

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALTIN CEVHERLERİNİN ATEŞ ANALİZLERİNDE KULLANILAN  
CURUFLAŞTIRICILARIN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Haluk Özden BAŞARAN**

**Anabilim Dalı : Metalurji ve Malz. Mühendisliği**

**Programı : Üretim Metalurjisi ve Tek. Müh.**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Onuralp YÜCEL**

**HAZİRAN 2010**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALTIN CEVHERLERİNİN ATEŞ ANALİZLERİNDE KULLANILAN  
CURUFLAŞTIRICILARIN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Haluk Özden BAŞARAN  
(506061218)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2010**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Onuralp YÜCEL (İ.T.Ü.)**

**Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Filiz Şahin (İ.T.Ü.)**

**Doç. Dr. Nilgün Kuşkonmaz (Y.T.Ü.)**

**HAZİRAN 2010**





## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin yönetimini üstlenen ve benden her konuda yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Onuralp Yücel'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İTÜ, Prof. Dr. Adnan Tekin Uygulama ve Araştırma Merkezi'ndeki hocalarım Doç. Dr. Filiz Çınar Şahin'e, Yard. Doç. Dr. Bora Derin'e, Yrd. Doç. Dr. Şeref Sönmez'e ve bu çalışmanın kimyasal analizlerini büyük bir titizlik ile yapan Kim. Müh. Z. İnci Kol'a, Yük. Kimyager Hakan Morcalı ve Kimyager Bihter Zeytuncu'ya çok teşekkürler.

Çok değerli yardımları ile yanımda olan arkadaşlarım-meslektaşlarım Öğr. Gör. Met. Müh. Ahmet Turan'a ve Araş. Gör. Met. Müh. Murat Alkan'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her zaman bana destek olan annem Kadriye Başaran'a, babam Hüseyin Başaran'a ve çalışmalarım esnasında gösterdikleri sabır ve destek için eşim Eda Başaran'a çok teşekkür ederim.

Haziran 2010

Haluk Özden BAŞARAN  
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖNSÖZ.....</b>	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>v</b>
<b>KISALTMALAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ.....</b>	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>	<b>xi</b>
<b>ÖZET.....</b>	<b>xiii</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ALTIN.....</b>	<b>3</b>
2.1 Altının Tarihçesi.....	3
2.2 Altının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	4
2.3 Altın Maden Yatakları.....	6
2.4 Dünyada Altın Üretimi, Rezervleri ve Fiyatları.....	8
2.5 Altın Üretim Yöntemleri ve Teknolojisi.....	10
2.5.1 Üretim teknolojisi.....	10
<b>3. ATEŞ ANALİZİ.....</b>	<b>17</b>
3.1 Ateş Analizinin Tanımı ve Tarihçesi.....	17
3.2 Ateş Analizinin Amaçları.....	18
3.3 Ateş Analizi Uygulamaları.....	18
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>23</b>
4.1 Deneysel Çalışmalar Kullanılan Hammaddeler.....	23
4.2 Deneysel Çalışmalar ve Karakterizasyonda kullanılan Cihazlar ve Potalar.....	25
4.3 Deneylelerin Yapılışı.....	26
4.3.1 Tane boyutu küçültme işlemleri.....	26
4.3.2 Curuflaştırıcı tür ve miktarlarının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar.....	26
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE İRDELENMESİ.....</b>	<b>31</b>
5.1 Ateş Analizinde Şarja Farklı Miktarlarda Sodyum Boraks Dekahidrat İlavesinin Etkileri.....	31
5.2 Ateş Analizinde Şarja Farklı Miktarlarda Kuvars İlavesinin Etkileri.....	34
5.3 Ateş Analizinde Şarja Farklı Miktarlarda Boraks ve Kuvars İlavesinin Etkileri.....	37
5.4 Ateş Analizinde Kalsine Edilmiş Cevherin Ergitme Şarjına Farklı Miktarlarda Boraks ve Kuvars İlavesinin Etkileri.....	41
<b>6. GENEL SONUÇLAR.....</b>	<b>45</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>47</b>



## **KISALTMALAR**

<b>AAS</b>	: Atamik Absorbsiyon Spektrometresi
<b>ICP</b>	: Endüktif Kuplajlı Plazma Spektrometresi
<b>XRD</b>	: X-Işınları Difraksiyon Spektrometresi
<b>XRF</b>	: X-Işınları Floresans Spektrometresi



## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1: Dünya altın üretim ve rezervleri. ....	8
Çizelge 2.2: Merkez bankalarının altın stokları .....	9
Çizelge 2.3: Dünya altın talebi.....	9
Çizelge 4.1: Deneylerde kullanılan cevherin XRF ile elde edilmiş kantitatif analizi. 24	
Çizelge 4.2: Öğütme sonrası altın cevherinin elek analizi. ....	24
Çizelge 4.3: Cevherin ortalama tane boyutunun hesaplanması. ....	25
Çizelge 4.4: Sodyum boraks dekahidrat ilavesi ile gerçekleştirilen deneyler için hazırlanan şarj karışımı.....	27
Çizelge 4.5: Kuvars ilavesi ile gerçekleştirilen deneyler için hazırlanan şarj karışımı... ..	28
Çizelge 4.6: Boraks ve kuvars ilavesi ile gerçekleştirilen deneyler için hazırlanan şarj.....	28
Çizelge 4.7: Kalsine cevhere boraks ve kuvars ilavesi ile gerçekleştirilen deneyler için hazırlanan şarj karışımı. ....	29
Çizelge 5.1: Şarja sodyum boraks dekahidrat ilavesi ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları. ....	31
Çizelge 5.2: Şarja kuvars ilavesi ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları. ....	35
Çizelge 5.3: Şarja kuvars ve boraks ilavesi ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları.....	38
Çizelge 5.4: Şarja kalsine cevher, kuvars ve boraks ilavesi ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları.....	41



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Antik Yunan döneminden kalma altın bir maske .....	3
Şekil 2.2: Periyodik cetvelde altının yeri.....	4
Şekil 2.3: Türkiye altın ve gümüş maden yatakları.....	6
Şekil 2.4: Bir jeotermal sistem tarafından oluşturulan epitermal altın yataklarının şematik kesiti .....	7
Şekil 2.5: Epitermal altın yataklarının oluşumlarına sebep olan jeotermal sistemin şematik kesiti .....	7
Şekil 2.6: Dünya altın fiyatlarındaki değişim .....	9
Şekil 2.7: Altın üretim prosesleri .....	12
Şekil 2.8: Yığın liçi .....	13
Şekil 3.1: De Re Metallica kitabından ateş analizini anlatan bir resim.....	18
Şekil 3.2: Ateş analizinin ergitme kademesi.....	19
Şekil 3.3: Ateş analizinden çeşitli resimler; ergitme, ergitme sonucu oluşan curuf fazı, ergitme sonucu elde edilen kurşun düğme ve küpelasyon sonucu elde edilen soy metal içeren boncuk.....	21
Şekil 4.1: Deneylerde kullanılan cevherin XRD paterni. ....	23
Şekil 4.2: Yürütülen deneylerin iş akış şeması. ....	27
Şekil 5.1: Şarj bileşimine boraks ilavesi ile elde edilen kurşun düğme ağırlıklarının değişimi. ....	32
Şekil 5.2: Şarj bileşimine boraks ilavesi ile elde edilen boncuk ağırlıklarının değişimi. ....	32
Şekil 5.3: Şarj bileşimine boraks ilavesi ile cevherin ölçülen Au miktarlarının değişimi. ....	33
Şekil 5.4: Şarj bileşimine boraks ilavesi ile elde edilen curufun XRD paterninin değişimi. ....	33
Şekil 5.5: Şarj bileşimine kuvars ilavesi ile elde edilen kurşun düğme ağırlıklarının değişimi. ....	35
Şekil 5.6: Şarj bileşimine kuvars ilavesi ile elde edilen boncuk ağırlıklarının değişimi. ....	36
Şekil 5.7: Şarj bileşimine kuvars ilavesi ile cevherin ölçülen Au miktarlarının değişimi. ....	36
Şekil 5.8: Şarj bileşimine kuvars ilavesi ile elde edilen curufun XRD paterninin değişimi. ....	37
Şekil 5.9: Şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile elde edilen kurşun düğme ağırlıklarının değişimi. ....	39
Şekil 5.10: Şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile elde edilen boncuk ağırlıklarının değişimi. ....	39
Şekil 5.11: Şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile cevherin ölçülen Au miktarlarının değişimi. ....	40
Şekil 5.12: Şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile elde edilen curufun XRD paterninin değişimi.....	40

<b>Şekil 5.13:</b> Kalsine edilmiş cevherin şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile elde edilen kurşun düğme ağırlıklarının değişimi. ....	42
<b>Şekil 5.14:</b> Kalsine edilmiş cevherin şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile elde edilen boncuk ağırlıklarının değişimi. ....	42
<b>Şekil 5.15:</b> Kalsine edilmiş cevherin şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile cevherin ölçülen Au miktarlarının değişimi. ....	43
<b>Şekil 5.16:</b> Kalsine edilmiş cevherin şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile elde edilen curufun XRD paterninin değişimi. ....	44

## ALTIN CEVHERLERİNİN ATEŞ ANALİZLERİNDE KULLANILAN CURUFLAŞTIRICILARIN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

### ÖZET

Ateş analizi kıymetli metallerin cevher içindeki oranlarının tespitinde en iyi ve en güvenilir sonuçlar veren başlıca yöntemdir. Cevherlerin, flaks, kurşun oksit ve redükleyici ilaveler ile ergitilmesi, kıymetli metallerin metalik kurşun fazından ayrılması ve nihayetinde elde edilen kıymetli metallerin analiziyle sonuçlanan işlemlerinden oluşur.

Bu çalışma ateş analizinde kullanılan curuflaştırıcıların tür ve miktarlarının ateş analizine olan etkilerini incelemek amacı ile yapılmıştır. Cevherlerde altın içeriğini öğrenmek için önce cevher numuneleri öğütülmüş ve daha sonra karakterizasyonu için elek analizi, XRF (X-Işınları Floresans Spektrometresi), XRD (X-Işınları Difraksiyonu) ve AAS (Atomik Absorbsiyon Spektrometresi) teknikleri kullanılmıştır. Karakterizasyonu yapılan cevher çeşitli flakslar, kurşun oksit (PbO) ve redükleyici olarak un kullanılarak ergitilip şarj soğutulduktan sonra oluşan curuf ve metalik kurşun fazları birbirinden ayrılmıştır. Elde edilen soy metal içeren kurşun fazları küpelyasyon işlemine tabi tutulmuştur. Küpelyasyon sonucunda elde edilen altın-gümüş alaşımı boncuk önce nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ile çözülerek içeriğindeki gümüş uzaklaştırılmıştır. Daha sonra arta kalan kalıntısı kral suyu (1 mol nitrik asit, 3 mol HCl (hidroklorik asit) ile çözülüp AAS ve ICP cihazları ile cevherdeki altın miktarları hesaplanmıştır.

