir. NH_4ReO 'dan yüksek saflıkta Re metal tozunun (% 99.99) eldesi iki basamaklı olarak (500 ve 1000°C'de) hidrojenle redüksiyon ile mümkündür.

--- **Talyum (Tl):** Çinko gibi temel metallerin üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilir ve çinko üretimi sırasında kadmiyum ile birlikte hareket eder. *Destilasyon yöntemiyle* kadmiyum ile talyum birbirinden ayrılır. Daha sonraki aşamada, *elektroliz yöntemiyle* metalik talyum elde edilir. Fakat, talyum piyasaya genellikle talyum sülfat halinde arz edilir.

5.4. Kıymetli İz Metallerin Türkiye'deki Durumları

Bu başlık altındaki bilgilerin büyük bir kısmı Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (Özel İhtisas Komisyonu - 2001) Raporları, Türkiye İhracatçılar Derneği yayın Organı (2003) ve İhracat Dünyası Raporu (2006) isimli kaynaklardan derlenmiştir.

--- **Galyum (Ga):** Eti Holding A.Ş. tarafından yaptırılan analizlerde Seydişehir boksitlerinin Ga oranı 60 ppm olarak tesbit edilmiştir. Bu oran baz alınarak boksite bağlı işletilebilir galyum rezervinin 2.400 ton olduğu hesaplanmıştır. Boksitlere bağlı jeolojik rezervlerin ise 6.000 ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. Boksitten Ga kazanımını etkileyen iki önemli faktör; Bayer prosesinde çözeltiye geçen Ga ve alümina üretim kapasitesidir. Kuvvetli çözeltide 220 - 250 ppm Ga, zayıf çözeltide 150 - 170 ppm Ga ve alüminada ise 70 ppm Ga tesbit edilmiştir. Bu konsantrasyonlar galyum üretimi için yeterli olmaktadır ancak, Seydişehir'in bugünkü alümina üretimi, Ga üretiminin ekonomik olabilmesi için gerekli kapasitenin çok altındadır. Nitekim, yapılan bu deneysel çalışmada Seydişehir'de galyumun yan ürün olarak üretilebilme olanakları araştırılmış fakat verimli sonuçlar elde edilememiştir.

--- **Germanyum (Ge):** Türkiye'nin Ge rezervleri bilinmemekte ve üretim yapılmamaktadır. Dolayısıyla Ge ihracatı sözkonusu değildir. 1990 yılında Japonya'dan bir ton civarında, metal, alaşım ve diğer formlarda Ge ithal edilmiştir. 1993 yılında Germanyum ithalatımız 2.364 kg olmuştur. Bir dönem ODTÜ tarafından Çinkur A.Ş'nin işletme artıkları üzerinde yapılan bir çalışmada, artıklarda Cu, Zn ve Cd ile birlikte 1.000 ppm kadar Ge olduğu belirlenmiştir. Yapılan liç işlemleri sonucu germanyumun % 90 verimle çözeltiye alınabileceği görülmüştür. Çözeltiden kazanma yöntemleri olarak tanin ile çöktürme ve solvent ekstraksiyon denenmiş ve seçimli olarak her iki yöntemle de Ge kazanılabileceği gösterilmiştir.

--- **Selenyum (Se):** Selenyum, selenid olarak Pirit, bakır, kurşun, altın ve gümüş cevherlerinde bulunmasına rağmen ana kaynak bakır rafinasyonunda yan ürün olarak elde edilen anod çamurlarıdır. Anod çamurlarında Se oranı hammaddeye bağlı olarak %10'a kadar çıkabilmektedir. Türkiye'de anod çamurlarında Se oranı %2-4 mertbesinde seyretmektedir. Ülkemizde toplam kurulu rafinasyon kapasitesi 190.000 t/y olmakla birlikte özellikle ham bakır teminindeki güçlükler nedeniyle bu kapasite tam kullanılmamakta ve ancak 120.000 t/y mertbesinde bakır katod üretimi yapılabilmektedir. Ülkemizdeki toplam anod çamuru miktarının yılda 1.000 ton civarında olduğu kabul edilebilir. Yerli bakır cevherleri 8,75-17,5 ton Se potansiyeline sahiptir.

--- **Gümüş (Ag):** Türkiye, birincil kaynaklardan gümüş üretimine, Etibank vasıtasıyla 1987 Yılı sonlarında 100.Yıl Gümüş Madeni işletmeleri Müessesesi Müdürlüğü'nün, Kütahya/Gümüşköy mevkiindeki tesislerinin fiilen faaliyete geçmesiyle başlamıştır. Maden sahasındaki rezervin tenörü 180 ppm miktarı 25 milyon ton civarında belirtilmektedir. Bu miktar rezerv yaklaşık 4.500 ton metalik gümüşe eşdeğerdir. Yıllık ortalama gümüş üretimi 90 ton civarındadır. Granüle olarak üretilen rafine gümüşün tamamı iç pazarda değerlendiriliyor.

Kütahya Gümüşköy Gümüş tesisleri, ülkemizin direkt cevherden yola çıkarak Gümüş üreten ilk ve tek tesisidir. Tesisler, yılda 1 milyon ton tüvanan cevher işleyerek (180 ppm gümüş tenörlü) 122,4 t/y, % 0,999 kalitede gümüş üretecek şekilde planlanmıştır. Etibank tarafından yapılan bir takım düzenlemelerle tesis 70-80 t/y kapasiteye çıkartılmıştır. Eti Gümüş A.Ş. Genel Müdürlüğü'nün 1998 yılından itibaren uygulamış olduğu iyileştirme ve kapasite artırımı çalışmaları yılda 90-100 ton granüle gümüş üretimine ulaşılmıştır.

Ovacık altın madeni 2001 yılı Mayıs ayından itibaren deneme üretimine başlamış ve 2001 yılı sonuna kadar altın üretiminin yanı sıra 7,23 ton gümüş üretimi gerçekleştirmiştir. Türkiye, bugün 100.000 ton üzerindeki gümüş potansiyeli ile dünyanın sayılı gümüş üreticileri arasında yer alabilecek bir kapasiteye sahip bulunuyor.

--- **Kadmiyum (Cd):** Dünyada genellikle çinko üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilen kadmiyum metal ülkemizde de aynı metalurjik yöntemlerle üretilmektedir.

Çinkur A.Ş. bir dönem kadmiyum metalinin tek üreticisi olup, bugün faaliyette değildir. Hurdadan Cd metal üreten işletmeler yok denecek kadar az olup, küçük atölyeler şeklindedir.

--- **İndiyum (In):** Ülkemizde indiyumun bulunma olasılığı olan yataklar çinko ve bakır cevherleri yataklarıdır. İTÜ Maden Fakültesi, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı'nda DPT tarafından desteklenen "İleri Teknolojilerde Hammadde Olarak Kullanılan Ağır Metallerin Zenginleştirilmesinde Kullanılan Yeni Teknolojilerin Geliştirilmesi" projesi kapsamında Küre cevher ve konsantreleri, Murgul konsantre ve baca tozlarında nadir metal analizleri yapılmıştır (Tablo 5.4). Hazine ve Dış Ticaret Müsteşarlığının 1989-1993 ithalat ve ihracat listelerinde indiyuma rastlanmamıştır.

Tablo 5.4: Türkiye'de mevcut bazı cevher, konsantre ve baca tozlarının In içerikleri

	Ürünler	In (ppm)
Küre Cevherleri	Masif Zengin Cevheri	11
	Bakırlı Pirit Cevheri	5,6
	Dissemine Cevheri	3,6
	Bakibaba Cevheri	7,4
	Masif Pirit Cevheri	3,2
Murgul Baca Tozları	Küre Bakır Konsantresi	10,2
	Murgul Bakır Konsantresi	18
	Murgul Pirit Konsantresi	3,1
	B1	76
	B2	43
	B3	83

--- **Tellüryum (Te):** Tellür bakır rafinasyonunda yan ürün olarak çıkan anod çamurlarında diğer metallerin yanında selen ile birlikte bulunur.

Ülkemizde anod çamurlarında %1-2 mertebesinde Te bulunmaktadır, ancak bu oran esas itibari ile kullanılan blister bakırın kimyasal bileşimi ile doğrudan ilgili olup önemli farklılıklar gösterebilmektedir. İthal edilen blister bakır değerlendirme dışı bırakıldığında yaklaşık 35.000 t/y'lık yerli blister üretimine göre 3,5-7,0 ton Te yerli bakır cevherlerinden kaynaklanmaktadır. Anot çamurları yurtiçinde değerlendirilemediğinden bu elementler değerlendirmeyi gerçekleştiren yabancı izabe tesislerinde kalmaktadır. Ülkemizdeki bakır rafinasyon sektöründe yıllık 1000 ton kadar anod çamuru elde edildiği tahminine göre 10 ila 20 t/y Te milli ekonomiye kazandırılmamaktadır.

Bakır anot çamurları henüz ülkemizde değerlendirilememektedir, oysa günümüz teknolojisinde anod çamurundaki Cu, Ni, Se, Te, Au, Ag, Pt ve Pd ekonomik olarak elde edilebilmektedir. Genelde yurtdışına işlenmek üzere ihraç edilen anod çamurlarından döviz kazancı sağlanmakla birlikte içindeki elementler de o ülkeye transfer edilmiş olmaktadır.

--- **Renyum (Re):** Türkiye'de renyum üretimi yoktur. Fakat, bu alanda yapılan araştırmalar mevcuttur. İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı'nda DPT tarafından desteklenen "İleri Teknolojilerde Hammadde Olarak Kullanılan Ağır Metallerin Zenginleştirilmesinde Kullanılan Yeni Teknolojilerin Geliştirilmesi" projesi kapsamında Küre cevher ve konsantreleri, Murgul konsantre ve baca tozlarında nadir metal analizleri yapılmıştır (Tablo 5.5).

Tablo 5.5: Türkiye'de mevcut bazı cevher, konsantre ve baca tozlarının Re içerikleri

	Ürünler	Re (ppb)
Küre Cevherleri	Masif Zengin Cevher	342
	Bakırlı Pirit Cevheri	70
	Dissemine Cevher	91
	Bakibaba Cevheri	190
	Masif Pirit Cevheri	144
	Küre Bakır Konsantresi	100
	Murgul Bakır Konsantresi	<100
	Murgul Pirit Konsantresi	<100
	Murgul Baca Tozları	<100

--- **Altın (Au):** Mevcut yazılı ve arkeolojik bulgulara göre, Anadolu'da M.Ö. 3000 yılından itibaren altın üretimi yapılmıştır. Ancak bugün Türkiye'de yalnız 1987'den beri üretim yapan bir gümüş madeni ve 2001 yılından itibaren üretime başlayan Ovacık (Bergama) altın madeni bulunmaktadır. Buna karşılık, Türkiye dünyanın en büyük altın işleme ve tüketim pazarlarından biri olup; yıllık 200 ton civarında resmi altın ithalatı yapmaktadır.

Son yıllarda dünya altın madenciliğindeki gelişmeler ışığında, ülkemiz gerek jeolojik çeşitlilik ve gerekse de 1980'li yıllardaki yatırım ortamının elverişliliği bakımından yabancı yatırımcıların ilgisini çekmeye başlamıştır. Böylece, Cumhuriyet tarihimizde ilk defa olarak, altın madenciliği için bir başlangıç yapma imkânı doğmuştur. Ovacık Altın Madeni'nin deneme üretimine başlaması üzerine, tanınmış altın maden

şirketleri Türkiye’de yeniden aramalara başladılar. 2002 yılı itibariyle ülkemizde altın madenciliği faaliyetlerini sürdürmekte olan 9 yabancı sermayeli şirket bulunmaktadır.

1985 yılındaki Maden Kanunu değişikliğinden sonra Türkiye'ye gelen altın üreticisi yabancı şirketler, çok sayıda ekonomik altın yatağının işletilebilirliğine ilişkin projeler geliştirmişlerdir. 200'ün üzerinde maden sahasında yapılan aramalar ve dünyadaki altın oluşum modellerine dayanılarak hesaplanan Türkiye altın potansiyeli 6500 ton olarak tahmin edilmektedir (Prof.Dr. A. Erler, Türkiye Altın Potansiyeli ve Maden Kaynaklarını Kestirme Yöntemleri, 1997). Bu potansiyel içinde altın yatağı sayısı 267 olarak öngörülmüş; bunların 13 tanesinin 150 tonun üzerinde, 40 tanesinin 30 ile 150 ton arasında ve 214 tanesinin ise 30 tondan az altın içerebileceği belirtilmektedir.

Ovacık altın madeni 2001 yılı Mayıs ayından itibaren deneme üretimine başlamış ve 2001 yılı sonuna kadar 5.73 ton altın üretimi gerçekleştirmiştir. Türkiye, bugün ekonomik işletilebilir 10 dolayında proje ile Avrupa’nın sayılı altın üreticileri arasında yer alabilecek bir kapasiteye sahip bulunmaktadır.

--- *Talyum (Tl)*: Türkiye’nin bu alanda herhangi bir faaliyeti yoktur.

5.5. Kıymetli İz Metallerin Ortama Geliş ve Sülfürlü Cevher Minerallerinin Kristal Yapılarına Dahil Oluş Şekilleri

Araştırmış olduğumuz kıymetli iz metaller 3 şekilde sülfürlü cevher minerallerinin kristal yapılarına girmiş olabilirler: Diadohik, izomorfik olarak ve kristal ağı boşluklarına girerek.

Aşağıdaki başlıklar altında bu üç konunun yanı sıra bağ tipleri ve diferansiyasyon konularına da değinilecektir. Tüm bu bilgiler jeoloji konulu çeşitli ders kitaplarından derlenmişlerdir. En sık başvurulmuş kaynaklar ise Gedikoğlu, 2006; Caner, 1968 ve Krauskopf, 1985’tir

5.5.1. Kıymetli İz Metallerin Diadohik Olarak Yerleşimi

Diadohi bazı atom veya iyonların kristal kafesinde mineralin esas bileşimini oluşturan atom veya iyonların yerini alması olayıdır. Bu yer alma olayı bütün minerallerde mutlaka az veya çok mevcuttur. Örneğin bütün sfalerit minerallerinde Fe ve Cd iz elementlerine değişik oranlarda daima rastlanır.

Diadohinin yoğun olarak gerçekleşmesi için elverişli koşullar şunlardır ;

- ✓ Minerallerin olduğu ortamda uygun iz element konsantrasyonunun yüksek olması
- ✓ Atom veya iyon çaplarının uygunluğu
- ✓ Kristal bağlarının uygunluğu (iyonik, kovalant veya metalik bağa uygunluk)
- ✓ Elektrostatik nötrülüğün sağlanmış olması
- ✓ İyonik potansiyellerin benzerliği
- ✓ Elektronegativite bakımından uygunluk
- ✓ Kristalleşme sırasında yüksek ısı
- ✓ Kristalleşme sırasında yüksek basınç

Benzer çaplı iyonlardan elektronegativitesi düşük olan iyon diadoh olarak daha kolay yerleşir. Benzer elektronegativite değerli ve eş değerlikli (valanslı) iyonlardan iyon çapı daha küçük olan iyon diadoh olarak daha kolay yerleşir.

Son iki koşuldan da anlaşılacağı gibi magmatik olaylar, metamorfizma ve tortullaşma olaylarına göre, diadohinin daha iyi gerçekleşebileceği ortamları hazırlamaktadır. Bu nedene bağlı olarak magmatik kökenli minerallerin iz element içerikleri genellikle çok daha fazladır.

Diadohi genellikle katyon halinde bulunabilen ana ve iz elementler arasında gerçekleşir. Anyonların yer aldığı diadohi olayları daha enderdir.

Diadohi saklama, yakalama ve kabul etme şeklinde gerçekleşebilmektedir.

- **Saklama (Camouflage):** Saklama şeklinde gerçekleşen diadohi olayında yukarıda verdiğimiz uygun koşullar geçerlidir. Ana ve iz elementler benzer iyon çaplı ve eş değerliliktedir.
- **Yakalama (Capturing) :** Daha büyük değerlilikli ve daha küçük çaplı katyonlar, daha küçük değerlilikli ve daha büyük çaplı katyonlar tarafından yakalanır ve bunların yerini alır.
- **Kabul Eme (Admission) :** Küçük değerlilikli ve büyük iyon çaplı iz element büyük değerlilikli ve küçük iyon çaplı ana elementin yerini alır.

Yakalama ve kabul etme türleri bize diadohi olaylarının yukarıda koşullar olmadan da gerçekleşebileceğini göstermektedir.

5.5.2. Kıymetli İz Metallerin İzomorfik Yerleşimi

İzomorfizm iyonların her oranda yer değiştirebildiği özel bir diadohi olayıdır. Belli bir iyonun her oranda diğer bir iyonun yerini alması ile izomorf seriler (solid solution = katı çözelti) oluşur. İzomorf seriler forsterit - fayalit örneğinde olduğu gibi *kesintisiz* gerçekleşebilir veya kalsit - manyezit örneğinde olduğu gibi *kesintili* gerçekleşebilir.

İzomorfik yerleşime uygun koşullar diadohik yerleşimdekilerin aynısıdır.

Konumuz olan sülfürlü minerallerin olduğu ortamlarda incelediğimiz iz halindeki kıymetli iz metallerin oranı daima Zn, Pb veya Cu' a göre çok az olduğundan tam bir izomorfik yerleşimin saptanması olanaksızdır.

5.5.3. Kristal Ağı Boşluklarına Yerleşim

Bir kristalin ağ yapısında atomları, iyonları ve iyonik gruplar arasında boşluklar olabilir. Kristalografik yapıya dahil olacak kıymetli bir metal aynı zamanda kristallerin bu uygun boşluklarına yerleşebilmektedir. Bu tip bir yer almada boşluk çapının, o boşluğa gelecek kıymetli iz metalin çapından büyük olması gerekmektedir.

Kristal ağı normal boşlukları olabildiği gibi bir de kristal ağının anormal boşlukları mevcuttur. Çünkü bazı nadir durumlarda kristali meydana getiren şebekenin

elementleri ve aralarındaki uzaklıklar deformasyonlardan ötürü beklenenin aksine düzenlerini koruyamayabilirler. Bu durumda boşluk çapları büyüyebilir veya küçülebilir. Bu çapların hesaplanması çok zor olduğundan konumuzu işlerken bu nadir olayı ihmal edeceğiz. Ancak, bilinmelidir ki kıymetli bir metalin düzenli gelişmemiş boşlukta yer almış olması da mümkündür.

Sfalerit, galen, kalkopirit ve pirit minerallerinin boşluk çapları Tablo 5.6'da ayrıntıları ile verilmektedir. Bu tablodaki değerler kristal sistemlerinin Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilen kristal eksen boyutlarından (a, b ve c uzunluklarından) geometrik yollarla minerali oluşturan elementler arası bağ uzunluklarının hesaplanması ve bu değerlerden ilgili elementlerin atom yarıçaplarının çıkarılması sureti ile elde edilmiştir.

Tablo 5.6: Galen, Sfalerit, Kalkopirit ve Pirit minerallerinin yapısal boşluk çapları

<i>Mineralin Adı</i>	<i>Simgesi</i>	<i>Bağları</i>	<i>Boşluk Çapı (Å)</i>
GALEN	PbS	Pb----S	1,4730
SFALERİT	ZnS	Zn----S	2,5204
PİRİT	FeS ₂	Fe----S	1,2975
KALKOPİRİT	CuFeS ₂	Cu----S	1,2900
		Fe----S	1,2150

5.5.4. Kristal Bağları

Galen, sfalerit, pirit ve kalkopirit minerallerinde ana elementleri birbirine bağlayan bağların ve kristal yapısına girebilecek kıymetli iz metal elementleri ile oluşabilecek yeni bağların tipleri çoğunlukla kovalent ve daha nadir olarak da iyoniktir. Bunlar bağların kararlılığını göstermektedirler.

- Kovalent bağlı yapılarda elektronegatiflik,
- İyonik bağlı yapılarda ise elektron sayısı önem kazanmaktadır.

Pauling (1960) kurallarına bakarak elektronegatiflikleri birbirine yakın olan atomların meydana getirdiği bağların saf kovalent, farklı elektronegativite değerleri olan atomların ise iyonik oldukları söylenebilmektedir.

Bağ tipini etkileyen geometrik unsurlar ise aşağıda verilmektedir:

- Herhangi bir katyonun iki ayrı anyon ile oluşturabileceği 2 farklı bileşik karşılaştırıldığında, katyonun büyük olan anyon ile olan bağı daha çok kovalent tipte olacaktır (MgS bağı, MgO bağından daha kovalenttir.).
- Herhangi bir anyonun iki farklı katyon ile oluşturabileceği bileşik karşılaştırıldığında, anyonun küçük olan katyon ile kuracağı bağ daha çok kovalent tipte olacaktır (MgO bağı, BaO bağından daha kovalenttir.).
- Aynı büyüklüğe, farklı yüke sahip iyonlarda, yükü fazla olan iyon daha duraylı kovalent bağ yapar (Ca—O bağı, Na₂O bileşiğindeki Na—O bağından daha duraylıdır.).

5.5.5. Kıymetli İz Metal Elementlerinin Diferansiasyonu

Magmatik ortamlarda kıymetli bazı iz elementlerin derişmesi magmadan erken kristalleşen minerallerin düzenli bir sırada ayrılmasına bağılı olarak gerçekleşir. İz elementlerin bir kısmı erken kristalleşen minerallerin bünyesine girer. Bazı iz elementler ise ana minerallerin dışında kalarak artık sıvı içinde zenginleşir. Bunlara uyumsuz (incompatible) elementler denir.

Artık ergiyikler magma haznesinin içinde soğuyan bir magma modelinde; kristallenen maddelerin arasını dolduran, çatlaklar ve cepler içinde toplanan veya magma haznesini çevreleyen diğer katılaşımış kayaçlara doğru gidebilen ergiyiklerdir.

Artık ergiyikler uçucu elementlerin yanı sıra önemli miktarda NaCl; daha az olarak metal bileşikleri ve eser elementler içermektedir. Az miktarda bulunan bu elementler bazen yerel olarak zenginleşebilmektedirler.

Örneğin; hidrotermal damarlarda Pb, Zn ve Cu'ya; pegmatitik dayklarda da Be, Li, U ve Tl'ye rastlanmaktadır.

Diğer bir önemli diferansiyasyon olayı ise magmada bazı sıvıların karışmazlığına bağılıdır. Örneğin sülfürlü sıvılar silikatlı sıvılara karışmazlar ve daha sonra katılışırlar. Böylece kalkofil elementler ilk başta ayrılıp silikatlardan ayrı olarak sülfür çözeltisi veya sülfür kristalleri oluşturur.

Sülfür ile kolay bileşikler oluşturabilen elementler için kalkofil deyimini kullanılır.

5.5.6. Yer Kabuğundaki Elementlerin Jeokimyasal Sınıflaması

Aşağıdaki sınıflama Goldschmidt (1964)'ten alınmıştır.

--- **Litofil Elementler:** Silikat fazlarında bulunurlar (kabuk ve mantoda). Oksijenli bileşikler halindedirler. → Te, Se, Tl, Ga, Ge, Cu, Zn, Pb, Fe, Mo, S

--- **Siderofil Elementler:** Metalik fazlarda bulunurlar (çekirdekte). Nabit halindedirler. → Au, Fe

--- **Kalkofil Elementler:** Cu gibi sülfür fazlarında bulunurlar (S mineralleri ile). → Ag, Cd, In, Se, Te, Re, Ga, Ge, Cu, Zn, Pb, Mo, S, Fe

5.6. Kıymetli İz Metallerin Sfalerit, Galen, Kalkopirit ve Pirit Minerallerinin Kristal Yapısında Yer Alma Şekilleri

İncelemiş olduğumuz mineraller (sfalerit, galen, kalkopirit, pirit) sülfürlü bileşiklerdir: Sfalerit (= çinkoblend) : Zn S; Galen : PbS; Kalkopirit : CuFeS₂; Pirit : FeS₂

Bu minerallerden ilk üçü sırasıyla Zn, Pb, Cu metallerinin elde edilmesi, pirit ise sülfürik asit yapımı bakımından ekonomik önem taşımaktadır. Ancak bu mineraller ayrıca ekonomik önem taşıyabilecek oranda bazı kıymetli iz metalleri (Ga, Ge, Se, Ag, Cd, In, Te ve Au) de iz element olarak içerebilmektedir (Tablo 5.1).

Biga Yarımadası cevherleşmelerinde molibdenit, antimonit, tetraedrit, pirotin, vb. gibi başka sülfürlü minerallerin de bulunmasına karşılık, bu minerallere nispeten daha az rastlanıldığından, kıymetli iz metal elementlerinin araştırılması çalışma kapsamımızın dışında bırakılmıştır.

Hangi iz elementlerin hangi mineraller içinde bulunabileceği şimdiye kadar yapılmış sayısız mineralojik incelemeler ve buna bağlı olarak yapılmış analizler ile ampirik olarak saptanmış gerçeklerdir.

Kıymetli iz metal elementlerinin kristal yapısına nasıl yerleşebileceklerine ilişkin bir takım kurallar ve olasılıklar Bölüm 5.5'te genel olarak anlatılmıştır. Bu bölümde ise kıymetli iz metallerden hangilerinin pirit, kalkopirit, sfalerit ve galen minerallerinin yapısında ne ölçüde ve ne şekilde yer almış olabileceklerine değinilecektir. Sözü geçen kıymetli iz metaller diadohiklik, izomorfizma, bağ yapıları ve jeokimyasal özellikleri bakımından değerlendirilecektir. Bu değerlendirmelerde Tablo 5.7, Tablo 5.8, Tablo 5.9 ve Tablo 5.10'daki ilgili elementlere ait jeokimyasal özellikler karşılaştırılacaktır. Bu tablolar oluşturulurken www.tsumebfineminerals.com, www.fabre-minerals.com, www.rareminerals.com adreslerinden; Kumbasar ve Aykol, 1993'ten yararlanılmıştır. Aşağıdaki başlıklar altında yapılmış olan yorumlarda Bölüm 5.5'teki bilgiler ve sözü geçen tablolar göz önünde bulundurulmuştur.

Olasılıklardan bahsederken; yer alma, izomorfizma veya boşluk doldurma olayı esnasındaki sıcaklık ve kristalde bulunabilecek anormal boşluklar net olarak hesaplanamadığından ihmal edilecektir. Ancak yüksek sıcaklıkların ve olması gerekenden büyük boşlukların varlığının kıymetli iz metallerin kristal yapısına dahil olmasındaki önemli etkileri göz ardı edilmemelidir.

Unutulmaması gereken bir başka husus ise kristal yapısına bir şekilde dahil olan kıymetli iz metal elementinin jeokimyasal özellikleri, yerini aldığı ana elementin jeokimyasal özelliklerine ne kadar yakınsa (tercihen aynı ise) yer almanın o kadar kolay ve sık gerçekleşebildiğidir. Ancak yapıya girecek elementin ortamdaki derişikliğinin önemini de ihmal etmemek gerekir.

5.6.1. Galen (PbS)

Herhangi bir galen mineralinin kristal yapısında bulunabilecek kıymetli iz metaller germanyum (Ge), selenyum (Se), gümüş (Ag), indiyum (In) ve tellüryum (Te)'dir (Tablo 5.1 ve Tablo 5.2).

Ge, Ag ve In elementlerinin, Galen mineralinin kristal yapısına girebilmesi yalnızca diadohik olarak mümkün olabilir. Se ve Te elementleri ise galen mineralinin kristal yapısına hem diadohik hem de izomorfik şekilde dahil olmuş olabilirler. Ayrıca kristal ağı normal boşluklarına da girebilmeleri muhtemeldir.

Aşağıda nedenleri ile açıklanmaktadır.