Yapılan ilk deneylerde, kurşun oksit (PbO), un, sodyum karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ve değişik miktarlarda asidik bir curuflaştırıcı olan sodyum boraks deka hidrat (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O) ilave edilerek oluşturulan şarjlarla bir deney seti oluşturulmuştur. Şarjlar 1100°C'de bir saat ergitilip sonra soğutulmaya bırakıldıktan sonra curuf ve metalik kurşun fazları birbirinden ayrılmıştır. Kurşunlar küpelyasyona tabi tutularak altın gümüş alaşımli boncukların önce nitrik asit ile gümüş içerikleri uzaklaştırılmış

daha sonra geriye kalan kalıntılar kral suyu ile çözdürölüp AAS ve ICP cihazlarında altın değerleri tesbit edilmiştir. Bu deney setinde en yüksek altın değeri 2,71 ppm olup 40 gram boraks ilavesiyle elde edilmiştir. Ayrıca curuf viskozitelerinin şarjdaki sodyum boraks dekahidrat miktarının artışı ile düştüğü gözlemlenmiştir.

İlk hazırlanan deney setine benzer olarak ikinci bir set hazırlanmış yalnız bu defa boraks dekahidrat yerine değişen oranlarda yine asidik bir curuflaştırıcı olan kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) ergitme şarjına ilave edilmiştir. şarjlar  $1100^\circ\text{C}$ 'de bir saat süre ile ergitilip soğutulduktan sonra curuf ve metalik kurşun fazları birbirlerinden ayrılmıştır. Yapılan küpelasyon ve çözümlendirme işlemlerinden sonra bu deney setinde en yüksek altın değeri 2,06 ppm olup 60 gram silika ilavesiyle elde edilmiştir. Ancak önemle altı çizilmesi gereken bir husus, kuvars ilavesi ile yapılan ergitme işlemlerinde çok viskoz bir curuf yapısı elde edilmiştir. Viskozite kuvars ilavesinin artışı ile bir miktar düşse de bazı deneylerde metalik kurşun yapısının ayrı bir faz olarak potanın alt kısmında toplanmasına olanak tanımayacağı kadar viskoz olduğu gözlemlenmiştir.

## **INVESTIGATION OF EFFECTS OF FLUX MATERIALS WHICH ARE USED ON THE FIRE ASSAY OF GOLD ORES**

### **SUMMARY**

Fire assay is a method which gives accurate and precise results of gold in the ore. Fire assay method has three steps. These are melting of some ore sample with fluxes, lead oxide, and reductant, separation of precious metals from metallic lead, finally analyzing of precious metals.

The aim of studying this subject is investigation of effect of amount and kind of slugs which are used in fire assay. Before analysis, some ore samples are ground. For characterization of ore, sieve analysis, XRF, XRD and AAS techniques are used. After the characterization, the mixture of flux, lead oxide, and wheat as a reductant is smelted. Then it is cooled to room temperature. After cooling, the smelted mixture converts to two phased structure that are slug phase and metallic phase. Then pot with mixture is broken to separate the metallic phase from slug phase. After separation, cupellation process is applied to metallic lead to gather the gold–silver alloy bead from the lead. Then the gold-silver alloy bead solved in nitride acid to purify the gold. After that, the precipitate gold is solved in aqua reggia. Finally, the amount of gold in the ore is determined by ASS and ICP.

In the first experiment the amount of additives such as fluxes, lead oxide, wheat and borax in changing amounts are determined for the first experiment set. The mixture is smelted at 1100°C in an hour. Then it is cooled down to room temperature. After, the metallic lead is sepatared from slug phase. After separation, cupellation process is applied to metallic lead to gather the gold –silver alloy bead from the lead. Then the gold-silver alloy bead solved in nitride acid to purify the gold. After that, the precipitate gold is solved in aqua reggia. Finally, the amount of gold in the ore is determined by ASS and ICP. The highest amount in this experiment set is 2,71 ppm by adding 40 grams borax decahydrate. It is observed that addition of the borax decahydrate decreases the viscosity of the charge.

In the second experiment the amount of additives such as fluxes, lead oxide, wheat and silicate in changing amounts-instead of borax decahydrate are set. The mixture is smelted at 1100°C in an hour. Then it cooled down to room temperature. After, the metallic lead is separated from slag phase. After separation, cupellation process is applied to metallic lead to gather the gold –silver alloy bead from the lead. Then the gold-silver alloy bead is dissolved in nitric acid to purify the gold. After that, the precipitated gold is dissolved in aqua regia. Finally, the amount of gold in the ore is determined by AAS and ICP. The highest amount in this experiment set is 2,06 ppm by adding 60 grams of quartz. It is also seen that addition of the quartz increases the viscosity of the charge. Although the viscosity gets lower, the viscosity does not still allow the formation of metallic lead phase at the bottom of the pot.

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Ateş analizi geleneksel bir analiz yöntemi olup altın, gümüş ve platin grubu metallerin cevher ve konsantrelerinin analizlerinde güvenilir sonuçlar verdiği için dolayısıyla sıkça tercih edilmektedir. Agricola tarafından 1556 yılında yazılan *De Re Metallica* adlı kitapta milattan önceki devirlerden beri kullanıldığı anlatılmakta ve temel prensipleri ortaya koyulmaktadır [1].

Ateş analizi metodunda, öncelikli olarak cevherler ince bir şekilde öğütülüp sodyum karbonat ( $\text{NaCO}_3$ ), boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), kurşun oksit ( $\text{PbO}$ ), silika ( $\text{SiO}_2$ ) ve karbon kaynağı olarak un ile karıştırılarak bir şarj hazırlanmaktadır. Bu şarj seramik potalarda ergitilmekte ve ergitme işlemi sonucunda soy metaller kurşun oksitle beraber redüklenerek metalik kurşun fazında toplanmaktadır [1].

Elde edilen kurşun düğme curuftan ayrıldıktan sonra içindeki soy metaller küpelyasyon adı verilen bir yöntemle kazanılmaktadır.  $950^\circ\text{C}$ 'de küpelyasyon fırınında okside olmuş kurşunu absorblayan küpel adı verilen bir potada küpelyasyon işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemin sonucunda soy metaller boncuk halinde küpelde kalır. Bu boncuktan gümüşü elemine etmek için nitrik asit liçi kullanılır. Nitrik asitte çözünerek gümüşten ayrılan kalıntının içeriğindeki soy metaller farklı analiz teknikleri tespit edilir [1].

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de altın fiyatları gün geçtikçe atmaktadır. Bu fiyat artışları dahi altına olan talebi durduramamıştır. Bu durum 6500 tona kadar yükselen altın potansiyeli olan ülkemizi olumlu yönde etkilemiştir. Türkiye'nin altın potansiyeli her geçen gün artmakta ve bu potansiyeller aynı hızda işlenebilir rezerv haline dönüşmektedir [2].

Bu çalışmanın amacı, altın cevherinin ateş analizinde kullanılan curuflaştırıcıların etkilerinin incelenmesidir. Bu amaç ile cevherler, ateş analizinin ergime kademesinde farklı tür ve miktarlarda curuflaştırıcılar ile muamele edilmiş ve yürütülen bu deneylerin altın kazanımlarına olan etkileri detaylı bir biçimde irdelenmiştir.



## 2. ALTIN

### 2.1 Altının Tarihçesi

Yer kabuğunda en az bulunan elementlerden biri olma özelliğinin yanında; altın, doğada bilinen en iyi iletkendir. Ayrıca su ve oksijenle reaksiyona girmez, yani oksitlenmez. Bu özelliğinden dolayı elektronik, sağlık ve uzay sanayinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Altının kolay işlenebilir özelliğe sahip olması ona şekil vermede olağanüstü bir üstünlük sağlamaktadır. Bu nedenle altın kuyumculuk ve mücevherat sanayinin vazgeçilmez metalidir. Tarih boyunca gücün, güzelliğin ve ihtişamın simgesi olmuştur. Altının en önemli özelliği ise çağlar boyunca en güvenilir yatırım aracı olmasıdır [3].



**Şekil 2.1:** Antik Yunan döneminden kalma altın bir maske [4].

İlk olarak Doğu Avrupa'da M.Ö 4000 yıllarında dekoratif objeler olarak üretilip kullanılmaya başlanmıştır. M.Ö. 3000 yıllarında Sümerler bugünkü takı modellerini yapmışlardır. M.Ö. 1500 yıllarında Mısır, Nubia'daki geniş altın yatakları bu ülkeyi

döneminde dünyanın en zengin ülkesi yapmıştır. Bununla beraber altın uluslararası para değişim aracı olarak da kabul edilmiştir. Ayrıca bu dönemde altın ile gümüşü alıştırmayı da başarmışlardır. M.Ö. 1350 yıllarında Babilliler altının saflığını ölçme de ateş analizini kullanmışlardır. Altının para olarak kullanılması M.Ö. 560 yıllarında Lidyalı Krallığı zamanındadır. John Stewart McArthur 1887 yılında İngiltere’de siyanür liçi prosesiyle altın kazanımı patentini alarak altın madenciliğinde bir cığır açmıştır [5].

## 2.2 Altının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Altın, formülü Au, sertliği 2,5 – 3,0 yoğunluğu 19 – 19,3 ve kübik sistemde kristallenen bir metaldir. Rengi parlak sarı, sarı metalik, veya yeşilimtrak sarıdır. Çizgi rengi de aynıdır. Kral suyunda çözünmektedir. Dövülebilir, levha ve tel haline getirilebilir. Madensel parıltılıdır. İçinde Ag ve bazen de Cu bulundurabilir. Primer kaynaklarında kuvars, damar pirit ve arsenopiritle beraber bulunabilmektedir. Sekonder olarak da alüvyonlarda ve lateritlerde bulunur. Başlıca kullanım alanları; para değeri olarak, ziynet ve süs eşyası üretimi, tıp ve elektronik sanayii ve kimya sanayiidir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri altın (Au), atom numarası 79 olan ve atom ağırlıkları 192 ile 206 arasında değişen 14 izotopu bulunan bir elementtir. En yaygın ve kararlı izotopu 197 Au izotopudur. Özgül ağırlığı 19,3 gr/cm<sup>3</sup> dür. 1063°C de erir. 2970°C de kaynar. Elektrik ve ısı iletkenliği gümüşün %70 i kadardır. 0,0001 mm inceliğe getirilebilir.

**Altın (Au)**

Periyodik cetvel

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Şekil 2.2: Periyodik cetvelde altının yeri [6].