- Ge, Ag, In Se ve Te elementleri, Pb elementinin yerini diadohik olarak alabilirler. Kalkofil elementlerden olan bu kıymetli iz metal elementleri S elementine bağlanmak isterler. Çünkü:
 - Bu elementlerin atom çapları Pb elementinden oldukça azdır (Pb elementinin atom çapı: 1,81 Å).
 - +4 değerlikli Ge elementi, diadohinin yakalama türünde; +1, +2, +3 değerlikli olan Ag elementi kabul etme, kamuflaj ve yakalama türlerinde; +3 değerlikli In elementi ise kabul etme türünde Pb elementinin yerine gelebilir. Se ve Te elementleri ise +2 değerlikli olan Pb elementine oldukça uzak değerliklere sahiptirler. Bu sebeple diadohi zorlaşmaktadır. Gerçekleşebilecek diadohi de yakalama türünde olacaktır.
 - Ge, Ag ve In elementleri, Pb ve S elementlerinin yerini izomorfik olarak alamaz. Çünkü bu kıymetli iz metal elementlerinin jeokimyasal özellikleri iki ana elementinkilere de benzememektedir. Ancak, jeokimyasal açıdan S elementine oldukça fazla benzeyen Se ve daha az olarak benzeyen Te elementleri, S elementinin işlevini yerine getirmek üzere bu ana element ile izomorf şekilde yer değiştirebilir. Bu olay daha çok Se elementi ile S elementi arasında görülmektedir. Değerliklerinin, koordinasyon sayısının, iyonizasyon potansiyelinin, iyon çapının ve elektron ilgisinin S elementininkilere benzeyişi; Se elementinin izomorfik olarak Galen mineralindeki S elementinin yerine geçmesini kolaylaştırır.
- Ge, Ag, In, Se ve Te elementlerinin, S elementi ile kuracağı bağın tipi orta seviyede güçlü kovalent bağdır denilebilir. Se ve Te elementlerinin Pb elementi ile kuracakları bağlar ise S elementi ile kuracaklarından daha kovalent olacaklardır. Çünkü:
- S elementinin elektronegativitesi ile Ge, Ag, In, Se ve Te elementlerinininkiler aynı değildir. Ancak, Ge elementinin elektronegativitesi S elementininkine daha yakın bir değerde olduğundan; Ge---S bağının S elementinin Ag ve In elementleri ile kuracağı bağlardan daha kovalent olacağı düşünülebilir. Se ve Te

elementlerinin elektronegativite değerleri birbirlerinden pek de farklı olmadığından, bu kıymetli iz metal elementlerinin S elementi ile kuracakları bağlı hemen hemen aynı derecede kovalent olacaktır. Ancak, Pb elementinin elektronegativitesi Se elementininkine daha yakın bir değerde olduğundan; Pb---Se bağının, Pb---Te bağından ve S elementinin Se ve Te elementleri ile kuracağı bağlardan daha kovalent olacağı dūşūnūlebilir.

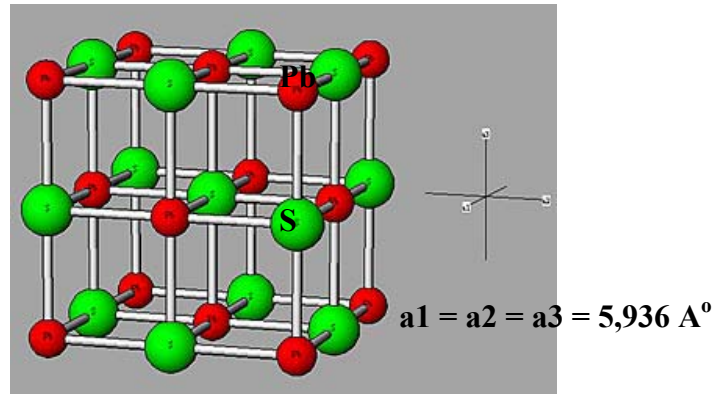
- Ag elementi 8'li ve 10'lu, In elementi 6'lı ve Ag elementi de 4'lū koordinasyonlar yapabilmektedir. Koordinasyon sayısı arttıkça başka bir elementi çekme gücünün azalacaęını dūşūnerek; Ag ile S elementleri birbirlerini, Ge ile S ve In ile S arasındaki çekim gücünden daha az bir kuvvetle çekecektir diyebiliriz. Se elementi 4'lū, Te elementi ise daha yüksek deęerde koordinasyonlar yapabilmektedir. Te ile S elementleri birbirlerini, Se ile S elementleri arasındaki çekim gücünden daha az bir kuvvetle çekecektir. Ayrıca Pb elementinin koordinasyon sayısı S elementininkinden fazla olabildięi için Pb elementi ile Se ve Te elementi arasında kurulacak baęlar S ile yine bu iki kıymetli iz metal elementi arasında kurulacak baęlardan daha zayıf karakterde olacaktır.
- S elementinin iyonizasyon potansiyeli yüksek bir değer olup, $999,6 \text{ kJ/mol}^{-1}$ 'dir. Ge ve Ag elementlerinin de yüksek sayılabilecek değerlere sahip olması sebebi ile, bu elementlerin S elementi ile olan bağları In---S bağından daha kovalent olacaktır. Pb elementinin ise $715,6 \text{ kJ/mol}^{-1}$ 'dir. Se ve Te elementlerinin de iyonizasyon potansiyellerinin S elementi gibi fazla oluğu; Se ve Te elementleri ile S elementi arasında kurulacak bağların, bu kıymetli iz metal elementlerinin Pb elementi ile kuracakları bağlardan daha kovalent olmasını sağlayacaktır.
- Her beş element de, S elementini polarize ederek arada kurulacak bağın kısalmasını ve dolayısı ile bağ kuvvetinin artmasını sağlayacaktır. In elementi, bu üç kıymetli iz metal element arasında en büyük polarizasyon değerine sahip olanıdır. Se ve Te elementlerinin polarizabiliteleri Pb elementininkinden oldukça düşük olduğundan, Pb elementi Se ve Te elementlerini polarize edebilir. Ancak bu değer, Te elementinde Se elementindekinden daha fazla olduğundan Te elementinin kuracağı bağlar daha güçlü olabilir.

- Bu beş kıymetli iz metal elementinin hepsi pozitif değerlikli (katyon) olduklarından dolayı; S elementi ile aralarındaki bağın kovalentlik derecesi bu kıymetli iz metal elementlerinin boyutlarına bağlıdır. Ge elementi Ag ve In elementlerinininkinden daha küçük iyon çapına sahip olduğu için Ge---S bağı, Ag--S ve In---S bağından daha kovalent olacaktır. Te elementi Se elementinininkinden daha küçük bir iyon çapına sahip olduğu için Te---S bağı, Se---S bağından daha az kovalent olacaktır. Ancak, Se ile Te elementlerinin -2 değerlik aldığı ve S elementinin yerine geçtiği durumlarda; Pb elementinin Te elementi ile kuracağı bağ daha kovalent olacaktır.
- Ge, Ag ve In elementlerinin galen mineralindeki boşluklara girmesi mümkün değildir. Çünkü; bu kıymetli iz metal elementlerinin boyutları, galen mineralinin kristal ağı normal boşluklarının boyutlarından ($1,4730\text{\AA}$) daha büyüktür. Se ve Te elementlerinin atom çapları ise sırası ile 1,33 ve 1,42 $\text{\AA}$ 'dır. Buradan da anlaşılabileceği üzere bu iki kıymetli iz metal elementinin Galen mineralinin boşluklarında da yer almış olmaları da mümkündür (Şekil 5.2). Atom çapının Te elementinininkinden daha küçük olması, Se elementine kristal boşluklarında yer alma konusunda avantaj sağlar.
- Ag elementinin alabileceği değerlikler, Ge ve In elementlerinden daha düşük ya da Pb ile aynı olabileceğinden S elementi tarafından Pb elementinin yerine tercih edilebilir. Ancak In elementinin elektronegativitesi diğer iki elemente oranla daha düşüktür. S elementi, kristal sistemine en büyük enerjiyi getirecek olan elementi tercih edeceğinden In elementinin ve daha sonra da Ag elementinin Pb elementinin yerini alması olayına daha sık rastlanılabilir.

Yukarıda yapılan yorumlar ile ilgili mineralin ana elementleri ve kıymetli iz metal elementlerinin jeokimyasal özelliklerinin karşılaştırması Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7: Galen mineralini oluşturan elementlerin ve yapıya girebilecek kıymetli iz metallerin jeokimyasal özellikleri

GALEN MİNERALİNİ OLUŞTURAN ELEMENTLERİN ÖZELLİKLERİ								
Simge	Atom Çapı (Å ⁰)	Değerliği	Koordinasyon Sayıları	Elektronegativite (kcal mol ⁻¹)	İyon Çapı (Å ⁰)	İyonizasyon Potansiyeli (kJ/mol ⁻¹)	Polarizabilite (Å ³)	Elektron İlgisi (kJ/mol)
Pb	1,81	4, 2	6, 10	2,33	1,2	715,6	6,8	-30
S	1,09	(-) 2, 2, 4, 6	4, 6	2,58	2 - 0,42	999,6	2,9	-200
GALEN'İN İÇEREBİLECEĞİ KIYMETLİ METAL ELEMENTLERİNİN ÖZELLİKLERİ								
Ge	1,52	4	4	2,01	0,53	762,1	6,1	-120
Se	1,33	(-) 2, 6	4	2,18	2 - 0,42	940,9	3,8	-195
Ag	1,75	1, 2, 3	8, 10	1,93	1,26 - 1,03 - 0,89	731	7,9	-125
In	2	3	6	1,78	0,81	558,3	9,7	-30
Te	1,42	(-) 2, 4, 6	4, 6, 8, 12	2,1	2,24 - 0,56	869,2	5,5	-290



Şekil 5.2: Galen mineralinin kristalografik yapısı

5.6.2. Sfalerit (ZnS)

Herhangi bir sfalerit mineralinin kristal yapısında bulunabilecek kıymetli iz metaller galyum (Ga), germanyum (Ge), kadmiyum (Cd), indiyum (In) ve talyum (Tl)'dir (Tablo 5.1 ve Tablo 5.2).

Ga, Ge, Cd, In ve Tl elementleri sfalerit mineralinin yapısında ya diadohik olarak ya da kristal ağı normal boşluklarına girerek yer alabilirler.

➤ Sfalerit mineralinde yer alabilecek tüm kıymetli iz metal elementleri Zn elementi ile bileşik oluşturmaktan ziyade bu ana elementin yerini almak isteyecek kalkofil elementlerdir. Bu kıymetli iz metaller diadohik yer değiştirme ile kristal yapısında heterojen şekilde ve sınırlı miktarlarda bulunabilirler. Çünkü:

- Ge elementinin büyüklüğü, Zn elementi ile aynıdır (Zn elementinin atom çapı: 1,53 Å). Cd elementinin büyüklüğü Zn elementinin büyüklüğünü %15'ten fazla aşmazken geri kalan Ga, In ve Tl elementlerinin boyutları Zn elementinin atom çapının %15'inin de üzerindedir. Bu sebeple Ge ve Cd elementlerinin Zn elementi ile yer değiştirmesinin daha kolay olacağı söylenilebilir.
- Cd elementinin elektronegativitesi diğer kıymetli iz metal elementlerinininkilerden daha düşük olduğu için sfalerit mineralinin yapısına girmesinde öncelik tanınacaktır.
- +3 değerlikli Ga, In ve Tl ile +4 değerlikli Ge elementleri sahip oldukları değerliklerin Zn elementinininkinden büyük olmaları sebebi ile bu ana elementin yerini diadohinin yakalama türüyle alabilirler. +2 değerlikli olan Cd ise Zn ile aynı değerlikte olduğundan sfalerit minerali içinde diğer kıymetli iz metallerden daha fazla rastlanılabilir. Çünkü kamuflej türünde diadohik yer alma gerçekleştirecektir. Tl elementi +1 değerlik aldığı zaman sfalerit mineralinin yapısına diadohinin kabul etme türüyle dahil olacaktır ve +1 değerlikli Tl elementine Ga, In, Ge elementlerinden daha sık rastlanılacaktır.

➤ Ge, Ag ve In elementlerinin, S elementi ile kuracağı bağın tipi orta derecede güçlü kovalent bağ olacaktır. Çünkü:

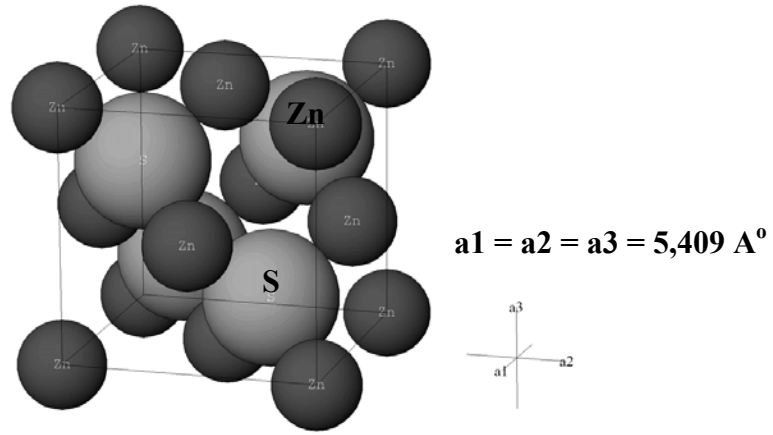
- S elementinin elektronegativitesi ile Ga, Ge, Cd, In ve Tl elementlerinininkiler aynı değildir. Ancak, Tl ve Ge elementlerinin elektronegativite değerleri S elementinininkine daha yakın bir değer olduğundan; Tl---S ve Ge---S bağlarının S elementinin Ga, Cd ve In elementleri ile kuracağı bağlardan daha kovalent olacağı düşünülebilir.

- Ga ve Ge elementleri de 4'lü koordinasyonlar yapabilmektedir. Koordinasyon sayısı arttıkça başka bir elementi çekme gücünün azalacağını düşünerek; Ga ve Ge elementleri ile S elementi birbirlerini, Cd, In ve Tl ile S arasındaki çekim gücünden daha fazla bir kuvvetle çekecektir.
 - S elementinin iyonizasyon potansiyeli yüksek bir değer olup, $999,6 \text{ kJ/mol}^{-1}$ 'dir. Sırası ile Cd ve Ge elementlerinin iyonizasyon potansiyellerinin Sfalerit mineralinin yapısına girebilecek diğer kıymetli iz metal elementlerinininkinden büyük olması; bu iki elementin S ile olan bağlarının daha kovalent olmasını sağlayacağını düşündürmektedir.
 - Tüm bu kıymetli iz metal elementleri, S elementini polarize ederek arada kurulacak bağın kısılmasını ve dolayısı ile bağ kuvvetinin artmasını sağlayacaktır. In ve Ga elementleri bu açıdan bakıldığında S elementini en kuvvetlice çeken kıymetli iz metaller olacaktır.
 - Bu kıymetli iz metal elementlerinin hepsi pozitif değerlikli (katyon) olduklarından dolayı; S elementi ile aralarındaki bağın kovalentlik derecesi bu kıymetli iz metal elementlerinin boyutlarına bağlıdır. Ge ve Ga elementleri Cd, Tl ve In elementlerinininkinden daha küçük iyon çapına sahip olduğu için Ge---S ve Ga---S bağları, Cd---S, Tl---S ve In---S bağlarından daha kovalent olacaktır.
- Ayrıca Zn—S elementleri arasındaki boşluğun çapı $2,5204 \text{ Å}$ 'dır. Sfalerit mineralinin yapısında yer alabilecek kıymetli iz metal elementlerinin tümünün atom çapları bu sfalerit mineralindeki boşlukların çaplarından küçüktür. Bu sebeple bu elementlerin boşluklara yerleşmeleri de mümkündür (Şekil 5.3). Sırası ile $1,52$ ve $1,71 \text{ Å}$ atom çaplarına sahip Ge ve Cd elementlerinin boşluklara yerleşme şansı diğerlerinden daha fazladır. Çünkü; sfalerit mineralinin kristal yapısına girebilecek kıymetli iz metaller arasında en küçük boyutta olanları bu iki elementtir.

Yukarıda yapılan yorumlar ile ilgili mineralin ana elementleri ve kıymetli iz metal elementlerinin jeokimyasal özelliklerinin karşılaştırması Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8: Sfalerit mineralini oluşturan elementlerin ve yapıya girebilecek kıymetli iz metallerin jeokimyasal özellikleri

<i>SFALERİT MİNERALİNİ OLUŞTURAN ELEMENTLERİN ÖZELLİKLERİ</i>								
Simge	Atom Çapı (Å)	Değerliği	Koordinasyon Sayıları	Elektronegativite (kcal mol ⁻¹)	İyon Çapı (Å)	İyonizasyon Potansiyeli (kJ/mol ⁻¹)	Polarizabilite (Å ⁻³)	Elektron İlgisi (kJ/mol)
Zn	1,53	2	4, 6	1,65	0,74	906,4	6,4	0
S	1,09	(-) 2, 2, 4, 6	4, 6	2,58	2 - 0,42	999,6	2,9	-200
<i>SFALERİTİN İÇERE BİLECEĞİ KIYMETLİ İZ METAL ELEMENTLERİNİN ÖZELLİKLERİ</i>								
Ga	1,81	3	4, 6	1,81	0,62	578,8	8,1	-30
Ge	1,52	4	4	2,01	0,53	762,1	6,1	-120
Cd	1,71	2	6, 8	1,69	0,97	876,7	7,2	0
In	2	3	6	1,78	0,81	558,3	9,7	-30
Tl	2,08	1, 3	6, 8	2,04	1,47 - 0,95	589,4	7,6	-15



Şekil 5.3: Sfalerit mineralinin kristalografik yapısı

5.6.3. Kalkopirit (CuFeS₂)

Herhangi bir kalkopirit mineralinin kristal yapısında bulunabilecek kıymetli iz metaller germanyum (Ge), selenyum (Se), indiyum (In), tellüryum (Te) ve altın (Au)'dur (Tablo 5.1 ve Tablo 5.2).

Ge, In ve Au elementleri Cu ve/veya Fe elementlerinin yerini yalnızca diadohik olarak alabilirler. Se ve Te elementleri Cu ve/veya Fe elementlerinin yerini diadohik, S elementinin yerini ise izomorfik şekilde alabilirler. Çünkü:

➤ Ge, In ve Au kıymetli iz metal elementleri; ana element ile (Fe, Cu vb.) bileşik oluşturmaya eğilimli değildir. Bunlar diadohik elementlerdir. Kalkopirit mineralindeki Cu ve/veya Fe elementlerinin yerini alıp S elementi ile bağ kurmaya çalışacaklardır diye düşünülebilir. Se ve Te elementleri ise Ge, In ve Au elementlerinden daha nadir olarak diadohik yer değiştirme olayına katılabilirler.

- Boyutları dolayısı ile Ge elementi Cu elementine (Cu elementinin atom çapı: 1,57 Å), Au elementi Fe elementine (Fe elementinin atom çapı: 1,72 Å) daha yakındır. In elementinin atom çapı Cu elementininkinden oldukça fazla olduğundan ve Fe elementinin atom çapının ancak %15'i kadar Fe elementinden büyük olduğundan dolayı; yer değiştirmek için Fe elementini seçecektir. Se ve Te elementlerinin atom çapları Cu ve Fe elementlerinininkinden azdır. Ancak atom çapları Cu elementininkine daha benzerdir.
- Galen mineralinde de olduğu gibi kalkopirit mineralinde de öncelik In elementininidir. Çünkü elektronegativitesi çok düşük olduğundan kalkopirit kristalinin yapısına getiride bulunur.
- +4 değerlikli Ge ve +3 değerlikli In elementleri, diadohinin yakalama türünde Cu ve Fe elementlerinin yerine geçebilir. +1 değerlikli Au elementi ise Cu ve Fe elementleri ile kabul etme türünde diadohi gösterir. Au elementinin diğer kıymetli iz metal elementlerinden daha fazla elektrona sahip olması Kalkopirit mineralinde yer almasını kolaylaştırır. Se ve Te elementlerinin her ikisi de, +2 değerlikli olan Cu ve Fe elementlerine oldukça uzak değerliklere sahiptirler. Bu sebeple diadohi zorlaşmaktadır. +4 değerlik de alabilen Te elementi, yer değiştirme açısından Se elementinden daha uygundur. Gerçekleşebilecek diadohi de yakalama türünde olacaktır.

➤ Kristal kimyası bakımından S elementine oldukça fazla benzeyen Se ve daha az olarak benzeyen Te elementleri izomorf şekilde S elementi ile yer değiştirebilir.

Bu olay daha çok Se elementi ve Selementi arasında görülmektedir. Bu konu Bölüm 5.6.1’de açıkça anlatılmıştır.

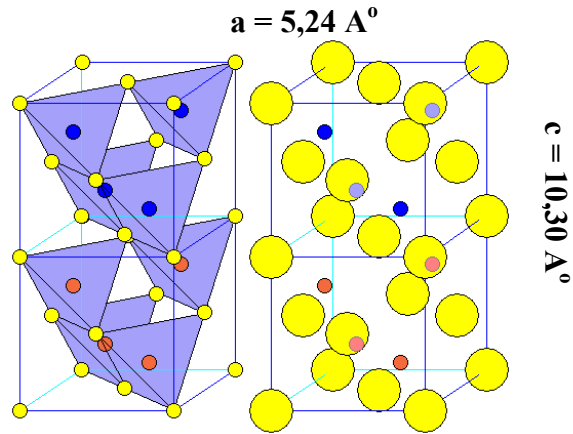
- Cu—S elementleri arasındaki boşluğun çapı $1,2900 \text{ \AA}$, Fe—S elementleri arasındaki boşluğun çapı ise $1,2150 \text{ \AA}$ ’dır. Yani kalkopirit mineralinin içerebileceği hiçbir kıymetli iz metal bu mineralin boşluk yapısına girmiş olamaz (Şekil 5.4).
- Au elementinin S elementi ile kuracağı bağ tamamen kovalent olacaktır diyebiliriz. Diğer iki kıymetli iz metal elementinin kuracağı bağ ise elektronegativitelerinin S elementininkinden farkı nispetinde daha az kovalent olacaktır. Se ve Te elementlerinin, S elementi ile kuracağı bağın tipi de kovalent olacaktır. Cu ve Fe ile kuracaklı bağlar ise S ile kuracaklarından daha kovalent olacaktır. Çünkü:
 - S elementinin elektronegativitesi ile Ge, In, Se ve Te elementlerininkiler aynı değildir. Ancak, Ge elementinin elektronegativitesi S elementininkine daha yakın bir değerde olduğundan; Ge---S bağının In---S bağından daha kovalent olacağı düşünülebilir. Au elementinin elektronegativitesi ($2,54 \text{ kcal mol}^{-1}$) ise S elementininki ($2,58 \text{ kcal mol}^{-1}$) ile neredeyse aynıdır. Bu sebeple kuracakları bağ tamamen kovalenttir denilebilir. Se ve Te elementlerinin elektronegativite değerleri birbirlerinden pek de farklı olmadığından, bu kıymetli iz metal elementlerinin S elementi ile kuracakları bağlı hemen hemen aynı derecede kovalent olacaktır. Ancak, Cu ve Fe elementlerinin elektronegativiteleri Te elementininkine daha yakın bir değerde olduğundan; Cu---Te ve Fe---Te bağları daha kovalent olacaktır.
 - Au elementi 8’li ve 12’li koordinasyonlar yapabilmektedir. Yüksek koordinasyon sayısı sebebi ile Au elementinin S elementi ile oluşturacağı bağ diğer iki kıymetli iz metalin oluşturacağı bağdan daha güçsüz olabilir. Se elementi 4’lü, Te elementi ise daha fazla sayıda koordinasyon değerlerine sahiptir. Koordinasyon sayısı arttıkça başka bir elementi çekme gücünün azalacağını düşünerek; Te ile S elementleri birbirlerini, Se ile S elementleri arasındaki çekim gücünden daha az bir kuvvetle çekecektir diyebiliriz.

- Au elementinin Ge ve In elementlerinininkinden daha yüksek iyonizasyon potansiyeline sahip olması sebebi ile, bu elementin S elementi ile olan bağı In---S ve Ge---S bağından daha kovalent yapmaktadır. S elementinin iyonizasyon potansiyeli yüksek bir değer olup, $999,6 \text{ kJ/mol}^{-1}$ 'dir. Cu elementinin $745,5 \text{ kJ/mol}^{-1}$ ve Fe elementinin de $762,5 \text{ kJ/mol}^{-1}$ 'dir. Se ve Te elementlerinin de iyonizasyon potansiyellerinin S elementi gibi fazla oluşu; Se ve Te elementleri ile S elementi arasında kurulacak bağların, bu kıymetli iz metal elementlerinin Cu ve Fe elementleri ile kuracakları bağlardan daha kovalent olmasını sağlayacaktır.
- Her beş element de, S elementini polarize ederek arada kurulacak bağın kısılmasını ve dolayısı ile bağ kuvvetinin artmasını sağlayacaktır. In elementi, bu üç kıymetli iz metal element arasında en büyük polarizasyon değerine sahip olanıdır. Se ve Te elementlerinin polarizabiliteleri Cu ve Fe elementlerinininkinden oldukça düşük olduğundan, Cu ve Fe elementleri Se ve Te elementlerini polarize edebilir. Ancak bu değer, Te elementinde Se elementindekinden daha fazla olduğundan Te elementinin kuracağı bağlar daha güçlü olabilir. Ayrıca Fe elementi Cu elementinden daha yüksek polarizebiliteye sahip olduğundan kuracağı bağlar da Cu elementinin kuracağı bağlardan güçlü olacaktır.
- Ge ve In elementleri S elementi ile kovalentliği daha az olan bağlar kurabilmektedirler. Bu sebeple bu iki kıymetli iz metal elementinin elektron sayıları bağ gücünde önem kazanmaktadır. + değerlikli Ge ve In elementlerinden iyon çapı küçük olanın S elementi ile kuracağı bağın gücü iyon çapı büyük olanınkinden fazladır. Yani Ge elementi In elementinden daha güçlü bağ kurar. Se ve Te elementleri pozitif değerlikli (katyon) olduklarında; S elementi ile aralarındaki bağın kovalentlik derecesi bu kıymetli iz metal elementlerinin boyutlarına bağlıdır. Te elementi Se elementinininkinden daha küçük bir iyon çapına sahip olduğu için Te---S bağı, Se---S bağından daha az kovalent olacaktır. Ancak, Se ile Te elementlerinin -2 değerlik aldığı ve S elementinin yerine geçtiği durumlarda; Fe ve Cu elementlerinin Te elementi ile kuracağı bağ daha kovalent olacaktır.

Yukarıda yapılan yorumlar ile ilgili mineralin ana elementleri ve kıymetli iz metal elementlerinin jeokimyasal özelliklerinin karşılaştırması Tablo 5.9’da verilmiştir.

Tablo 5.9: Kalkopirit mineralini oluşturan elementlerin ve yapıya girebilecek kıymetli iz metallerin jeokimyasal özellikleri

KALKOPİRİT MİNERALİNİ OLUŞTURAN ELEMENTLERİN ÖZELLİKLERİ								
Simge	Atom Çapı (Å ⁰)	Değerliği	Koordinasyon Sayıları	Elektronegativite (kcal mol ⁻¹)	İyon Çapı (Å ⁰)	İyonizasyon Potansiyeli (kJ/mol ⁻¹)	Polarizabilite (Å ³)	Elektron İlgisi (kJ/mol)
Cu	1,57	1, 2	6, 8	1,9	0,96 - 0,72	745,5	6,7	-119
Fe	1,72	2, 3	6	1,83	0,74 - 0,64	762,5	8,4	-13
S	1,09	(-) 2, 2, 4, 6	4, 6	2,58	2 - 0,42	999,6	2,9	-200
KALKOPİRİT’İN İÇERE BİLECEĞİ KIYMETLİ İZ METAL ELEMENT ÖZELLİKLERİ								
Ge	1,52	4	4	2,01	0,53	762,1	6,1	-120
Se	1,33	(-) 2, 6	4	2,18	2 - 0,42	940,9	3,8	-195
In	2	3	6	1,78	0,81	558,3	9,7	-30
Te	1,42	(-) 2, 4, 6	4, 6, 8, 12	2,1	2,24 - 0,56	869,2	5,5	-290
Au	1,79	1, 3	8, 12	2,54	1,37	890,1	6,1	-220



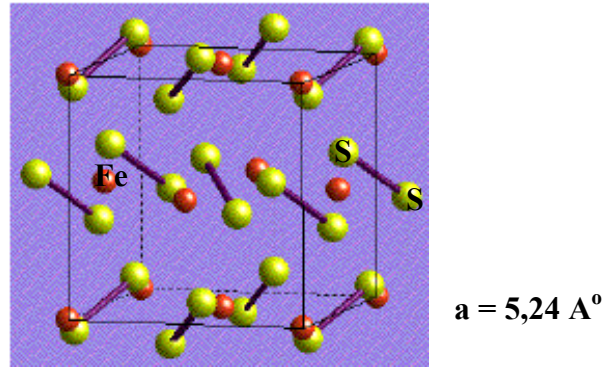
Şekil 5.4: Kalkopirit mineralinin kristalografik yapısı (küçük atomlar S, büyükler Cu ve Fe)

5.6.4. Pirit (FeS₂)

Herhangi bir pirit mineralinin kristal yapısında bulunabilecek kıymetli iz metaller selenyum (Se) ve altın (Au)’dur (Tablo 5.1 ve Tablo 5.2). Ayrıca Tablo 5.12’deki

değerlerden kıymetli iz metal elementlerinin pirit mineralinin yapısında yer alması ile ilgili yaklaşımlara varılabilir.