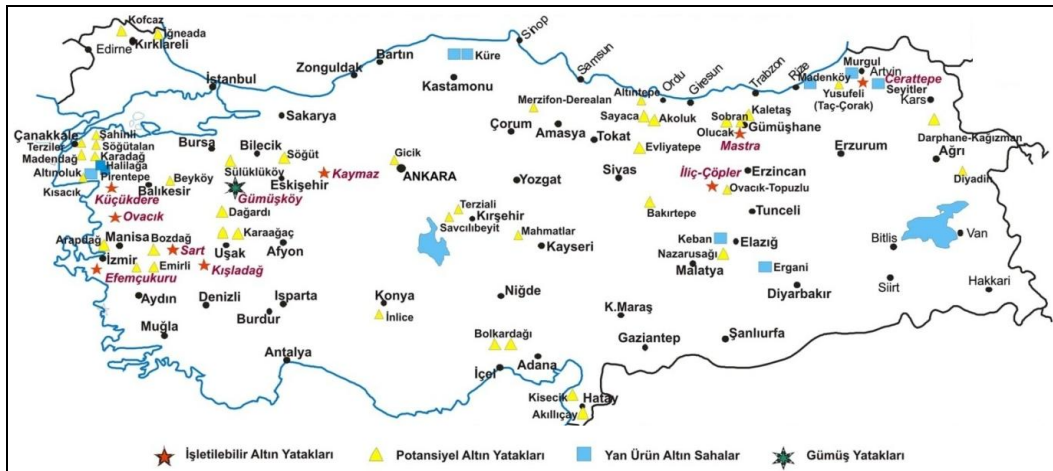
Altın, hava şartlarından ve tek başına hiç bir asitten etkilenmeyen bir metaldir. Ancak kral suyu (1 mol derişik  $\text{HNO}_3$  + 3 mol derişik  $\text{HCl}$ ) ve klorlu su ( $\text{HClO}$ ) gibi çok kuvvetli oksidasyon araçlarında çözünür. Klor ve brom ile tepkimeye girer, civada ise çözünür. Doğada genellikle elementel olarak bulunur. Bileşikleri +1 ve +3 değerlidir. Altın ne en kıymetli, ne de pek nadir olarak bulunan bir metaldir. Buna rağmen ticaret hayatının temelini teşkil eder. Metalik özelliklerinden dolayı bir çok yerde kullanılır. Altın insanlar tarafından ilk olarak bilinen ve kullanılan metaldir. Arkeolojik incelemelerden M.Ö. 5000 yıllarından beri kullanıldığı anlaşılmıştır. Altını tabii halde bulan ilk insanlar, yumuşaklığından dolayı onu kolay bir şekilde işleyerek değerlendirmişlerdir. Kolay işlenebilme özelliğinden dolayı bugün de kuyumculukta yaygın olarak kullanılmaktadır. Altının sertliğini ve dayanıklılığını arttırmak için bakır karıştırılır. % 100 saf altın 24 ayar olarak kabul edilir. 18 ayar altın % 75 altın içeren karışım anlamına gelmektedir. 18 ayar altın alaşımları katılan gümüş ve bakır miktarlarına göre değişik renkler alır. % 25 gümüş yeşil altını, % 12,5 gümüş ve % 12,5 bakır sarı altını, % 0,6 gümüş ve % 19 bakır pembe altını, % 25 bakır kırmızı altını oluşturur. 14 ayar altın ise 14/24 yani % 60 altın ihtiva eder. Beyaz altın alaşımı da, Cu, Zn, Ni ve Pd karışımıdır. Üretilen altının büyük bir kısmı darphanelerde para karşılığı olarak stok edilmekte, yani uluslararası mali işlerde kullanılmaktadır. Geri kalan kısmı ise, kuyumculuk ve süs eşyası, elektronik ve bilgisayar endüstrisi, kimya ve ilaç endüstrisinde tüketilmektedir. Sanayide altın, altın-gümüş ve altın-paladyum alaşımları elektrik anahtar kontaklarında, elektronik devrelerde, telefon santrallerinde ve uzay araçlarında kullanılır. Altın-bakır ve altın-gümüş-bakır-çinko-kadmiyum alaşımlarından lehim işlerinde faydalanılır. Dışılıkte kullanılan altın-bakır-gümüş alaşımlarından yavaş yavaş vazgeçilmekte ve onun yerine daha ekonomik olduğu için altın oranı % 15 in altında olan, altın-gümüş-bakır-platin-paladyum-iridyum alaşımları kullanılmaktadır. Altın, elektrik ve ısı iletkenliği, sıcakta yükseltgenmemesi, kimyasal aşınmalara karşı dayanımı gibi özellikleri nedeni ile aranan bir metaldir. Saf altından düşük sertliği, dövülebilirliği gibi mekanik özellikleri nedeni ile laboratuvar araç ve gereçleri yapımında da kullanılır. Daha iyi mekanik özelliklerin gerekli olduğu durumlarda altın, diğer metaller ile alaşım yapılarak kullanılır. Altının alaşım yaptığı metaller şunlardır: gümüş, bakır, nikel, çinko, platin, paladyum ve indiyum. Bu alaşımlara ısıl işlemler ile istenilen özellikler kazandırılabilir [7].

## 2.3 Altın Maden Yatakları

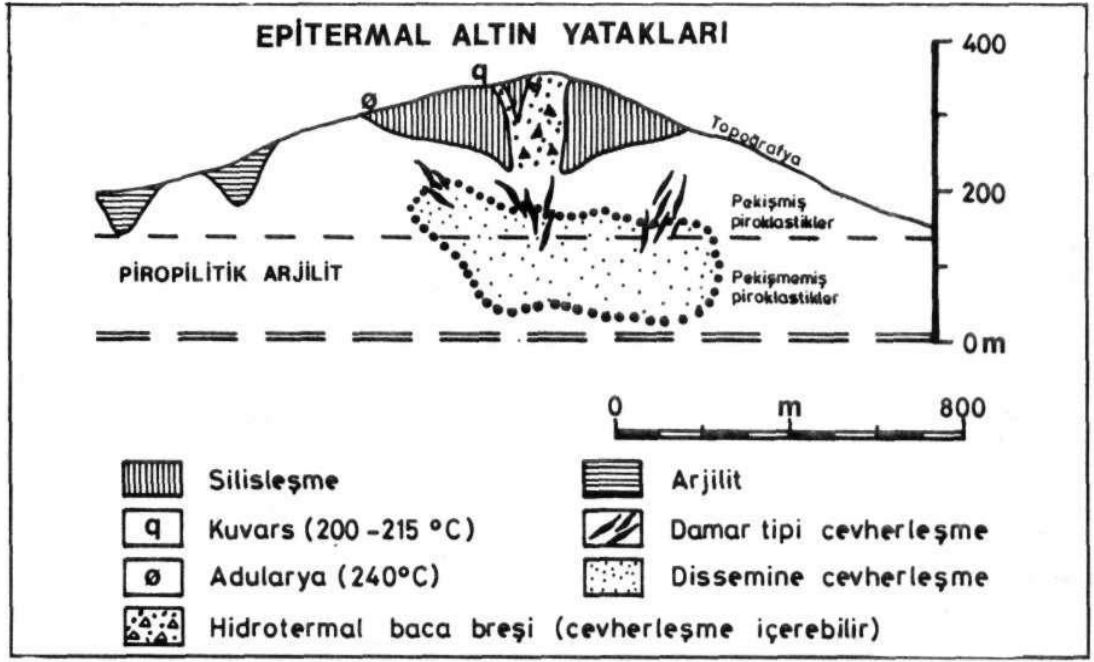
Altın yatakları jeolojik ortamda ve çok çeşitli kaya tiplerinde görülmekte olup bugüne kadar farklı ölçütlere dayandırılmış çeşitli sınıflandırmalarla altın oluşumları açıklanmıştır. Genel olarak altın yatakları aşağıdaki gibi gruplara ayrılır:

- Yüksek sıcaklıkta oluşmuş (mezotermal) altınlı kuvars damarları.
- Düşük sıcaklıkta oluşmuş, {epiternal) altın yatakları.
- Bünyesinde altın da bulunduran, masif silfid porfiri bakır ve skarn yataktan.
- Cevherleşmelerden türemiş, plaserler.

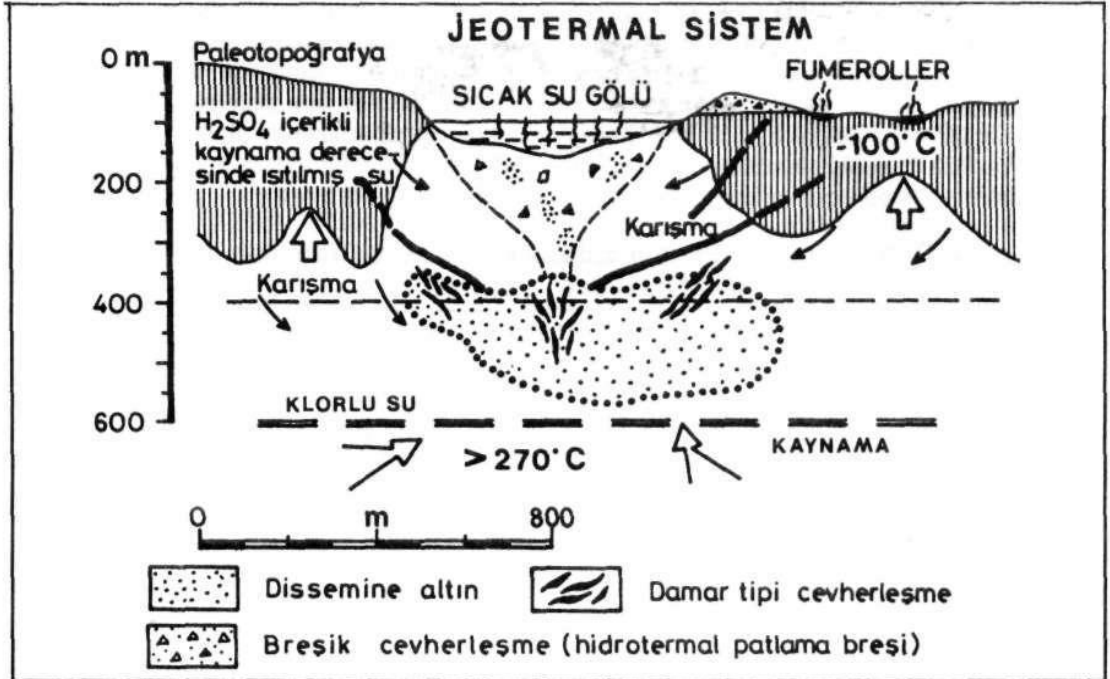
Son yıllarda altın üretimindeki en önemli gelişme epitermal altın yataklarındaki gözle görülmeyen altının siyanürleme tekniği kullanılarak kazanılmasıyla olmuştur. Epitermal anlam olarak yüzeye çok yakın, değişik sıcaklıkta (200°C'nin altında) oluşmuş hidrotermal cevherleşmeleri tanımlanır. Termal kaynaklarla olan ilişkileri sebebiyle jeotermal sistemlerin fosil eşdeğerleri olarak kabul edilirler. Epitermal yataklar kuvars damarları, ağsal damarlar veya saçınımlar biçiminde oluşabilir. Cevher içinde altın tanecikleri mikroskopla bile görülemeyecek kadar ince olabilir ve kaya içinde saçınımlar halinde bulunurlar. Bundan dolayı işletilen cevherlerin tenörleri düşüktür, buna karşılık rezervler çok büyüktür (örnek olarak Round Mountain, ABD; 1,2 gr/ton, 195 milyon, ton) [8]



Şekil 2.3: Türkiye altın ve gümüş maden yatakları [9]



Şekil 2.4: Bir jeotermal sistem tarafından oluşturulan epitermal altın yataklarının şematik kesiti [10].