Au ve Se kıymetli iz metal elementleri diadohik olarak Fe elementinin yerini almış olabilir. Ayrıca Se elementi S elementinin yerine izomorfik olarak gelmiş olabilir. Bölüm 5.6.1 ve Bölüm 5.6.3'te bu konu ile ilgili daha ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Fe—S elementleri arasındaki boşluğun çapı 1,2970 Å'dır. Yani Pirit mineralinin içerebileceği hiçbir kıymetli iz metal bu mineralin boşluk yapısına girmiş olamaz (Şekil 5.5).



Şekil 5.5: Pirit mineralinin kristalografik yapısı

Yukarıda yapılan yorumlar ile ilgili mineralin ana elementleri ve kıymetli iz metal elementlerinin jeokimyasal özelliklerinin karşılaştırması Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.10: Pirit mineralini oluşturan elementlerin ve yapıya girebilecek kıymetli iz metallerin jeokimyasal özellikleri

<i>PİRİT MİNERALİNİ OLUŞTURAN ELEMENTLERİN ÖZELLİKLERİ</i>								
Simgesi	Atom Çapı (Å)	Değerliği	Koordinasyon Sayıları	Elektronegativite (kcal mol ⁻¹)	İyon Çapı (Å)	İyonizasyon Potansiyeli (kJ/mol ⁻¹)	Polarizabilite (Å ³)	Elektron İlgisi (kJ/mol)
Fe	1,72	2, 3	6	1,83	0,74 - 0,64	762,5	8,4	-13
S	1,09	(-) 2, 2, 4, 6	4, 6	2,58	2 - 0,42	999,6	2,9	-200
<i>PİRİT'İN İÇERE BİLECEĞİ KİMETLİ METAL ELEMENTLERİNİN ÖZELLİKLERİ</i>								
Se	1,33	(-) 2, 6	4	2,18	2 - 0,42	940,9	3,8	-195
Au	1,79	1, 3	8, 12	2,54	1,37	890,1	6,1	-220

6. İNCELENEN ÖRNEKLERİN ANALİZ SONUÇLARININ İSTATİSLİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu ana başlık altında, Tablo 6.1'deki kıymetli iz metal analizleri ve ilgili tabloları verilerek bunlara ilişkin değerlendirmelerden bahsedilmiştir.

Tablo 6.1'de mineral sütununda yer alan galen, sfalerit ve kalkopirit mineralleri örnekte en bol bulunan minerallerdir. Bölüm 4'te ayrıntıları ile anlatılmış olan cevherleşmeleri temsil eden örnekler ceneli ve konik kırıcılardan geçirilmiş ve 30-60 mesh boyutundakiler seçilerek binoküler mikroskop altında zenginleştirilmiştir. Ayrıca sözü geçen analizlerden Pb, Zn ve Cu elementlerinin analizleri atomik absorpsiyon yöntemi ile, geri kalan elementlerin analizleri ise ICP-MS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, tüm kayaç analizleri değildir. Bu yöntemler Bölüm 2'de ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

Tablo 6.1'de de bu zenginleştirilmiş minerallerin analizleri sonuçları topluca verilmiştir. Tablo 6.1 incelendiğinde görülecektir ki: Sfalerit açısından zengin olan örneklerin analizlerinde maksimum Zn değeri %68 ve minimum Zn değeri ise % 10 olarak; Galen açısından zengin olan örneklerin analizlerinde maksimum Pb değeri %78 ve minimum Pb değerini ise % 10 olarak; kalkopirit açısından zengin olan örneklerin analizlerinde maksimum Cu değeri %32 ve minimum Cu değerini ise % 15 olarak bulunmuştur.

Cevherleşmelere ait her bir zenginleştirilmiş örnek için kıymetli iz metal analiz değerlerine bakıldığında ise görülecektir ki:

- Ag elementi Korudere cevherleşmesinde galen, Arapuçandere cevherleşmesinde sfalerit ve kalkopirit, Fırıncıkdere ve Handeresi cevherleşmelerinde galen ve Bağırkaçdere cevherleşmesinde de hem galen hem de kalkopirit örneklerinde 100 ppm civarında analiz değerleri sergilemiştir.

- Au elementine sadece Arapuçandere cevherleşmesinde 2000 ppb olan işletilebilirlik sınır değerini oldukça aşan bir analiz değeri (7830 ppb) ile kalkopirit örneğinde rastlanılmıştır. Bu kıymetli iz metal elementine 800 ppb gibi yüksek sayılabilecek bir analiz değeri ile aynı cevherleşmeye ait galen örneğinde rastlamaktayız.
- Cd elementi incelenen tüm cevherleşmelerde oldukça fazla tenörlerde yer almakta olup Korudere cevherleşmesinde sfalerit örneğinde, Arapuçandere cevherleşmesinde de galen örneğinde 2000 ppm değerlerini vermiştir.
- Te elementinin 10 ppm olan işletilebilirlik sınır değerinin yalnızca Arapuçandere cevherleşmesine ait bir sfalerit örneğinde aşıldığı görülmüştür (11,5 ppm).
- Tl elementi Fırıncıkdere ve Handeresi cevherleşmelerinde galen örneğinde, Bağırkaçdere cevherleşmesinde kalkopirit örneğinde yüksek tenördedir. Bu kıymetli iz metal element ile ilgili analiz sonucunda en yüksek değer 2,6 ppm olarak saptanmıştır.
- Se elementi sözü geçen üç mineralin örneklerinde de fazlaca tespit edilmiştir. En yüksek değerler; Arapuçandere cevherleşmesi sfalerit örneğindeki 342 ppm'lik ve Bağırkaçdere cevherleşmesi kalkopirit örneğindeki 250 ppm'lik analiz değerleridir.
- In ve Ge elementlerine ait analizlerin hiç birinde bu kıymetli iz metal elementlerinin işletilebilirlik sınır değerlerini aşan analiz sonuçlarına rastlanılmaması ile beraber, In elementinin Arapuçandere galen ve kalkopirit minerallerindeki analiz sonuçları 2 ppm olan işletilebilirlik sınır değerine yakındır (sırası ile 1,05 ve 0,84 ppm).
- Molibdenit mineraline bağlı olarak bulunabilen Re elementi incelenmiş olan cevherleşmelerdeki minerallerde çeşitli oranlarda görülmüştür. 5 ppb olan işletilebilirlik sınır değeri Arapuçandere cevherleşmesi kalkopirit örneğinde 9 ppb ile aşılmıştır.
- Ga elementinin yüksek analiz sonuçları ise tüm cevherleşmelerde gözlenmektedir. Ancak en yüksek analiz değerini Korudere cevherleşmesi sfalerit örneğinin analizinde gözlemlemekteyiz.

Tablo 6.1: Korudere, Arapuçandere, Bağırkaçdere, Handeresi ve Fırıncıkdere cevherleşmelerinin kıymetli iz metal analiz sonuçları

ÖRNEK NO	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Ag (ppm)	Au (ppb)	Cd (ppm)	Te (ppm)	Tl (ppm)	Se (ppm)	In (ppm)	Re (ppb)	Ga (ppm)	Ge (ppm)	Mineral	Konum
1KPb	0,45	0,10	15,33	64,00	100,00	62,50	289,87	0,10	0,08	2,10	0,02	1,00	10,00	0,20	Galen	Korudere
2KZn	1,14	0,22	46,66	9,00	63,48	84,90	2000,0	0,27	0,14	0,10	0,28	4,00	73,00	2,10	Sfalerit	Korudere
3ACu	18,55	15,00	2,66	6,00	72,76	82,00	26,48	0,67	0,21	22,40	0,38	9,00	7,00	0,90	Kalkopirit	Arapuçandere
4APb	5,17	2,71	2,80	52,87	37,88	800,30	2000,0	0,16	0,13	0,10	1,05	2,00	11,00	0,80	Galen	Arapuçandere
5AZn	3,56	0,97	67,93	2,26	100,00	41,60	129,64	11,44	0,70	341,60	0,08	1,00	1,00	1,80	Sfalerit	Arapuçandere
6ACu	27,48	31,68	1,69	1,68	100,00	7828,0	156,82	1,00	0,29	57,30	0,84	1,00	1,00	0,50	Kalkopirit	Arapuçandere
7FPb	4,12	0,26	11,33	50,00	100,00	11,40	29,47	6,12	1,09	142,90	0,02	1,00	4,00	0,80	Galen	Fırıncıkdere
8BPb	3,83	1,00	2,66	78,00	100,00	17,70	115,27	3,08	0,40	41,50	0,02	2,00	1,00	0,30	Galen	Bağırkaçdere
9BPb	19,16	1,35	2,99	22,00	29,03	15,30	683,14	0,14	0,07	5,70	0,05	4,00	2,00	1,90	Galen	Bağırkaçdere
10BCu	0,77	20,05	3,99	13,00	100,00	25,80	30,32	2,46	1,79	250,30	0,05	1,00	2,00	2,30	Kalkopirit	Bağırkaçdere
11BZn	1,49	0,36	9,99	10,00	74,50	4,80	420,60	5,05	0,05	83,50	0,02	5,00	8,00	1,70	Sfalerit	Bağırkaçdere
12HPb	4,43	0,12	0,05	18,00	36,10	4,50	22,57	3,95	0,16	58,40	0,02	1,00	4,00	2,90	Galen	Handeresi
13HPb	2,71	0,11	0,07	10,00	100,00	31,20	20,99	9,19	2,58	183,30	0,02	1,00	3,00	2,40	Galen	Handeresi
					200	2000	100	10	1,5	40	2	5	10	10	*Kıymetli İz Metal Elementlerinin İçinde Bulundukları Cevherde İşletilebilirlik Sınır Değerleri	

*: Tabloda verilen işletilebilirlik sınır değerleri çeşitli kaynaklardan elde edilmiş olup hangi miktarda rezervler için ortalama sınır değerleri oldukları tespit edilememiştir. Bu değerlerin derlenmesinde Jankovic (1967), Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (Özel İhtisas Komisyonu - 2001) Raporları, U.S. Geological Survey (2006) ve İhracat Dünyası Raporu (2006) isimli kaynaklardan yararlanılmıştır.

Tablo 6.1'deki Ga, Ge, Se, In, Re, Cd, Tl, Te, Au ve Ag kıymetli iz metal elementlerinin Tablo 6.2'de toplam tenör sütunundaki tenör değerleri, bulundukları sülfürlü minerallerdeki ortalama işletilebilirlik değerleri ile karşılaştırıldığında şu sonuçlara varılmıştır:

- Arapuçandere cevherleşmesinde kalkopirit minerali ile birlikte bulunan Au elementinin 2000 ppb olan işletilebilirlik sınır değerini aşan ortalama bir analiz değeri (2188 ppb) tespit edilmiştir.
- Korudere cevherleşmesinde sfalerit minerali ile birlikte bulunan Ga elementinin 10 ppm olan işletilebilirlik sınır değerini aşan ortalama tespit edilmiştir (42 ppm).
- Arapuçandere, Fırıncıkdere, Bağırkaçdere ve Handeresi cevherleşmelerinde Se elementinin 40 ppm olan işletilebilirlik sınır değerini oldukça fazla aşan ortalama analiz değerleri tespit edilmiştir. Arapuçandere'de 105 ppm, diğer cevherleşmelerde 96 ppm'dir.
- Korudere cevherleşmesinde Cd elementinin 100 ppm olan işletilebilirlik sınır değerini oldukça fazla aşan ortalama analiz değeri tespit edilmiştir (1145 ppm). Arapuçandere cevherleşmesinde bu değer 578 ppm dolayında iken; Bağırkaçdere, Handeresi ve Fırıncıkdere cevherleşmelerinde 165 ppm'dir.
- Korudere ve Arapuçandere cevherleşmelerinde Re elementinin 5 ppb olan işletilebilirlik sınır değerine yakın ortalama analiz değerleri tespit edilmiştir. Arapuçandere'de 2,5 ve Korudere'de 3.25 ppb'dir. (Re molibdenit ile birliktelik gösterir. Ancak bu cevherleşmelerde az da olsa Zn ve Pb'ye bağlı olarak bulunmuştur).

Aşağıda Tablo 6.2'de verilmiş olan tenör değerlerine, Tablo 6.1'deki analiz sonuçlarından faydalanılarak ulaşılmıştır. Her cevherleşme için Pb, Zn ve Cu elementlerinin tenörlerinin ve incelenen tüm kıymetli iz metal elementlerinin tenörlerinin ortalamaları hesaplanmıştır ve Tablo 6.2'de toplam tenör stununda verilmiştir. Bu kıymetli iz metal ortalama tenörlerinin Pb, Zn ve Cu elementlerine bağlı olarak gelişmiş toplam tenör değerleri olduğu düşünülerek; doğru orantı yöntemi ile Pb, Zn ve Cu elementlerinin her biri için bu kıymetli iz metal elementlerinin tenörleri hesaplanmıştır. Örneğin; Tablo 6.1'deki Arapuçandere

cevherleşmesindeki Au'nun ortalama tenörü 2188 ppb; Cu'nunki %12,59; Zn'ninki %18,77 ve Pb'ninki de %15,7'dir. Sözü geçen ortalama Au değeri Cu+Zn+Pb'ye bağlı toplam tenördür. Aralarında doğru orantı kurularak (Cu+Zn+Pb'ye bağlı Au 2188 ppb ise, yalnızca Cu'ya vs. bağlı Au kaç ppb'dir?) Tablo 6.2'deki değerlere ulaşılabilir.

Tablo 6.2: Korudere, Arapuçandere, Bağırkaçdere, Handeresi ve Fırıncıkdere cevherleşmelerinin Tablo 6.1'deki analiz sonuçlarının her cevherleşme için bağlı bulunduğu ana elemente göre kıymetli iz metal tenör değerleri

		Ag (ppm)	Au (ppb)	Cd (ppm)	Te (ppm)	Tl (ppm)	Se (ppm)	In (ppm)	Re (ppb)	Ga (ppm)	Ge (ppm)
KORUDERE	Cu'ya Bağlı Tenör	0,1933	0,1743	2,7077	0,0004	0,0003	0,0026	0,0004	0,0059	0,0981	0,0027
	Zn'ye Bağlı Tenör	37,4476	33,7644	524,5327	0,0848	0,0504	0,5039	0,0687	1,1453	19,0125	0,5269
	Pb'ye Bağlı Tenör	44,0986	39,7613	617,6946	0,0998	0,0593	0,5935	0,0809	1,3488	22,3893	0,6204
	<u>Toplam Tenör</u>	81,739	73,70	1144,9	0,185	0,11	1,10	0,15	2,50	41,50	1,15
ARAPUÇANDERE	Cu'ya Bağlı Tenör	20,77534	585,31963	154,68746	0,88749	0,08895	28,18287	0,15717	0,86943	1,33758	0,26752
	Zn'ye Bağlı Tenör	30,97324	872,63300	230,61824	1,32312	0,13261	42,01688	0,23431	1,29620	1,99416	0,39883
	Pb'ye Bağlı Tenör	25,91142	730,02236	192,92930	1,10689	0,11094	35,15024	0,19602	1,08437	1,66826	0,33365
	<u>Toplam Tenör</u>	77,66	2187,9	578,23	3,3175	0,3325	105,35	0,5875	3,25	5,00	1,00
BAĞIRKAÇDERE - HANDERESİ - FIRINCIKDERE	Cu'ya Bağlı Tenör	6,14227	1,26002	15,05154	0,34136	0,06989	8,71431	0,00228	0,17073	0,27318	0,14000
	Zn'ye Bağlı Tenör	8,21083	1,68437	20,12051	0,45632	0,09342	11,64907	0,00304	0,22823	0,36517	0,18715
	Pb'ye Bağlı Tenör	53,10092	10,89311	130,12299	2,95108	0,60419	75,33664	0,01968	1,47603	2,36165	1,21035
	<u>Toplam Tenör</u>	67,4540	13,8375	165,295	3,74875	0,7675	95,70	0,025	1,875	3,00	1,5375

Tablo 6.1'deki Korudere, Arapuçandere, Bağırkaçdere, Handeresi ve Fırıncıkdere cevherleşmelerinin içerdiği kıymetli iz metal elementleri miktarları göz önünde bulundurularak Tablo 6.3'teki korelasyon değerleri ve Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'teki grafikler excell programı kullanılmak sureti ile elde edilmiştir. Ancak, yeterli sayıda örnek analize tabi tutulamadığından cevherleşme tiplerine göre korelasyon değerlendirilmesi yapılamamıştır. Bu sebeple aşağıda inceleme alanındaki Cu, Pb ve Zn elementleri ile kıymetli iz metal elementleri arasında bölgenin genelini yansıtabilecek korelasyon grafik ve tabloları verilmiştir.

Ayrıca aşağıda, Tablo 6.4'te dünyadaki bazı benzer metalik maden yataklarının kıymetli iz metal analiz sonuçlarının ve Pb-Zn-Cu-Fe içeriklerinin Türkiye'dekiler ile karşılaştırılması verilmiştir. Bu tablo kıymetli iz metal analizi çalışmalarının yapıldığı pek çok araştırmanın küçük ancak önemli bir bölümünden oluşturulmuştur. Tablodan da anlaşılacağı gibi bizim araştırmamızın kapsamında incelenen 10 kıymetli iz metal elementinin tümünü araştıran bir araştırmacı bulunmamaktadır. Konu ile ilgili yapılan kapsamlı literatür çalışmasında da karşımıza bunun tersi bir sonuç çıkmamıştır. Tablo 6.4'dekiler ile Tablo 6.1 ve 6.2'de verilmiş olan çalışma alanına ait analizlerin sonuçları karşılaştırılmak sureti ile bölgenin kıymetli iz metal element zenginliği hakkında yaklaşık bir fikir edinmek de mümkündür.

Tablo 6.3: Kori, Arapuçandere, Fırıncıkdere, Bağırkaçdere ve Handeresi bölgelerindeki cevherleşmelerin içerdiği kıymetli iz metallerin korelasyon değerleri

Element	Volkanojenik Hidrotermal Korudere Cevherleşmesi			Plütojenik Hidrotermal Arapuçandere ve Fırıncıkdere Cevherleşmeleri			Skarn Tipteki Bağırkaçdere ve Handeresi Cevherleşmeleri		
	Cu	Zn	Pb	Cu	Zn	Pb	Cu	Zn	Pb
Ag	-1	-1	1	0,22	0,41	-0,49	0,38	0,095	0,25
Au	1	1	-1	0,90	-0,34	-0,39	0,42	-0,41	-0,28
Cd	1	1	-1	-0,28	-0,26	0,61	-0,29	0,48	-0,10
Te	1	1	-1	-0,54	0,93	-0,18	-0,29	-0,16	-0,28
Tl	1	1	-1	-0,50	0,42	0,24	0,40	-0,38	-0,30
Se	-1	-1	1	-0,43	0,96	-0,31	0,74	-0,04	-0,43
In	1	1	-1	0,47	-0,57	0,14	0,67	0,04	-0,23
Re	1	1	-1	0,17	-0,33	-0,28	-0,35	0,79	-0,07
Ga	1	1	-1	-0,32	-0,51	0,63	-0,29	0,68	-0,53
Ge	1	1	-1	-0,57	0,96	-0,30	0,17	-0,30	-0,86

Genel olarak galen, sfalerit ve kalkopirit minerallerindeki Zn, Pb ve Cu elementleriyle pozitif korelasyon göstermesi gereken kıymetli iz metaller şöyledir (Tablo 5.1):

- (Sfalerit) Zn elementi Ga, Ge, Cd, In ve Tl ile
- (Galen) Pb elementi Ag ve Te ile
- (Kalkopirit) Cu elementi Se, Te ve Au ile

Korudere cevherleşmesi volkanojenik hidrotermal, Arapuçandere ve Fırıncıkdere cevherleşmeleri plütonik hidrotermal, Bağırkaçdere ve Handeresi cevherleşmeleri ise skarn zonu hidrotermal tipindedir. Örneklenen cevherleşmelerin oluşum şekillerine göre yapılan bu gruplandırma, aşağıda yorumları ile verilecek olan korelasyon grafik (Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3) ve değerlerinde (Tablo 6.3) de kullanılmıştır.

Korelasyon için örnek sayısının çok az olduğu bilinmektedir. Ancak, yine de bazı karşılaştırmalar yapabilmek için bir ön çalışma niteliğinde bu araştırmalar yapılmıştır.

Örneğin; doğal olarak Zn ve Cd elementlerinin oranları arasında daima bir pozitif korelasyon bulunmasına karşılık, kendi sonuçlarımızda ortaya çıkan negatif korelasyon en azından Cd elementinin dağılımının madenin değişik noktalarına göre farklılık gösterdiğini anlamamıza yardımcı olmuştur. Yani, belli bir maden yatağında Cd/Zn oranının bu şekilde çok değişken olduğu gösterilebilmiştir.

Anormal negatif korelasyonlar heterojen dağılımları gösterir. Bu da maden ocağındaki farklı nitelikli cevherlerin varlığını işaret eder. Farklı nitelik; farklı cevherleşme türlerini, farklı getirimleri veya kimyasal bakımdan zonlanmayı belirtir. Bu sorunun çözümü ise daha ayrıntılı (örnek alma, çok sayıda analiz, cevher mikroskopisi vb.) araştırmaları ile mümkün olabilir

Yukarıdaki bu ön bilgiler ışığında Tablo 6.3'teki korelasyon değerlerinin şu şekilde yorumlanması mümkündür:

--- Volkanojenik Hidrotermal Korudere Cevherleşmesi: Normalde olduğu gibi Pb elementi ile Ag elementi, Zn elementi ile Cd-Tl-In-Ga-Ge elementleri ile ve Cu elementi de Te-Au elementleri ile pozitif korelasyon göstermektedir.

Normalin aksine korudere cevherleşmesindeki galen mineralleri Se, sfalerit mineralleri Au-Te-Re ve kakopirit mineralleri de Cd-Tl-In-Re-Ga-Ge kıymetli iz metal elementlerini içermektedir.

Normalde Se elementi Cu elementi ile pozitif korelasyon sergilemesi gerekirken, burada negatif olduğu görülmektedir. Bu durum bize Se elementinin maden içindeki dağılımının heterojen olduğunu gösterir. Aynı şekilde Te elementinin Pb elementi ile pozitif korelasyon vermesi gerekiyorken, analiz sonuçları negatif yönde çıkmıştır. Burada da Te elementinin dağılımı heterojendir.

--- Plütojenik Hidrotermal Arapuçandere ve Fırıncıkdere Cevherleşmeleri: Cu elementi, Ag-Au-In-Re elementleri ile; Zn elementi, Ag-Te-Tl-Se-Ge elementleri ile ve Pb elementi de Cd-Tl-In-Ga elementleri ile pozitif birliktelik göstermektedir.

Au elementi, yalnızca Cu elementi ile çok yüksek pozitif korelasyon vermektedir. Zn elementi ile Te-Se-Ge elementleri ve Pb elementi ile de Cd-Ga elementleri çok yüksek pozitif korelasyon içindedir.

Ag elementi ise Zn elementi ile orta sıklıkta, Cu elementi ile de daha seyrek olarak gözlenmektedir. Te ve Se elementleri yaygın olan durumların aksine Zn elementi ile çok iyi korelasyon sergilemektedir. Ga ve Ge elementlerinin her ikisinin de Zn elementi ile iyi birliktelikler göstermesi beklenirken Ga elementi Pb elementi ile, Ge elementi ise Zn elementi ile çok yüksek sıklıkta görülebilmektedir.

Se-Te elementlerinin Cu elementi ile, Ga-Cd-In elementleri Zn elementi ile ve Ag-Te elementleri de Pb elementi ile pozitif korelasyon göstermelidir. Oysaki bölgede yapılan analizler neticesi negatif çıkmıştır. Bu negativite ilgili minerallerde bu kıymetli iz metal elementlerinin olmadığını değil, çeşitli sebeplerle heterojen olarak var olduklarını gösterir.

--- Skarn Zonu Tipi Bağırkaçdere ve Handeresi Cevherleşmeleri: Ag-Au-Tl-Se-In-Ge elementleri Cu elementi ile, Ag-Cd-In-Re-Ga elementleri Zn elementi ile ve Ag elementi de Pb elementi ile pozitif korelasyonludur.

Se-In-Ge elementleri Cu elementi ile ve Re-Ga elementi de Zn elementi ile yüksek korelasyon gösterir.

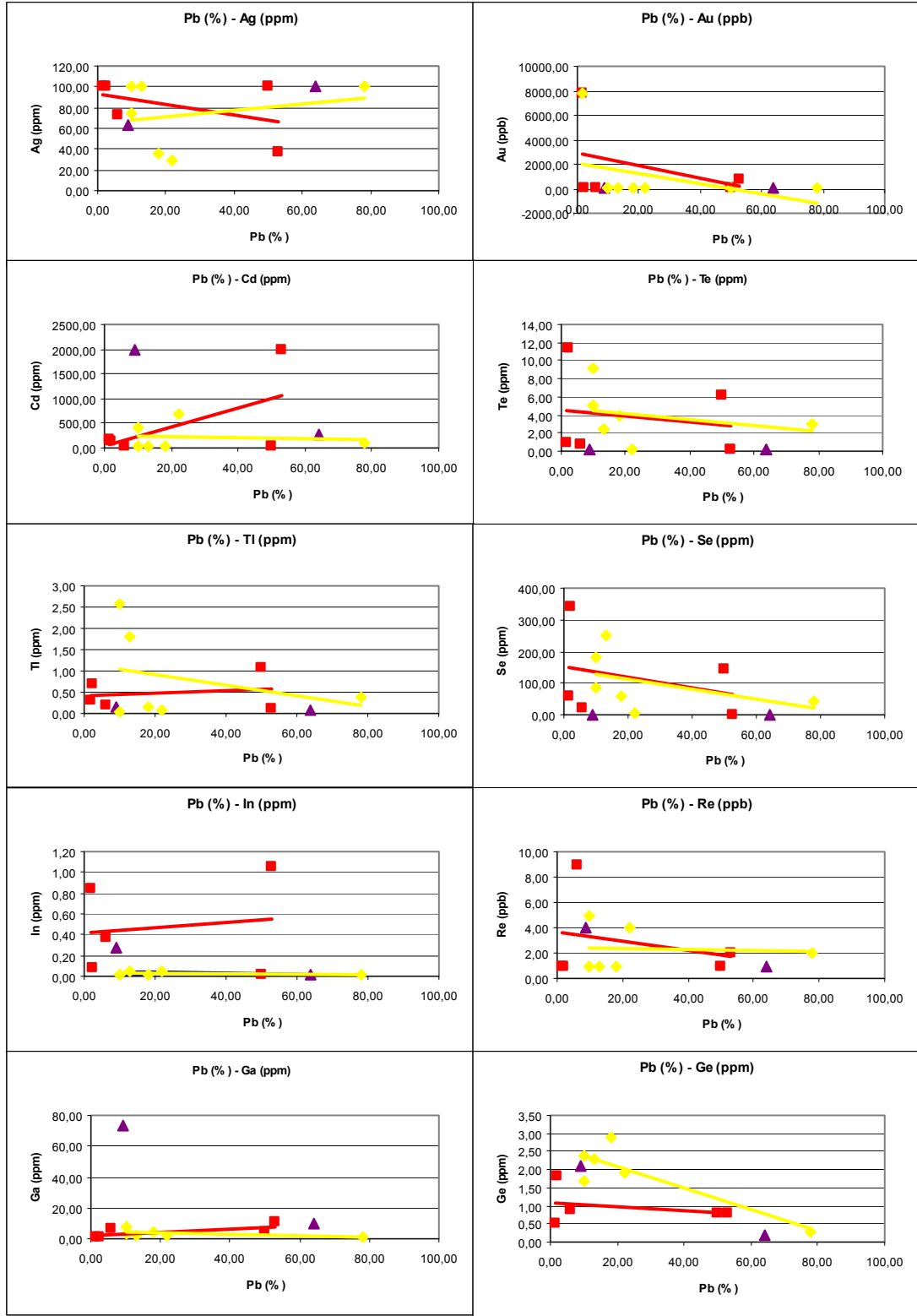
Ag elementi, Cu elementi ile Zn ve Pb elementleri ile olduğundan daha fazla gözlenmektedir. Au elementi Cu elementi ile orta sıklıkta birliktelikler sergilemektedir. Burada da plütojenik hidrotermal tipteki Arapuçandere ve Fırıncıkdere cevherleşmelerinin aksine Ga elementi Zn elementi ile yüksek sayılabilecek bir birliktelik içindedir. Se elementi, yukarıda bahsi geçen diğer iki tipteki cevherleşmeden farklı olarak bu cevherleşme tipinde Kalkopirit mineralleri içinde zenginleşmiştir ve genelde de Se kıymetli iz metal elementinin

verdiği korelasyon bu yöndedir. Cu ve Zn elementleri birkaç kıymetli iz metal elementi ile pozitif korelasyon değerleri verirken, Pb elementi yalnızca Ag elementi ile pozitif korelasyon göstermektedir ki bu değer de çok düşüktür.