Şekil 2.5: Epitermal altın yataklarının oluşumlarına sebep olan jeotermal sistemin şematik kesiti [10].

## 2.4 Dünyada Altın Üretimi, Rezervleri ve Fiyatları

Türkiye'nin öngörülen altın potansiyeli 6 bin 500 tondur. Bu potansiyelin 700 tonu rezerv haline gelmiştir. Geri kalanı ise arama çalışmalarına ağırlık verilerek belirlenecektir. Aramalar devam ettikçe bu rakamın artması beklenmektedir. Ülkemiz rezervleri 1990 yılında 16 ton iken 2000'de 340 tona, 2008 yılında ise 700 tona ulaşmıştır.

Türkiye'nin 2000 yılında altın üretimi bulunmazken 2001 yılında bu rakam 1.4 tona, 2008 yılında ise 11 tona ulaşmıştır. 2009 yılı sonu için öngörülen rakam 11 ile 16 ton arasındadır. 2011'de planlanan madenlerin üretime geçmesiyle ise ülkemiz altın üretiminin 38 tona çıkması beklenmektedir [2].

**Çizelge 2.1:** Dünya altın üretim ve rezervleri [2].

Ülke	Primer Kaynaklardan Üretim (Ton)		İşletilebilir Rezerv	Potansiyel Rezerv
	2007	2008 (Tahmini)		
A.B.D.	238	230	3,000	5,500
Avusturalya	246	225	5,000	6,000
Brezilya	40	40	2,000	2,500
Kanada	101	100	2,000	4,200
Çin	275	295	1,200	4,100
Şili	42	42	2,000	3,400
Gana	84	84	1,600	2,700
Endonezya	118	90	3,000	6,000
Meksika	39	41	1,400	3,400
Peru	170	175	1,400	2,300
Papua Yeni Gine	65	65	1,300	2,300
Rusya	157	165	5,000	7,000
Güney Afrika	252	250	6000	31,000
Özbekistan	85	85	1,700	1,900
Diğer Ülkeler	471	440	10,000	22,000
Dünya Toplamı	2,380	2,330	47,000	100,000
Türkiye	9	9	700	6,500

Altın fiyatları her sene artış göstermekte olup günümüzdeki ekonomik ve siyasi gelişmeler ışığında uzmanlar, önümüzdeki yıllarda da artış göstereceğini her fırsatta dile getirmektedirler. Altının en güvenilir yatırım aracı olması bu artışlara işaret etmektedir [2].



**Şekil 2.6:** Dünya altın fiyatlarındaki değişim [2].

**Çizelge 2.2:** Merkez bankalarının altın stokları [11].

Sıra	Ülke	Ton
1	ABD	8133
2	Almanya	3417
3	IMF	3217
4	Fransa	2622
5	İtalya	2451
6	İsviçre	1163
7	Japonya	765
8	Hollanda	624
9	ECB	604
10	Çin	600
29	Türkiye	116
	Diğerleri	6243
	<b>TOPLAM</b>	<b>29.955</b>

**Çizelge 2.3:** Dünya altın talebi [11].

Sektör Talebi	2003	2004	2005	2006	2007
Mücevherat & Kuyumculuk	2477	2613	2712	2283	2425
Endüstri ve Dişçilik	381	410	430	458	465
Para ve Madalya Basımı	332	473	593	659	656
<b>TOPLAM</b>	<b>3190</b>	<b>3495</b>	<b>3731</b>	<b>3400</b>	<b>3547</b>

## 2.5 Altın Üretim Yöntemleri ve Teknolojisi

Altın kazanımı üç metod ile yapılır. Birinci metod, direkt olarak birincil kaynaklar kullanılmak suretiyle altın cevherlerinden, diğer metod ikincil kaynaklardan yapılan üretilimdir (rafine bakır ve diğer temel metallerin üretiminde yan ürün olarak). Üçüncü metod altın hurdalarının yeniden değerlendirilmesi ile yapılan üretilimdir. Bu yöntem direkt bir üretim yöntemi sayılmamakta ve bir geri dönüşüm prosesi olarak değerlendirilmektedir [12].

### 2.5.1 Üretim teknolojisi

Altın cevherinin zenginleştirmesinde gravimetrik yöntem, flotasyon ve otomatik ayıklama yöntemleri kullanılır. Gravimetrik yöntem altının serbest ve iri taneli olduğu zaman, özellikle plaser tipi yataklar tercih edilmektedir. Flotasyon yöntemi ise serbest, ince taneli altın veya altın içeren sülfürlü, tellürlü minerallerin konsantrelerini elde etmekte kullanılır. Tane küçültme sırasında altın içeren tanelerle gang mineralinin kolay ayrılabilirdiği durumlarda otomatik ayıklama yöntemlerinden faydalanılır. Altın kazanımı öncesi, malzemenin karakterine bağılı olarak, oksitleyici kavurma, klorlama, aglomerasyon gibi farklı ön işlemlerde gerekebilmektedir. Klorlamadaki amaç, altın cevherlerinde bulunabilen karbon veya hümik asidin oksitlenmesini sağlayarak siyanürleme sırasında oluşan altın-siyanür bileşiklerinin karbonlu bileşiklerce adsorblanmasını engellemektir. Aglomerasyon işlemi ise yığın öncesi uygulanan, yığını oluşturan cevher tanelerinin düzgün dağılımını sağlamakta ve liç çözeltisinin yığının her tarafına ulaşabilmesi sonucu liç veriminde bir artış sağlamaktadır. Altının üretimi konusunda uygulanmakta olan metodlar amalgamasyon, klorlama ve siyanürleme olmak üzere başlıca üç kısımda ele alınabilmektedir. Bununla beraber, asidik ortamda tiyoüre (veya benzeri çözücüler) liçi konusunda da çeşitli araştırmalar halen devam etmektedir [12].

#### 2.5.1.1 Amalgamasyon

Amalgamasyon en eski yöntemlerden birisi olup altının civa ile  $AuHg_2$ ,  $Au_8Hg$  gibi bileşikler oluşturabilme özelliğine dayanmakta ve genellikle de gravimetrik yöntemle zenginleştirilmiş konsantrelere uygulanmaktadır. Amalgamasyonun uygulanabilmesi için cevherde civa ile tepkimeye giren arsenik, antimuan, bizmut ve sülfürlü

minerallerin bulunmaması ve altın yüzeylelerinin de temiz olması çok önem arz etmektedir. Bu yöntem, cıvanın çok toksik bir bileşik olması nedeniyle giderek önemini yitirmektedir [12].

### 2.5.1.2 Klorlama

Bu yöntem arsenikli cevherler için ilk defa 1848 yılında kullanılmıştır. Bu metotta yıkama yoluyla ortandan ayrılan altın, çeşitli çöktürme yöntemleri ile kazanılır. Bu Yöntem, ön kavurma işlemini takiben, sülfürlü ve tellürlü cevher ve konsantrelere uygulanabilir [12].

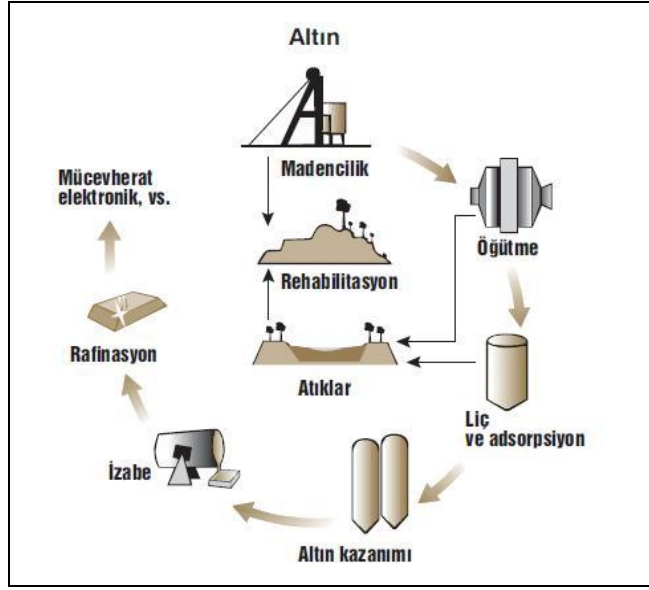
### 2.5.1.3 Siyanürleme

1948 yılında altının seyreltik KCN çözeltilerinde çözüldüğü ilk kez L.Elsner tarafından açıklanmıştır. Altının siyanür liçi ile kazanımını öngören ilk yöntem ise J. S. Mac Arthur tarafından geliştirilmiş ve bu konuda ilk patent 1887 yılında İngiltere’de alınmıştır. Bu yöntem, altın içeren taneciklerin çok ince olması (50 mm) veya tenörün çok düşük olması nedeniyle yerçekimi ve/veya flotasyonla zenginleştirme yapılmaması durumlarında, kullanılmaktadır. Bu amaçla uygulamada kullanılan siyanür çözeltisinin derişimi genellikle 0,25-0,50 kg/m<sup>3</sup> su arasında olmaktadır [12].

Aşağıda verilen denklem siyanürleme tepkimesini ifade edilmektedir.



Yukarıdaki tepkimede, altının çözünmesinin gerçekleşebilmesi için oksitleyici bir ortam gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, çözeltiliye kireç veya sodyum hidroksit ilave edilerek pH’ın 10-11 arasında olması sağlanmakta ve öldürücü bir gaz olan HCN oluşması önlenmektedir [12]



**Şekil 2.7:** Altın üretim prosesleri [13]

Siyanürleme yapılmadan önce cevher veya konsantre mineralojik analize tabi tutularak safsızlıkların karakterinin ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Kısmen oksitlenmiş As, Sb, Zn, Fe ve Cu sülfürlerin siyanür tüketme, karbonlu bileşiklerin metal siyanürleri adsorblama ve organik maddelerin de liç çözeltisindeki çözünmüş oksijeni tüketme özellikleri vardır. Ayrıca, yükseklik ve azalan sıcaklıkla kullanılabilir oksijenin azalmasından ötürü liç hızında bir azalma olacaktır. Siyanür liçi, siyanür çözeltilerinin çok zehirli olmasına rağmen, ekonomik bakımdan en fazla tercih edilen metodur. Bu metod, yığın liçi ve karıştırmalı tank liçi olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir [12].