Normalin aksine gözlenen negatif korelasyonlar Cu elementi ile Te elementi, Zn elementi ile Ge-Tl elementleri ve Pb elementi ile Te elementi arasında gözlenmektedir. İlgili kıymetli iz metalin maden içindeki heterojen dağılımını gösterir.

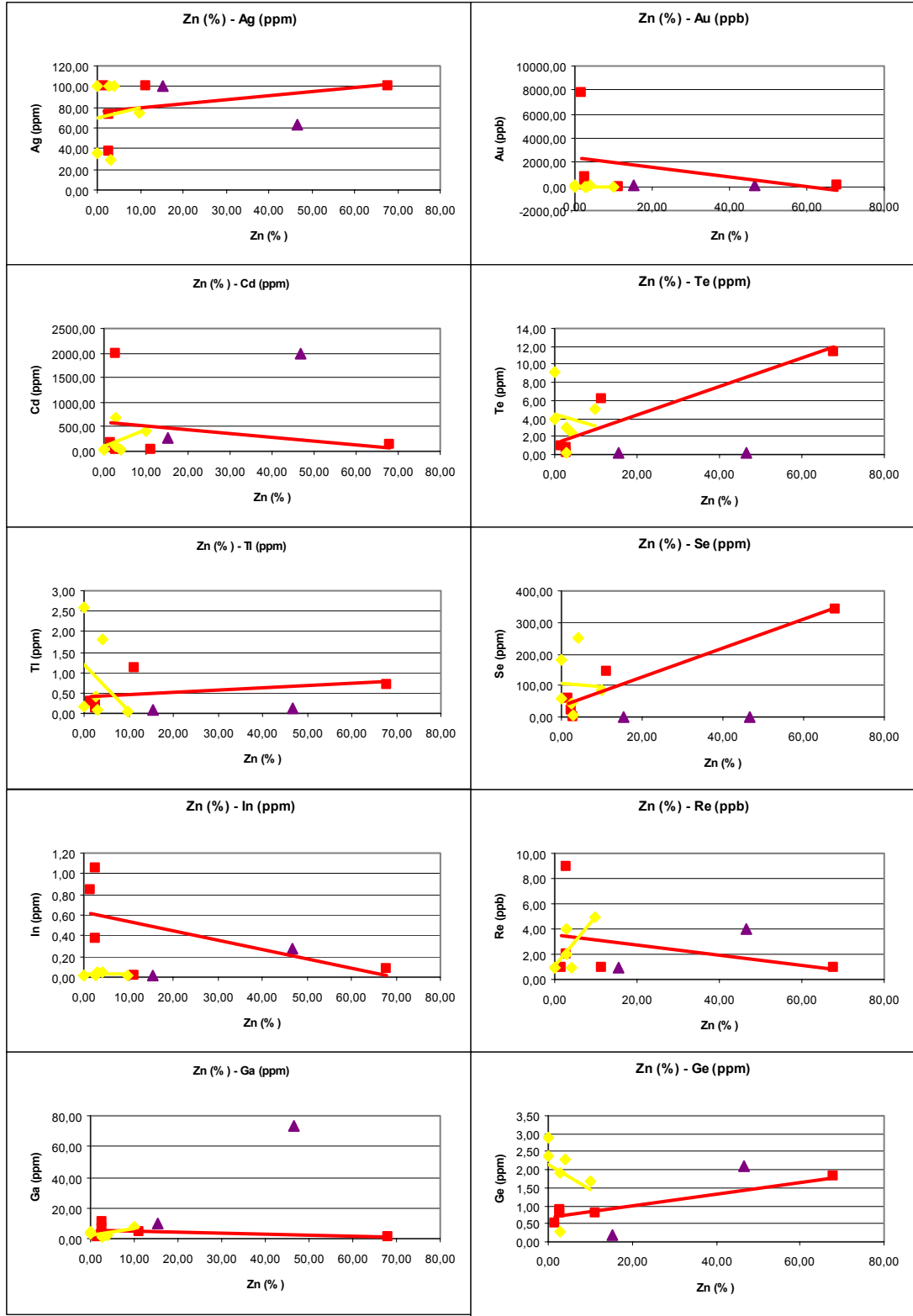
Çalışmamız kapsamında yapılan kıymetli iz metal ve cevher elementleri analizlerinin bir başka sonucu olarak oluşturulan Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'teki korelasyon grafiklerinde volkanojenik hidrotermal Korudere cevherleşmesi örnekleri anlamlı bir korelasyon oluşturmadığından mor renkte noktalar ile belirtilmiştir. Plütojenik hidrotermal Arapuçandere ve Fırıncıkdere cevherleşmelerine ait örneklerin toplam 5 örnek analiz edilmiş olup sözü geçen kıymetli iz metal element ve ana elementler arasındaki korelasyonlar hakkında fikir vermesi açısından sarı nokta ve korelasyon eğrisi ile ifade edilmiştir. Skarn zonu tipi plütojenik hidrotermal Bağırkaçdere ve Handeresi cevherleşmelerine ait örneklerin 6 tanesi analiz edilmiş ve yine ulaşılan sonuçların kurulacak korelasyonlarda anlamlı olabileceği düşünülerek aynı tablolarda kırmızı nokta ve korelasyon eğrisi ile ifade edilmiştir. Tablolardaki eğrilerin korelasyon katsayılarına (r) ulaşabilmek açısından Tablo 6.3'e bakılmasında fayda vardır.

Şekil 6.1: Araştırılan cevherleşmelerin, tiplerine göre içerdiği kıymetli iz metallerin (Pb – Kıymetli İz Metal Element) korelasyon grafikleri



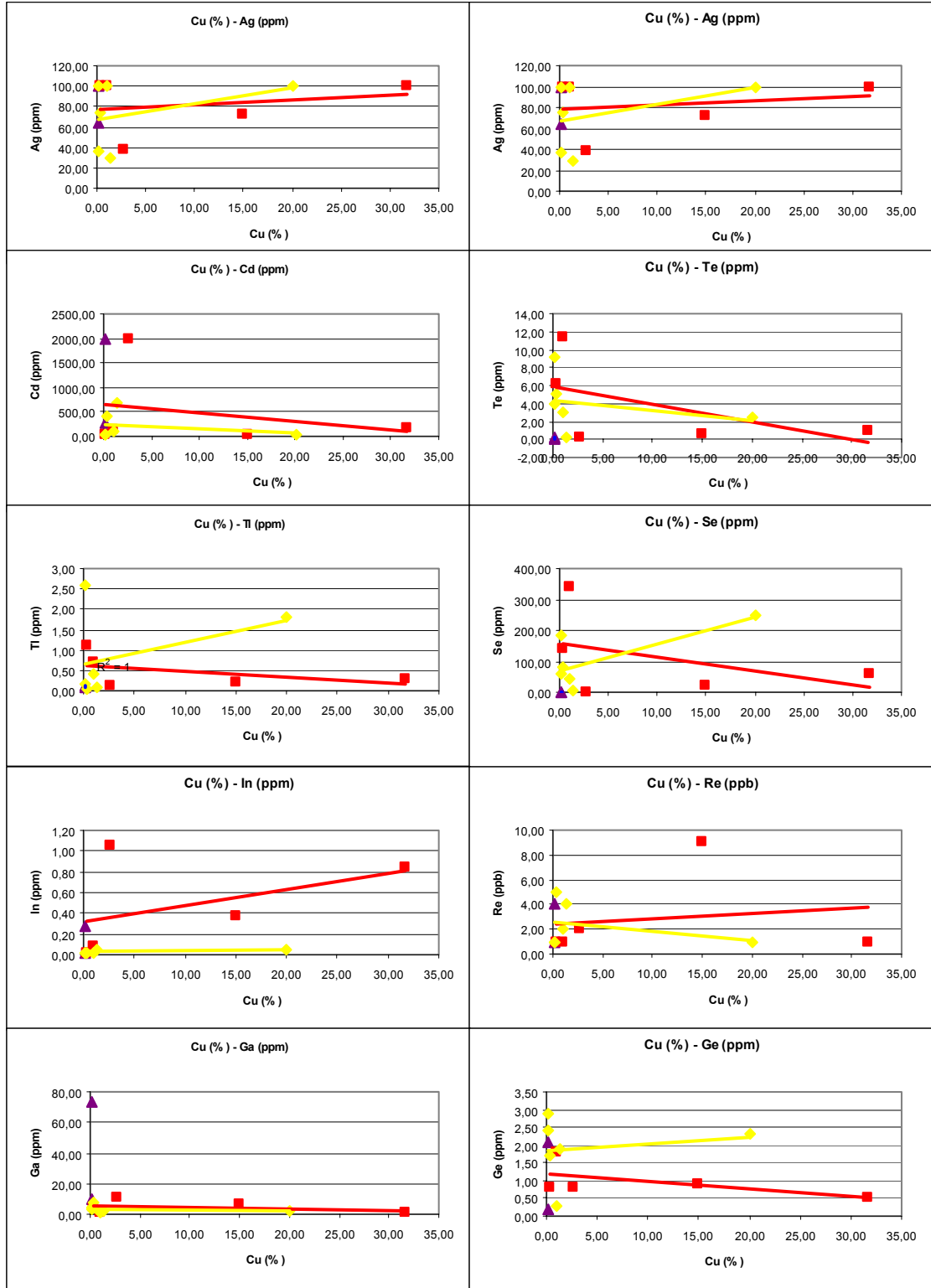
▲ : Volkanojenik hidrotermal Korudere cevherleşmesine ait korelasyon değerleri
 ■ : Plütojenik hidrotermal Arapuçandere ve Fırıncıkdere cevherleşmelerine ait korelasyon değerleri
 ◆ : Skarn zonu tipi plütojenik hidrotermal Bağırkaçdere ve Handeresi cevherleşmelerine ait korelasyon değerleri
 — : Plütojenik hidrotermal Arapuçandere ve Fırıncıkdere cevherleşmelerine ait korelasyon eğrisi
 — : Skarn zonu tipi plütojenik hidrotermal Bağırkaçdere ve Handeresi cevherleşmelerine ait korelasyon eğrisi

Şekil 6.2: Araştırılan cevherleşmelerin, tiplerine göre içerdiği kıymetli iz metallerin (Zn – Kıymetli İz Metal Element) korelasyon grafikleri



- ▲ : Volkanojenik hidrotermal Korudere cevherleşmesine ait korelasyon değerleri
- : Plütojenik hidrotermal Arapuçandere ve Fırıncıkdere cevherleşmelerine ait korelasyon değerleri
- ◆ : Skarn zonu tipi plütojenik hidrotermal Bağırkaçdere ve Handeresi cevherleşmelerine ait korelasyon değerleri
- : Plütojenik hidrotermal Arapuçandere ve Fırıncıkdere cevherleşmelerine ait korelasyon eğrisi
- : Skarn zonu tipi plütojenik hidrotermal Bağırkaçdere ve Handeresi cevherleşmelerine ait korelasyon eğrisi

Şekil 6.3: Araştırılan cevherleşmelerin, tiplerine göre içerdiği kıymetli iz metallerin (Pb – Kıymetli İz Metal Element) korelasyon grafikleri



Tablo 6.4: Yurtdışı ve Türkiye’de bazı metalik yataklarda yapılan kıymetli iz metal analiz sonuçlarının karşılaştırması

[illegible]

1: Makkonen (1989)

2: Aftabi vd. (2006)

Tablo 6.4.'ün Devamı: Yurtdışı ve Türkiye’de bazı metalik yataklarda yapılan kıymetli iz metal analiz sonuçlarının karşılaştırması

[illegible]

3: Ulrich vd. (2002)

4: Martin-Crespo vd. (2004)

Tablo 6.4.'ün Devamı: Yurtdışı ve Türkiye’de bazı metalik yataklarda yapılan kıymetli iz metal analiz sonuçlarının karşılaştırması

[illegible]

Tablo 6.4.'ün Devamı: Yurtdışı ve Türkiye’de bazı metalik yataklarda yapılan kıymetli iz metal analiz sonuçlarının karşılaştırması

[illegible]

5: Sinclair vd. (2006)

6: Monteiro vd. (2006)

7: Palero-Fernandez vd. (2005)

8: Benzaazoua vd. (2003)

Tablo 6.4.'ün Devamı: Yurtdışı ve Türkiye’de bazı metalik yataklarda yapılan kıymetli iz metal analiz sonuçlarının karşılaştırması

Batlama Deresi- Akköy-Giresun (Türkiye)	Arapuçandere-Yenice (Turkey)	Çolaklı, Elazığ (Eastern Turkey)	YATAĞIN ADI
11	10	9	Referans No
Cu-Zn	Pb-Zn-Cu	Pb-Zn-Cu	YATAĞIN CİNSİ
Hidrotermal	Hidrotermal	Damar Tipi	YATAĞIN OLUŞUM ŞEKLİ
	11 Sflerit		ÖRNEK CİNSİ
12333	1700	422	Cu ppm
533	811900	25152	Pb ppm
6960	658300	765	Zn ppm
	4200	26440	Fe ppm
	100	0,0304	Au ppm
37	100	107	Ag ppm
541		40	Cd ppm
			Ga ppm
2			Ge ppm
			Se ppm
			In ppm
	1500		Te ppm
			Re ppm
			Tl ppm

9 : Sağiroğlu and Sasmaz (2004)

10: Örgün vd. (2005)

11: Acar (1972)

7. SONUÇLAR, TARTIŞMALAR ve ÖNERİLER

- ✓ Biga Yarımadası'nda ilk defa sülfürlü mineralizasyonlara bağlı kıymetli metallerin varlığı incelenmiştir.
- ✓ Korudere, Arapuçandere, Bağırkaçdere, Handeresi, ve Fırıncıkdere cevherleşmelerinden alınan örneklerin 13 tanesi analize tabi tutulmuştur. Kıymetli metal analiz sonuçları elde edilmiştir.
- ✓ Ülkemizde ilk defa sülfürlü mineraller içinde kıymetli metallerin hangi jeokimyasal kurallara göre yer alabilecekleri incelenmiştir. Bunun sonucu olarak:
 - Ge, Ag ve In elementlerinin, galen mineralinin kristal yapısına girebilmesi yalnızca diadohik olarak mümkün olabildiği,
 - Se ve Te elementleri ise galen ve kalkopirit minerallerinin kristal yapısına hem diadohik, hem de izomorfik şekilde dahil olmuş olabileceği gibi kristal ağı normal boşluklarına da girebilecekleri belirlenmiştir.
 - Ga, Ge, Cd, In ve Tl elementleri sfalerit mineralinin yapısında ya diadohik olarak, ya da kristal ağı normal boşluklarına girerek yer alabilirler.
 - Ge, In ve Au elementleri kalkopirit mineralindeki Cu ve/veya Fe elementlerinin yerini yalnızca diadohik olarak alabilirler.
 - Au ve Se kıymetli metal elementleri diadohik olarak Fe elementinin yerini almış olabilir.
- ✓ Bağ tipleri ile ilgili şu sonuçlara varılmıştır:
 - Ge, Ag, Cd ve In elementlerinin, S elementi ile kuracağı bağın tipi orta güçte kovalent olabilir.
 - Au elementinin S elementi ile kuracağı bağ tamamen kovalent olabilir.

- Se ve Te elementlerinin, S elementi ile kuracağı bağın tipi daha çok kovalent olacaktır.
- ✓ Kıymetli metallerin ana elementler ile korelasyonları saptanmıştır:
 - Arapuçandere ve Fırıncıkdere plütojenik hidrotermal cevherleşmelerinde Au ile Cu ($r_{Au,Cu} = 0,9$), Te-Se-Ge ile Zn, Cd ile Pb elementleri arasında önemli pozitif korelasyonlar vardır.
 - Bağırkaçdere ve Handeresi skarn zonu tipi plütojenik hidrotermal cevherleşmelerinde Se-In ile Cu, Re-Ga ile Zn arasında önemli pozitif korelasyonlar vardır.
- ✓ Ekonomik önem arz eden kıymetli metal elementlerinin analizleri sonucunda başta Biga Yarımadası'ndakiler olmak üzere Türkiye Pb-Zn-Cu yataklarının kıymetli metal elementleri bakımından detaylı araştırılması gerektiği görülmüştür. Çünkü incelenen bir çok kıymetli metal, bu tip yataklarda işletilebilirlik sınırlarının üzerinde değerler göstermişlerdir.
- ✓ Kullanım alanlarının önemi ve fiyatlarının yüksekliği ekonomik açıdan bu kıymetli metalleri Türkiye için önemli kılmaktadır.
- ✓ Bu araştırma sonucunda daha ayrıntılı (daha çok sayıda zuhur, sistematik çok sayıda örnek alımı, mikroskobik incelemeler vb.) çalışmaların yapılması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu tür araştırmaların sadece Biga Yarımadası için değil, Türkiye genelinde yapılması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Acar, E.**, 1972. Doğu Karadeniz Bölgesi Giresun İli Dahilindeki Bazı Bakır-Kurşun-Çinko Madenlerinin İz Elementler Yönünden Önemi, MTA, Ankara, Türkiye
- Aftabia, A., Ghodratib, Z. and Macleanc, W.H.**, 2006. Metamorphic textures and geochemistry of the Cyprus-type massive sulfide lenses at Zurabad, Khoy, Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, **xx**, 1-11
- Alpan, T.**, 1968. Kuru-Balcılar (Çanakkale) Köyleri Civarının Jeoloji Etüdü, Rapor No: 6840, MTA, Ankara, Türkiye
- Akyüz, S. ve Okay, A.**, 1998. Manyas Güneyi'nin (Balıkesir) Jeolojisi ve Mavişistlerin Tektonik Konumu, *MTA Dergisi*, **120**, 105-120
- Başar, E.**, 2005. Kişisel görüşme
- Benzaazoua, M., Marion, P., Pinto, A., Migeon, H. and Wagner, F.E.**, 2003. Tin And Indium Mineralogy Within Selected Samples From The Neves Corvo Ore Deposit (Portugal): A Multidisciplinary Study, *Minerals Engineering*, **16**, 1291-1302
- Beşir, D.**, 2003. Kuru Köyü (Lapseki-Çanakkale) Pb-Zn-Ag Yatağının Jenetik İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye
- Caner, G.**, 1968. Tras Elemanların (İz Elementler) Mineral ve Kayaçlar İçerisindeki Dağılımı, Cilt K, Sayı:4, Mad. Y. Müh. MTA Enstitüsü, Ankara, Türkiye
- Cunningham, C.G., Mcnamee, J., Vasquez, J.P. and Ericksen, G.E.**, 1991. A Model of Volcanic Dome-Hosted Precious Metal Deposits in Bolivia, *Economic Geology*, **86**, 415-421
- Ercan, T.**, 1979. Batı Anadolu, Trakya ve Ege Adalarındaki Senozoyik Volkanizması, *Yüksek Lisans Tezi*, **10**, 117-137
- Gedikoğlu, A., Özpeker, I., Engin, T., Özkan, Y.Z. ve Sarı, R.**, 2005. Biga Yarımadası'nın Metalojenisi Raporu (Yayınlanmamış), MTA Genel Müd., Ankara, Türkiye
- Gedikoğlu, A.**, 2006. Kişisel görüşme
- Goldschmidt, V. M.**, 1964. Geochemistry, Oxford University Press, England

- Gutnic, M., Monod, O., Poisson, A. and Dumont, J. F.,** 1979. Geologie des Taurides Occidentales (Turque), *Mem. Soc. Geol. Fr.*, **N**, 58-137.
- Güner, M.,** 2005. Kişisel görüşme
- Heald, P., Foley, N.K. and Hayba, D.O.,** 1987. Comparative Anatomy of Volcanic-Hosted Epithermal Deposits: Acid-Sulfate and Adularia-Secite Types, *Economic Geology*, **82**, 1-26
- İhracat Dünyası Raporu,** 01.2006. <http://www.ihracatdunyasi.com/cinko.html>
- İTÜ-MTA Projesi,** 2004. Biga Yarımadası Ekonomik Jeolojisi, Metal İşletmeleri Alt Çalışma Grubu (Yayınlanmamış Rapor), MTA, Ankara, Türkiye
- Jankovic, S.,** 1967. Wirtschaftsgeologie der Erze, Springer Verlag, Wien.
- Kasapçı, C.,** 2005. Kuzeybatı Anadolu Pb-Zn Yataklarının Jeolojisi ve Oluşumlarının Karşılaştırmalı İncelemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İÜ Fen Bil. Enstitüsü, İstanbul, Türkiye
- Krauskopf, K.B.,** 1985. Geochemistry, Çev. Aykol, A., İnan, K., Suner, F., İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Kumbasar, I. ve Aykol, A.,** 1993. Mineraloji, İTÜ Matbaası, İstanbul, Türkiye
- Makkonen, H.,** 09.2005 www.gtk.fi/explor/zinc/analyses/mustalampi_minerals.htm
- Maral, M.,** 2004. Biga Yarımadası (Çan-Yenice-Gönen) Çevresi Kömür Oluşumları, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bil. Enstitüsü, İstanbul, Türkiye
- Martí'n-Crespo, T., Vindel, E., Lo'pez-García, J.A. and Cardellach, E.,** 2004. As-(Ag) Sulphide Veins In The Spanish Central System: Further Evidence For A Hydrothermal Event Of Permian Age. *Ore Geology Reviews*, **25**, 199–219
- Monteiro, L.V.S., Bettencourt, J. S., Juliani, C. and Oliveira, T.F.,** 2005. Geology, Petrography, And Mineral Chemistry Of The Vazante Non-Sulfide And Ambro' Sia And Fagundes Sulfide-Rich Carbonate-Hosted Zn-(Pb) Deposits, Minas Gerais, Brazil. *Ore Geology Reviews*, **28**, 201-234
- Okay, A.İ.,** 1988. Çan-Yenice-Biga Arasının Jeolojisi ve Tektoniği, İTÜ Yerbilimleri ve Yer altı Kaynakları UYG-AR Merkezi, İstanbul, Türkiye
- Okay, A.İ., Siyako, M., Burkan K.A.,** 1990, Biga Yarımadasının Jeolojisi ve Tektonik Evrimi, *TPJD Bült.*, **2/1**; 83-121
- Okay, A.İ.,** 2000. Was The Late Triassic Orogeny in Turkey Caused by The Collision of An Oceanic Plateau, *The Geological Society of London*, **173**, 25-41

- Orgün, Y., Gültekin, A.H., Önal, A.,** 2003. Geology, Mineralogy And Fluid Inclusion Data From The Arapucan Pb-Zn-Cu-Ag Deposit, Çanakkale, Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, **25**, 629-642
- Palero-Fernandez, F.J., Martín-Izard, A.,** 2005. Trace Element Contents İn Galena And Sphalerite From Ore Deposits Of The Alcudia Valley Mineral Field (Eastern Sierra Morena, Spain), *Journal of Geochemical Exploration*, **86**, 1-25
- Pauling, L.,** 1960. The Nature of The Chemical Bond. 93
- Sagiroglu, A., Sasmaz, A.,** 2003. Mineralogy And Geochemistry Of The Argentiferous Pb-Zn And Cu Veins Of The Çolaklı Area, Elazig, Eastern Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, **23**, 37-45
- Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı;** 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Metal Madenler Alt Komisyonu İleri Teknoloji Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, Ankara, Türkiye <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/metalmad/oik633.pdf>
- Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı;** 2001. Demirdışı Metaller Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, <http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/oik533.pdf>
- Sezenler, H.,** 2005. Kişisel görüşme
- Sinclair, W.D., Kooiman, G.J.A., Martin, D.A. and Kjarsgaard, I.M.,** 2005. Geology, geochemistry and mineralogy of indium resources at Mount Pleasant, New Brunswick, Canada, *Ore Geology Reviews*, **28**, 123-145
- Siyako, M., Burkan K.A. ve Okay, A.I.,** 1989. Biga ve Gelibolu Yarımadalarının Tersiyer Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları, *TPJD Bült.*, **1/3**; 183-199
- Tufan, E.A. ve Kara, A.,** 1987. Çanakkale-Yenice-Vakıf Köyü Pb-Zn-Cu Cevherleşmesi Maden Jeolojisi Raporu, Proje no:86-10a, MTA Genel Müd., Ankara, Türkiye
- Türkiye İhracatçılar Meclisi Yayın Organı;** 2003. http://www.turkishtime.org/sector_2/18_tr.asp
- Ulrich, T., Golding, S.D., Kamberb, B.S., Zawc, K. and Taubed, A.,** 2002. Different mineralization styles in a volcanic-hosted ore deposit: the fluid and isotopic signatures of the Mt Morgan Au-Cu deposit, Australia, *Ore Geology Reviews*, **22**, 61-90
- Ünal, N.,** 2005. Kişisel görüşme
- U.S. Geological Survey,** 2006. Metal Industry Indicators and Nonmetallic Mineral Pruducts Industry Indexes, Mineral Commodity Summaries
- Üşümezsoy, Ş.,** 1987. Kuzeybatı Anadolu Yığılşım Orojeni: Paleotetis' in Batı Kenet Kuşağı, *TJK Bult.*, **30 (2)**, 53-62. Ankara.

Üşümezsoy, S., 1990. Istranca Orojeni: Karadeniz Çevresi Kimmerid Orojen Kuşakları ve Masif Sülfid Yarakları, *TJK Bült.*, **33 (1)**, 17-28.

www.fabre-minerals.com, 05.03. 2005

www.googleearth.com, 12.03.2006

www.rareminerals.com, 05.03. 2005

www.tsumebfineminerals.com, 05.03. 2005

Yüksel, F. A., 1993. Batı Anadolu bölgesi Serbest Hava Anomalisinin Filtrelenmesi ve Yerkabuğunun İncelenmesi, *Doktora Tezi*, İ.Ü. Fen Bilimleri Enst., İstanbul.

Yücelay, M.A., 1971. Çanakkale-Yenice-Karaköy-Arapuçandere Civarındaki Pb-Zn-Cu Cevherleşmesine Ait Jeolojik Etüd, MTA, Ankara, Türkiye

ÖZGEÇMİŞ

Çalışmacı 1981 yılında İstanbul'da doğmuş, orta öğrenimini Cibali Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1999 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne girmiş ve 2003 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Uygulamalı Jeoloji Programında öğrenimine başlamıştır. İngilizce bilmektedir ve bekardır.