### **Yığın liçi**

İlk yatırım ve işletme giderlerinin düşük olması ve düşük tenörlü cevherlere uygulanabilmesinden dolayı, altın kazanım veriminin % 60-70 dolaylarında olmasına rağmen, en fazla kullanılan metodtur. Altın tanecikleri ince bir halde saçıldığı için, içinde siyanür tüketici safsızlıklar bulunmayan, oluşturulan yığının yeterince porlu olması durumlarında tonda 1 gramdan itibaren Au içeren cevherlere uygulanır. Cevherde bulunan kil miktarının yüksek olması durumunda yığın hazırlanmadan hemen önce portland çimentosu, kireç veya su kullanılarak aglomerasyon yapılmakta ve besleme çözeltisinin yığında düzenli akışı sağlanır. Ön laboratuvar deneyleri olan

kolon liçi deneyleri ve küçük bir yığında gerçekleştirilen pilot çalışmayı takiben büyük çaplı bir uygulamaya geçilir. Yığıcı oluşturacı cevher, bazı safsızlıklarını uzaklaştırılması veya bazı katkı maddelerinin ilavesi gibi işlemlerden geçirilir. Örnek vermek gerekirse, uygun pH'ın sağlanması için cevherin yığıcı oluşturmadan önce NaOH veya kireç ile belirli oranlarda karıştırılması gerekmektedir. Ön hazırlık işlemleri tamamlanan cevher, kil, asfalt veya plastik bir malzemedan oluşan hafif eğimli siyanür havuzundan temin edilen siyanür çözeltisi ile yağmurlama, boru ağı gibi sistemlerle liç işlemine sokulur ve altın içeren çözelti kazanılır. Çözelti arıtımı ve çözülden değerli ürünün kazanılmasını takiben pH ve siyanür iyonu değişimi ayarlandıktan sonra çözelti tekrar kullanılmak üzere değerlendirilir. Altın içeren çözülden altının kazanımı çinko ile çöktürme veya aktif karbon kullanarak adsorbsiyon yoluyla gerçekleştirilir. Diğer alternatif kazanım yöntemleri ise iyon değişimi, elektro kazanım ve alüminyum tozu olarak sıralanabilir [12].



**Şekil 2.8:** Yığıcı liçi [14].

### **Karıştırılmalı tank liçi**

Bu metod yüksek tenörlü cevherlere uygulanır. Cevher 0,25 mm'nin altına öğütüldükten sonra siyanür çözeltisi ile karıştırılıp ortama hava verilir. Bundan dolayı, hava karıştırılmalı Pachuca tankları, hava ve mekanik karıştırılmalı Dorr ajitatörü gibi uygun bir tank kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıklarda oksijen aktifliğinin azalması altının çözünürlüğünü olumsuz yönde etkiler. Bundan dolayı,

kış aylarının soğuk geçtiği bölgelerde belli bir süre için yığın liçi uygulamasına ara verilerek karıştırmalı tank liçi uygulaması tercih edilir [12].

Karıştırmalı tank liçi sonucunda elde edilen altın içeren çözelti çinko ile çöktürme, aktif karbon ile adsorbsiyon veya diğer alternatif yöntemlerden birisi kullanılarak değerlendirilir [12].

### **Altın içeren siyanür çözeltilerinden altının kazanılması**

Siyanür çözeltilerinden altının çöktürülmesinde kullanılan başlıca yöntem çinko ile sementasyondur. Bu yöntem, altın derişimi yüksek çözeltiler, az hacimdeki çözeltiler veya gümüş içeriği yüksek liç çözeltileri için tercih edilir. Altın içeren çözeltilere çinko tozu ilave edilerek gerçekleştirilir. Fakat çinko tozu ilave edilmeden önce çözeltinin berraklaştırılması ve oksijenin uzaklaştırılması yani deaeration gerekir. Oksijenin uzaklaştırılmaması durumunda çökelen altın serbest siyanürle tepkimeye girerek çözünür [12].

Altının çinko tozu ile çöktürülmesinde oluşan tepkime aşağıda verilmektedir ve bu tepkime gümüş için de geçerli olmaktadır [12].



Tepkime sona erdikten sonra filtrasyon yoluyla filtre keki ayrılır. Altın yanında, çinkodan daha elektropozitif metalleri de içeren kek, bileşimine bağlı olarak, uygun bir yöntemle saflaştırma işlemine tabi tutulmaktadır [12].

Altın içeriği düşük ve yüksek hacimdeki çözeltiler için ise aktif karbon adsorbsiyonu yöntemi tercih edilmektedir. Yaklaşık 1000 m<sup>2</sup>/g yüzey alanına sahip aktif karbonun siyanür kompleksi halindeki 30.000 ppm altını adsorblayabilme kapasitesi vardır. Liç çözeltisindeki Au ve Ag miktarının çok yüksek olması durumunda, karbon yüzeyine adsorbsiyon olayından önce, gümüşün sülfür halinde seçimli olarak çöktürülerek ayrılması yoluna gidilir [12].

Aktif karbon yüzeyine adsorbsiyon olayı aktif karbon kolonlarından geçirme ve pulp içinde karbon (CIP) olmak üzere iki farklı şekilde uygulanır. Aktif karbon kolonlarından geçirme genellikle yığın liçi uygulamalarını takiben yapılmaktadır.

Böyle uygulamalarda birbirine seri olarak bağlı, alttan beslemeli ve üstten taşımali dört veya beş kolon kullanılır. Besleme çözeltisinin hızı ve kolon hacimleri askıda tutulan karbon taneciklerinin sistemi terk etmesi sağlanacak şekilde ayarlanır. Kolonun doygunluğa ulaştığında alınan numunelerdeki altın miktarı ateş analizi yöntemi ile belirlenir. Doymunluğa ulaşan birinci kolon altının kazanılması desorbsiyon işlemine tabi tutulmak üzere seriden ayrılır ve serideki kolon sırası birer öne kaydırılır. Desorbsiyon işlemi tamamlanan birinci kolon, gerektiğinde aşınma nedeniyle kaybedilen karbon eksigi tamamlandıktan sonra, sırada en sonuncu yeri alır ve proses böylece devam ettirilir [12].

Pulp içinde karbon prosesinde altın içeren çözeltinin bulunduğu tanklara aktif karbon ilave edilerek altının karbon yüzeyine adsorbsiyonu sağlanır. Filtrasyon veya ters akımda dekantasyon ekipmanları gerektirmediği için ekonomik bir uygulamadır. Liç devresinden alınan altın içeren çözelti karıştırmalı tanklara beslenerek pulptaki katı tanelerden daha iri tane boyunda aktif karbon ilave edilir. -35 mesh'lik pulp için 6x16 mesh'lik aktif karbon kullanılır. Adsorpsiyon tanklarında liç çözeltisi ve aktif karbon ters yönlü hareket eder. Aktif karbon doygunluğa ulaştığında pulp ve karbon alınarak eleme işlemine tabi tutulur. İnce taneli pulp elek altından alınırken iri taneli karbon elek üstünde toplanır. Altın yüklü aktif karbon tanecikleri titreşimli elekler üzerinde su ile yıkandıktan sonra altının geri kazanılması amacıyla desorbsiyon işlemine tabi tutulur [12].

Bu işlem başlıca üç şekilde yapılır:

- Aktif karbon taneciklerine adsorblanmış altın, atmosferik koşullarda ve 85-90 °C % ve 1 NaOH ve % 0,1 NaCN içeren çözelti ile 72 saate varabilen süreler sonunda çözeltili alınabilir [12].
- Aynı uygulamanın 120-130°C sıcaklıkta ve 260 kpa basınç altında gerçekleştirilmesi durumunda yıkama süresi 4-10 saat arasına iner [12].
- En iyi sonuç, NaOH-NaCN çözeltisine % 20 alkol ilavesi ile yıkamayı 80°C de gerçekleştirme yoluyla elde edilir. Bu durumda yıkama süresinin 5-6 saat dolayına inmesine rağmen alkolün toksik, buharlaşabilir ve patlayıcı karakterde olması bu prosesin en önemli dezavantajlarını oluşturur [12].

Altının desorbsiyonu işleminin tamamlanmasını takiben seyreltik HNO<sub>3</sub>, su ve % 1 NaOH çözeltileri ile yıkanan karbon 30 dakika süreyle yaklaşık 650 °C dolayında ısıtılarak tekrar aktifleştirilir. İnce tanelerin uzaklaştırılmasından sonra aktif karbon tekrar kullanıma hazır hale getirilir [12].

### 3. ATEŞ ANALİZİ

#### 3.1 Ateş Analizinin Tanımı ve Tarihçesi

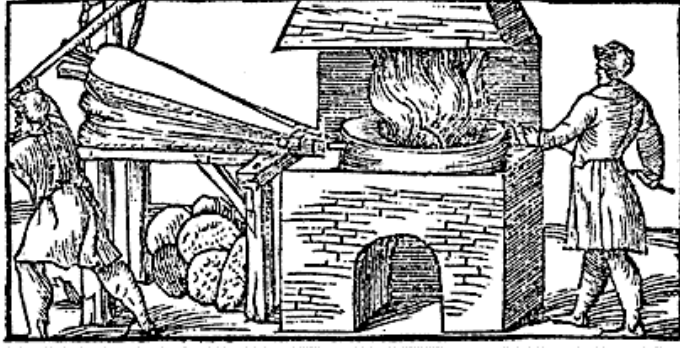
Ateş analizi geleneksel bir yöntem olup altın, gümüş ve platin grubu metallerin cevher ve konsantrelerinde güvenilir sonuçlar verdiğiinden dolayı sıkça tercih edilmektedir [15].

Platin grubu metallerin curuf fazında çözünmeyip kurşun fazında toplanmasıyla oluşan bir yöntemdir. Bu yöntem curuf fazı kurşun fazından farklı özgül ağırlıklarından birbirinden ayrılarak soy metallerin elde edişini sağlar. [16]

Ateş analizinin tarihçesi çok eskilere, milattan önceki devirlere kadar uzanmaktadır. M.Ö. 1350 yıllarında Babilliler tarafından ilk uygulamalarının yapıldığı bilinmektedir. Küpelasyonun 12. yüzyılda İngiltere’de kullanıldığı da literatürde geçmektedir. Ayrıca 16. yüzyılda yapılan ateş analizi ise bugünküyle aynı prosesleri içermektedir. Günümüzde ateş analizi kıymetli metal analizine özgü kullanılırken, çok önceki yıllarda kursun, bizmut, kalay ve bakir gibi baz metallerin analizinde de kullanılmıştır [5].

1556 yılında kaleme alınmış olan De Re Metallicanın ateş analizi ile ilgili olarak yazılan ilk kitap özelliğini taşımakla birlikte klasik metninde, Agricola, ates analiziyle ilgili olarak şu ölümsüz öğütlerini vermektedir:

"Cevherlerin veya metallerin analizini yapmakta olan bir kimsenin tahlil için gereken bütün şeyler hakkında bilgili ve hazırlıklı olması ve fırınının bulunduğu odanın kapısını iyice örtmesi gerekir ki zamansız gelebilecek herhangi birisi, çalışmaya niyetlenmiş düşüncelerini rahatsız etmesin" [1].



**Şekil 3.1:** De Re Metallica kitabından ateş analizini anlatan bir resim [17].

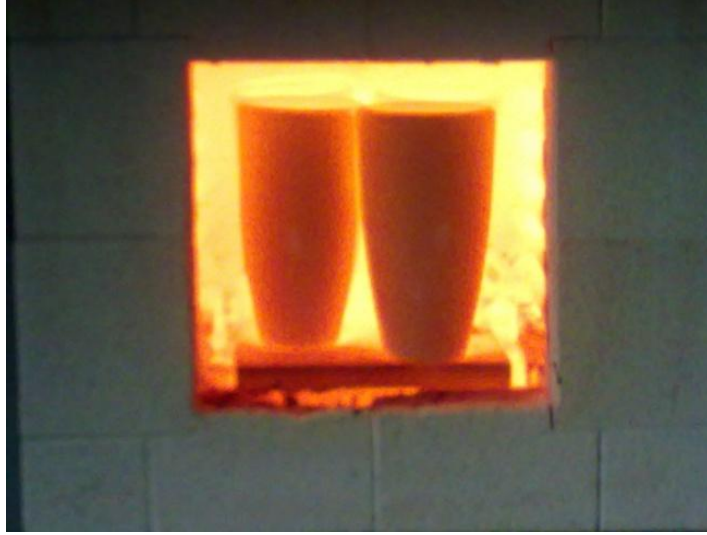
### 3.2 Ateş Analizinin Amaçları

Ateş analizi amacı, belli bir miktardaki malzemede bulunan soy metalin gerçek değerini yansıtan isabetli sonuca ulaşmaktır. Bu analiz yönteminin en önemli yararları şöyle sıralanmaktadır:

- Maden sahalarının değerlendirilmesi.
- Çeşitli malzemelerin alış ve satışında bir temel oluşturması.
- Tesislerde kalite kontrolüne yardımcı olması.
- Muhasebe ve envanter konusunda yardımcı olması.
- Çevre sorunlarına ışık tutması [1].

### 3.3 Ateş Analizi Uygulamaları

Ateş analizine başlamadan önce “nugget etkisi” diye adlandırılan sorundan kaçınılması gerekmektedir. “Nugget etkisi” altın cevherlerindeki altın içeriğinin 4 g/ton veya daha düşük olması durumlarında altın taneciklerinin cevher içerisinde homojen dağılmaması durumu olarak tanımlanmaktadır. Cevherlerin analize hazırlanmasında 1 assay-ton olarak 30 g cevher kullanılır. Ateş analizinde en önemli parametreler ise, ergitmenin yapılacağı fırının kapasitesi, ergitme işleminin yapılacağı potanın sahip olduğu hacmi ve süredir.



**Şekil 3.2:** Ateş analizinin ergitme kademesi.

Soy metallerin ateş analizi üç ana işlem gerektirmektedir. İlk işlem soy metallerin, bir toplayıcı faz (metalik kurşun) tarafından toplanmasıdır. İkincisi farklı yöntemlerle metalik kurşun ve soy metallerin birbirinden ayrılması ve nihayet elde edilen soy metallerin kütesinin gravimetrik olarak veya bazı diğer araçlarla ölçülmesidir [18].

Birinci aşamada öğütülmüş cevher, PbO (kurşun oksit), redükleyici ve flakslarla karıştırılıp ergitme işlemi gerçekleştirilir. PbO, soy metallerin toplanıp kurşun faz içine geçmesi sağlamak için kullanılır. Ayrıca hızlıca ergimesinden dolayı da flaks vazifesi de görür. Kurşunun redüklenmesi için karbon kaynağı olarak un kullanılır. Bu redükleyiciler sayesinde cevher de ihtiva eden metal oksitlerin daha az kararlı oksitli metaller oluşur. Ayrıca flaksın, sıcaklığın ve zamanın uygun olarak seçilmesi şartıyla, aşağıdaki maddelerdeki karakteristiklere sahip bir metalik kurşun fazı oluşturacak şekilde, eritme işleminin ilerlemesi gerekmektedir:

- Empürite miktarının minimum olması.
- Parlak, yumuşak ve dövülgen bir düğme oluşması.
- Düğmenin arzu edilir ağırlıkta olması.
- Soy metallerin tamamen kurtarılması [1,18].

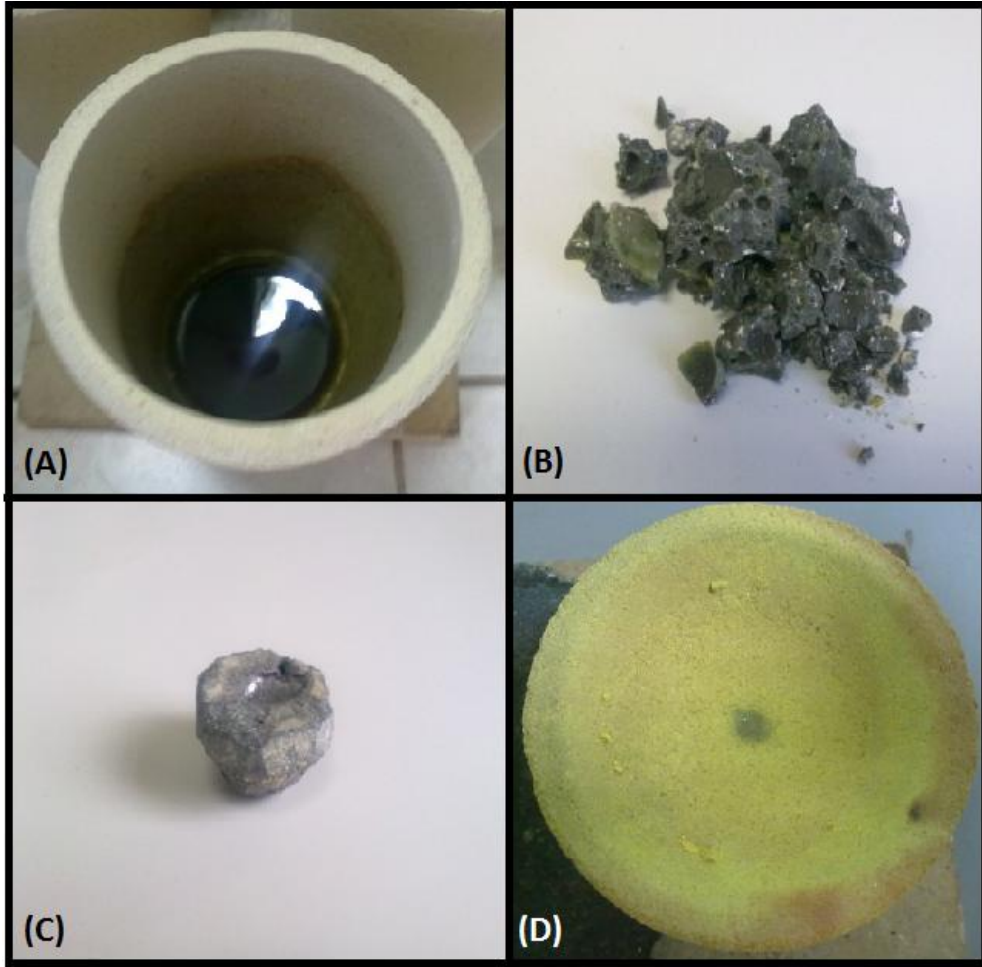
Ateş analizinde şarja ilave edilecek flakslar cevherin içinde bulunan asidik yada bazik gang mineraline göre tercih edilmelidir. Gang minerali  $\text{SiO}_2$  ise  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,

NaOH veya  $K_2CO_3$  bazik flakslarından seçim yapılır. Bazik gang minerali ihtiva eden cevherler için ise FeO, MgO, K ve Na var ise boraks ve  $SiO_2$  gibi asidik flakslar ilave edilir. Ayrıca önemli husus şudur ki, muhtelif şekillerdeki silikat ve boraksların oluşan curuf fazının numuneyi tamamen dekompoze etmesi ve empüritelerle gang malzemesinin tamamını absorbe etmesi gerekmektedir. Ateş analizi konusunda iyi tanınan ve deneyimli otoritelerden biri olarak kabul edilen E. Bugbee uygun bir curuf fazının aşağıdaki maddelerdeki özellikleri taşıması gerektiğine ifade etmektedir.

- Analiz fırınlarında rahatlıkla erişebilecek türden nispeten düşük bir oluşum sıcaklığına sahip olması,
- Soy metaller mekanik ve kimyasal bağlarından kurtulup, kurşunla alaşıma girmek için serbestleşene kadar; indirgenmiş durumdaki kurşunun askıda kalabilmesi için, oluşum sıcaklığında macunumsu bir yapıda olması,
- Ergime noktasının üzerindeki sıcaklığa çıkıldığında, kurşun güverselerinin rahatlıkla aşağı oturabilmeleri için, açık, berrak ve akışkan olmalı,
- Düşük bir soy metal kapasitesi olmalı ve numunenin flaks tarafından tamamen dekompoze edilmesini sağlamalı,
- Potanın hammadesine karşı korozyon olmamalı,
- Kurşun ile curufun birbirlerinden ayrılması için özgül ağırlığı düşük olmalı,
- Soğuyunca, kurşundan kolaylıkla ayrılmalı ve numunenin tamamen dekompoze olduğunu gösterecek şekilde homojen olmalı,
- Numunede bulunan bütün empüriteleri içermelidir.

Şarj ergime esnasında boraks curuf fazı oluşturmaya başlar. PbO ise metalik kursuna redüklenmeye başlar. Ergitme işlemi en fazla  $1100^{\circ}C$ 'ye kadar gerçekleştirilir. Ergitme işlemi tamamlandıktan sonra şarj soğumaya alınır. Soy

metalleri toplaya kurşun, flaks ve gang mineralleri curuftan yoğunluk farkından dolayı kolayca ayrılırlar [1, 18].



**Şekil 3.3:** Ateş analizinden çeşitli resimler; (A) ergitme, (B) ergitme sonucu oluşan curuf fazı, (C) ergitme sonucu elde edilen kurşun düğme ve (D) küpelyon sonucu elde edilen soy metal içeren boncuk.

Metalik kurşun içindeki soy metaller küpelyon olarak adlandırılan küpel adı verilen potanın içinde gerçekleşen oksitleyici ergitme işlemine tabi tutularak kurşun fazından ayrılır. Bu küpeller kurşun oksitini absorblamayıp metalik kurşunu absorblarlar ve metalik kurşunun küçük bir kısmı da tekrar oksitlenerek gaz fazına geçer. Bu işlemden sonra boncuk şeklinde soy metal alaşımı küpel potanın dibinde kalır. Soy metal alaşımını bocuğumuza nitrik asit liçi uygulanarak içeriğindeki gümüş uzaklaştırılır. Bu işlemden sonra kalan kalıntı soy metal alaşımı metaller tavlansak farklı analiz metodlarıyla içerikleri tespit edilir [1,18].



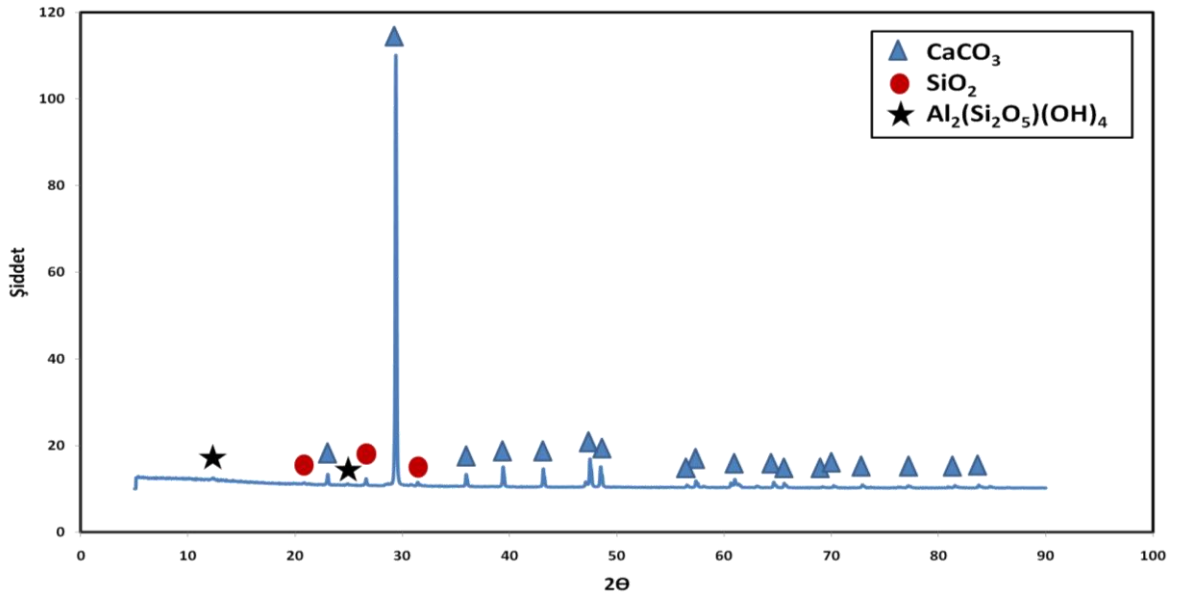
#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın amacı, altın cevherinin altın içeriklerini analiz etmek için kullanılan başlıca yöntem olan ateş analizinin optimize edilmesidir. Yapılan çalışmalar ile ateş analizinin ergitme kademesinde şarja ilave edilen çeşitli ilavelerin altın analizlerine olan etkileri incelenmiştir.

Bu çalışmada Erzincan-İliç yöresine ait düşük tenörlü karbonatlı altın cevherleri kullanılmıştır. Ergitme kademesinde soy metalleri toplayıcı faz olarak kurşun oksit (PbO), karbon kaynağı (redükleyici) olarak un ve çeşitli curuflaştırıcılardan ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ) oluşan bir şarj karışımı ile çalışılmıştır.

##### 4.1 Deneysel Çalışmalar Kullanılan Hammaddeler

Kullanılan cevhere ait XRD (X-Işınları Difraksiyon Spektrometresi) Şekil 4.1’de, ve XRF (X Işınları Floresans Spektrometresi) ile elde edilmiş analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1: Deneylerde kullanılan cevherin XRD paterni.

Bu çalışmada kullanılan PbO, un ile redüklenerek soy metallerin toplanacağı metalik kurşun fazını oluşturmaktadır. Curuflaştırıcı olarak, sodyum karbonat  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , sodyum tetra borat dekahidrat ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) ve kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) kullanılmıştır. Kullanılan hammadeler standarda uygundur.

**Çizelge 4.1:** Deneyleerde kullanılan cevherin XRF ile elde edilmiş kantitatif analizi.

Bileşen	Miktar (%)	Bileşen	Miktar (%)
Ca	32,94	Pb	0,06
Si	2,40	Mn	0,03
Fe	1,97	Ti	0,03
Al	1,93	As	0,02
Cu	0,17	Cr	0,01
P	0,16	Sr	0,01
Zn	0,13	V	0,01
S	0,08	Balans	60,05

Deneysel çalışmalarda kullanılan cevherin tane boyutu küçültme işlemlerinden sonra elek analizi ro-tape otomatik eleme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Yapılan elek analizinde ASTM elek serisine uygun olarak 35, 60, 100, 140, 200, 270 ve 325 meşlik elekler kullanılmıştır.

Elek analizinden yola çıkılarak cevherin ortalama tane boyutunun hesaplanması Çizelge 4.3’de verilmiştir. Ortalama tane boyutu hesaplanırken Denklem 4.1 kullanılmış ve hesaplamaların sonucunda cevherin ortalama tane boyutunun 238,29  $\mu\text{m}$  olduğu görülmüştür.

**Çizelge 4.2:** Öğütme sonrası altın cevherinin elek analizi.

Elek Açıklığı (meş)	Miktar (%)	$\Sigma$ Elek Üstü (%)	$\Sigma$ Elek Altı (%)
+35	10,6	10,6	100
-35 +60	18,9	29,5	89,4
-60 +100	27	56,5	70,5
-100 +140	6,7	63,2	43,5
-140 +200	13,8	77	36,8
-200 +270	13,7	90,7	23
-270 +325	4	94,7	9,3
-325	5,3	100	5,3

**Çizelge 4.3:** Cevherin ortalama tane boyutunun hesaplanması.

Elek Açıklığı (meş)	Ortalama Tane Boyutu (X, µm)	Miktar (%)	X·M
+35	750	10,6	7950
-35 +60	375	18,9	7087,5
-60 +100	200	27	5400
-100 +140	128	6,7	857,6
-140 +200	90,5	13,8	1248,9
-200 +270	64	13,7	876,8
-270 +325	49	4	196
-325	40	5,3	212

$X_{wm}$ : Tüm hammaddenin ortalama tane boyutu

X : Belirli bir elek aralığındaki hammaddenin ortalama tane boyutu

M : Belirli bir elek aralığındaki hammaddenin miktarı

$$X_{WM} = \frac{\sum X \times M}{\sum M} \quad (4.1)$$

## 4.2 Deneysel Çalışmalar ve Karakterizasyonda kullanılan Cihazlar ve Potalar

Cevher hazırlama prosesinde halkalı öğütücüler kullanarak belirli boyuta getirtilene kadar öğütülmüştür. Elek analizi kullanılan cihaz ise Octagon 200, ro-tape otomatik elek kullanılmıştır.

Karaterizasyonda ise Thermo Scientific Niton XL3T (XRF) X-ışınları floresans spektrometresi, Panalytical pw3040/60 (XRD) X-ışınları difraksiyon spektrometresi, Perkin Elmer Analyst 800 (AAS) Atomik Absorbsiyon spektrometresi kullanılmıştır. Ateş analizi işleminden sonra XRF, XRD, AND GX-8K hassas elektronik tartı ve boncuk alaşımlarının ölçümünde ise Sartorius marka hassas tartı kullanılmıştır.

Ateş analizinde ergitme aşamasında Atlantik şamot pota ve küpelasyon aşamasında ise Atlantik MgO küpeler kullanılmıştır.

### **4.3 DeneYlerin Yapılışı**

#### **4.3.1 Tane boyutu küçültme işlemleri**

Tane boyutu küçültme işlemleri İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Üretim Metalurjisi Laboratuvarı'nın olanakları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Anatolia Minerals firmasına ait İliç-Erzincan maden sahasından sağlanan karot numuneleri halkalı öğütücü kullanılarak deneysel çalışmalar için istenen tane boyutuna indirilmiştir.

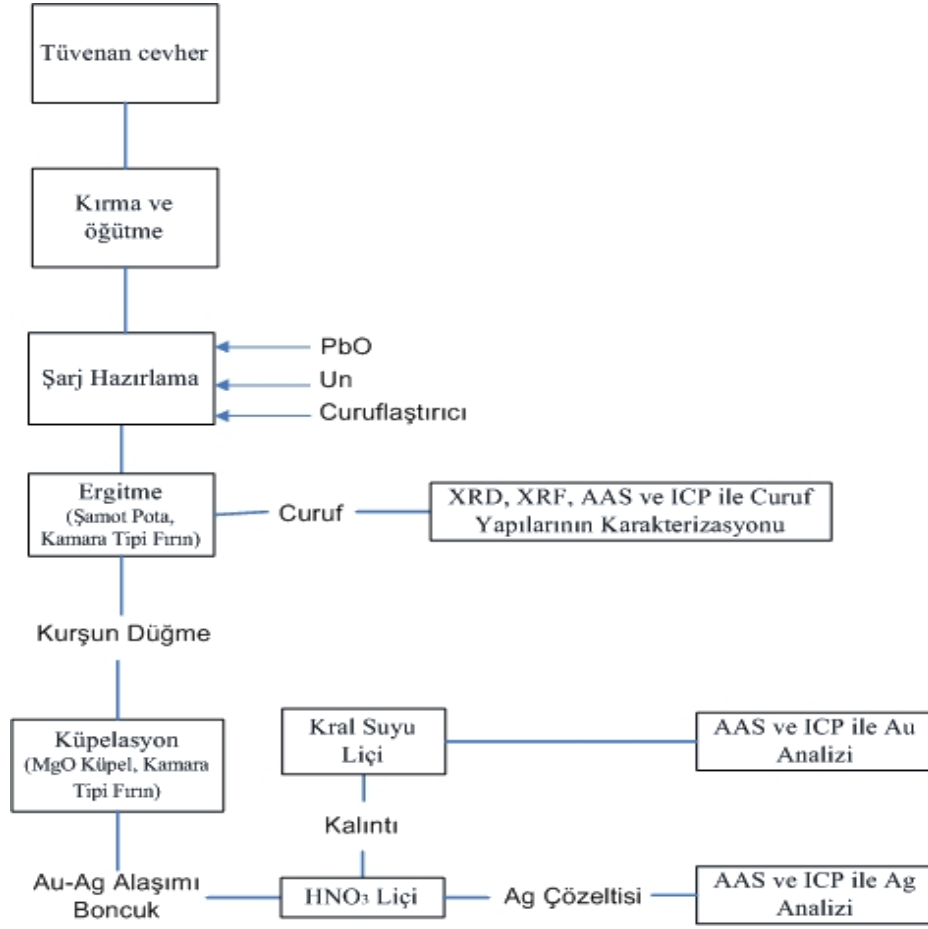
#### **4.3.2 Curuflaştırıcı tür ve miktarlarının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar**

Yürütülen çalışmalar kapsamında, ateş analizinin ergitme kademesinde şarja ilave edilen asidik curuflaştırıcılar olan kuvars ve sodyum boraks dekahidrat miktarlarının belirlenmesine çalışılmıştır. Bu amaç ile sırasıyla yalnızca kuvars ve yalnızca sodyum boraks dekahidrat ilave edilen şarj karışımları hazırlanmış ve ergitme sonucu elde edilen metalik kurşun fazları ve metalik kurşun fazlarının küpelasyonu ile elde edilen soy metal miktarları karşılaştırılmıştır. Daha sonra aynı anda kuvars ve sodyum boraks dekahidrat içeren karışımlar hazırlanmış ve bu iki asidik curuflaştırıcıyı aynı anda içeren şarj karışımlarından elde edilen altın analizi sonuçları daha önceki deneylerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yürütülen deneylerin iş akış şeması Şekil 4.2'de verilmektedir.

##### **4.3.2.1 Ateş analizinde şarja farklı miktarlarda sodyum boraks dekahidrat ilavesi ile gerçekleştirilen deneyler**

Un, kurşun oksit ve flakslarla karıştırılan cevher numuneleri farklı miktarlarda boraks ilaveleriyle 1100°C'de ergitme işlemine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.4'de kullanılan şarj bileşimi verilmektedir. Bu işlemler kamaralı tipi fırında şamot pota kullanılarak bir saat süre ile gerçekleştirilmiştir.

Ergitmeden sonra elde edilen curuf ve metalik kurşun fazı potalar soğutulup kırılarak birbirinde ayrılmıştır. Curuf fazı öğütülmüştür. Karakterizasyon için XRD, XRF ve kimyasal analiz teknikleri kullanılmıştır. Metalik kurşun fazının soy metal içeriği küpelasyon işlemi ile ayrılmış ve sırasıyla nitrik asit ve kral suyu içleri uygulanarak elde edilen altın içerikleri AAS ve ICP teknikleri ile analiz edilmiştir.



**Şekil 4.2:** Yürütülen deneylerin iş akış şeması.

**Çizelge 4.4:** Sodyum boraks dekahidrat ilavesi ile gerçekleştirilen deneyler için hazırlanan şarj karışımı.

Bileşen	Miktar (g)
Cevher	30
PbO	90
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	30
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	0-10-20-30-40-50-60
SiO <sub>2</sub>	0
Un	6,5

#### 4.3.2.2 Ateş analizinde şarja farklı miktarlarda kuvars ilavesi ile gerçekleştirilen deneyler

Cevher numuneleri daha önce uygulanan deney setine paralel olarak PbO, un ve flaks bileşenleri ile karıştırılmış yalnızca bu defa sodyum boraks dekahidrat yerine sisteme yine asidik bir curuflaştırıcı olan kuvars değişik oranlarda ilave edilmiştir. Hazırlanan şarj bileşimleri Çizelge 4.5’de verilmektedir. Ergitmeden sonra elde

edilen curuf ve metalik kurşun fazı potalar soğutulup kırılarak birbirinde ayrılmıştır. Curuf fazları öğütüldükten sonra XRD, XRF ve kimyasal analiz teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Metalik kurşun fazının içerisinde toplanan soy metaller küpelyasyon ile kazanılmış ve sırasıyla nitrik asit ve kral suyu liçlerinden sonra cevherin altın içerikleri AAS ve ICP kullanarak analiz edilmiştir.

**Çizelge 4.5:** Kuvars ilavesi ile gerçekleştirilen deneyler için hazırlanan şarj karışımı.

Bileşen	Miktar (g)
Cevher	30
PbO	90
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	30
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	0
SiO <sub>2</sub>	0-10-20-30-40-50-60
Un	6,5

#### 4.3.2.3 Ateş analizinde şarja farklı miktarlarda sodyum boraks dekahidrat ve kuvars ilavesi ile gerçekleştirilen deneyler

Deney seti cevher numuneleriyle PbO, un ve flaks bileşenleri ile karıştırılmış bu defa da sodyum boraks dekahidrat sistemde yine asidik bir curuflaştırıcı olan kuvars değişik oranlarda beraber kullanılmıştır. Şarjin hazırlanış bileşimleri Çizelge 4.6'da belirtilmiştir. Ergitme sonrası curuf ve metalik kurşun fazı potalar soğutulup kırılarak birbirinde ayrılmıştır. Curuf fazları öğütüldükten sonra XRD, XRF ve kimyasal analiz teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Metalik kurşun fazının içerisinde toplanan soy metaller küpelyasyon ile kazanılmış ve sırasıyla nitrik asit ve kral suyu liçlerinden sonra cevherin altın içerikleri AAS ve ICP kullanarak analiz edilmiştir.

**Çizelge 4.6:** Boraks ve kuvars ilavesi ile gerçekleştirilen deneyler için hazırlanan şarj karışımı.

Bileşen	Miktar (g)
Cevher	30
PbO	90
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	30
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	0-5-10-15-20-25-30
SiO <sub>2</sub>	0-5-10-15-20-25-30
Un	6,5

#### 4.3.2.4 Ateş analizinde şarja kalsine edilmiş cevher ile farklı miktarlarda sodyum boraks dekahidrat ve kuvars ilavesi ile gerçekleştirilen deneyler

Cevherimiz karbonatlı yapıdan oluştuğundan bu deney öncesi kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kalsinasyon işlemi 2 saat boyunca kamara tipi fırında cevher şamot pota içerisine yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir.

Kalsine edilmiş cevher numuneleriyle PbO, un ve flaks bileşenleri ile hazırlanmış deney seti sodyum boraks dekahidrat sistemde yine asidik bir curuflaştırıcı olan kuvars değişik oranlarda beraber kullanılmıştır. Şarjın hazırlanış bileşimleri Çizelge 4.7'de belirtilmiştir. Ergitme sonrası curuf ve metalik kurşun fazı potalar soğutulup kırılarak birbirinde ayrılmıştır. Curuf fazları öğütüldükten sonra XRD, XRF ve kimyasal analiz teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Metalik kurşun fazının içerisinde toplanan soy metaller küpelyasyon ile kazanılmış ve sırasıyla nitrik asit ve kral suyu liçlerinden sonra cevherin altın içerikleri AAS ve ICP kullanarak analiz edilmiştir.

**Çizelge 4.7:** Kalsine cevhere boraks ve kuvars ilavesi ile gerçekleştirilen deneyler için hazırlanan şarj karışımı.

Bileşen	Miktar (g)
Kalsine Cevher	30
PbO	90
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	30
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	10-20-30
SiO <sub>2</sub>	10-20-30
Un	6,5



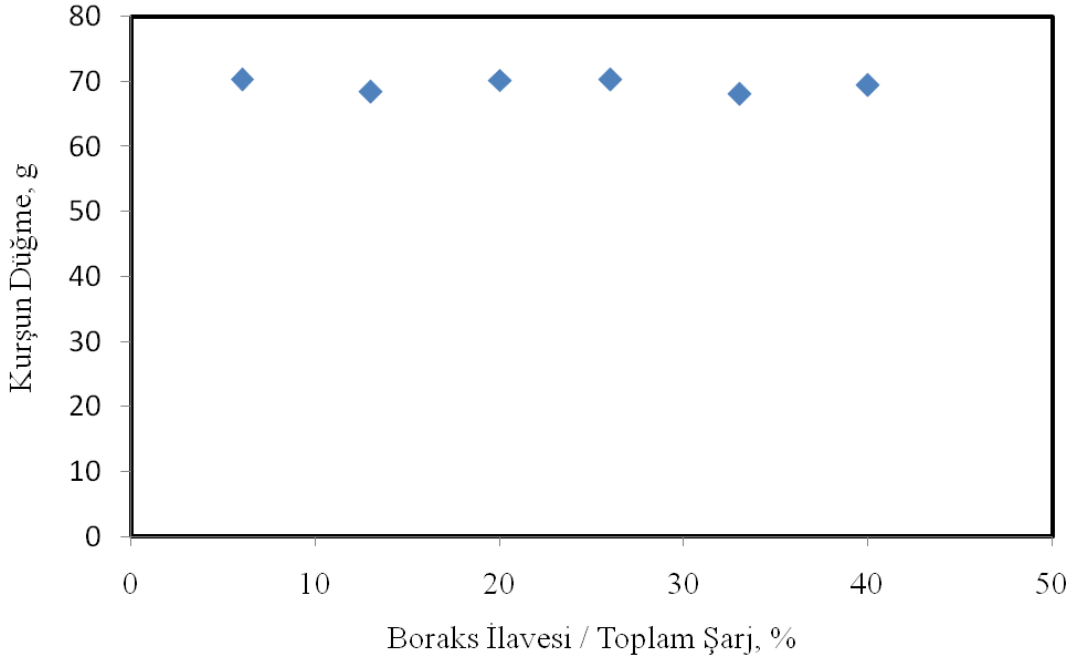
## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

### 5.1 Ateş Analizinde Şarja Farklı Miktarlarda Sodyum Boraks Dekahidrat İlavesinin Etkileri

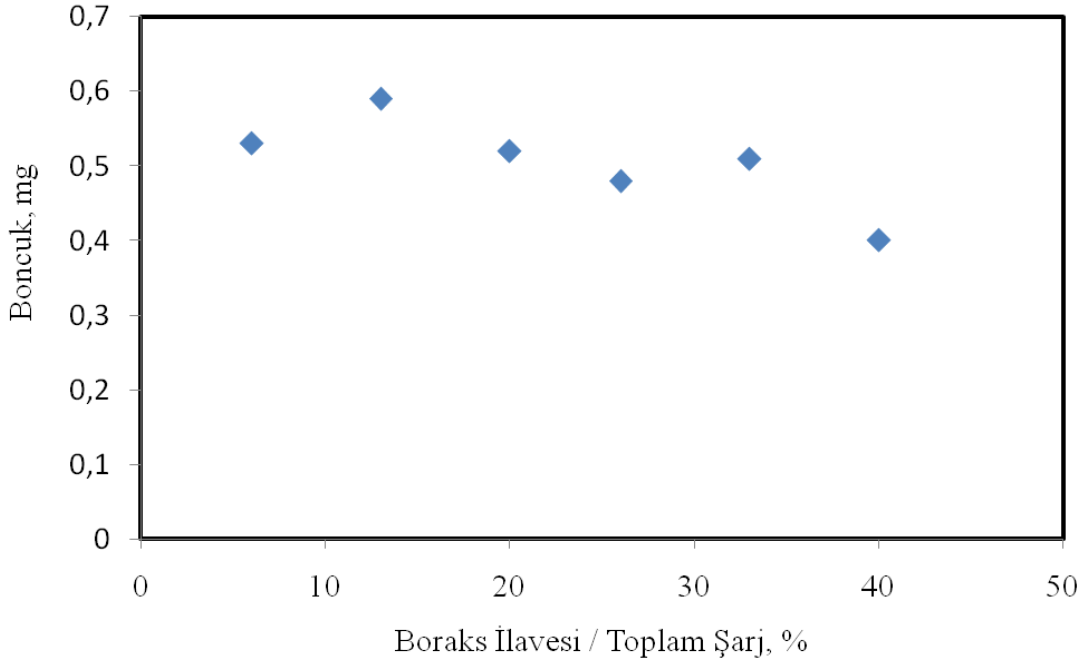
Cevher numuneleri PbO, un, sodyum karbonat ve sırasıyla 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 g. sodyum boraks dekahidrat ilavesinden oluşan şarjlar ile 1100 °C’de, kamara tipi fırın kullanarak ve 1 saat süre ile ergitilmiştir. Elde edilen metalik kurşun fazlarının soy metal içerikleri 950 °C’de, kamara tipi fırın kullanarak ve MgO küpeler ile gerçekleştirilen küpelyasyon işlemi sonucunda metalik kurşun yapısından ayrılmıştır. Soy metal içeren boncuklar HNO<sub>3</sub> liçi ile gümüş içeriklerinin uzaklaştırılmasından sonra kalıntılar kral suyu liçi ile çözeltiye alınmış ve kalıntıların altın içerikleri AAS ve ICP yöntemleri ile belirlenmiştir. Ölçülen altın içerikleri cevherdeki miktarları olarak hesaplanmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar Çizelge 5.1’de verilmektedir. Ayrıca ilave edilen boraks miktarı ile elde edilen kurşun düğme ağırlıkları arasındaki ilişki Şekil 5.1’de, boncuk ağırlıkları arasındaki ilişki Şekil 5.2’de ve cevherin ölçülen Au içerikleri arasındaki ilişki de Şekil 5.3’de grafiksel olarak gösterilmektedir.

**Çizelge 5.1:** Şarja sodyum boraks dekahidrat ilavesi ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları.

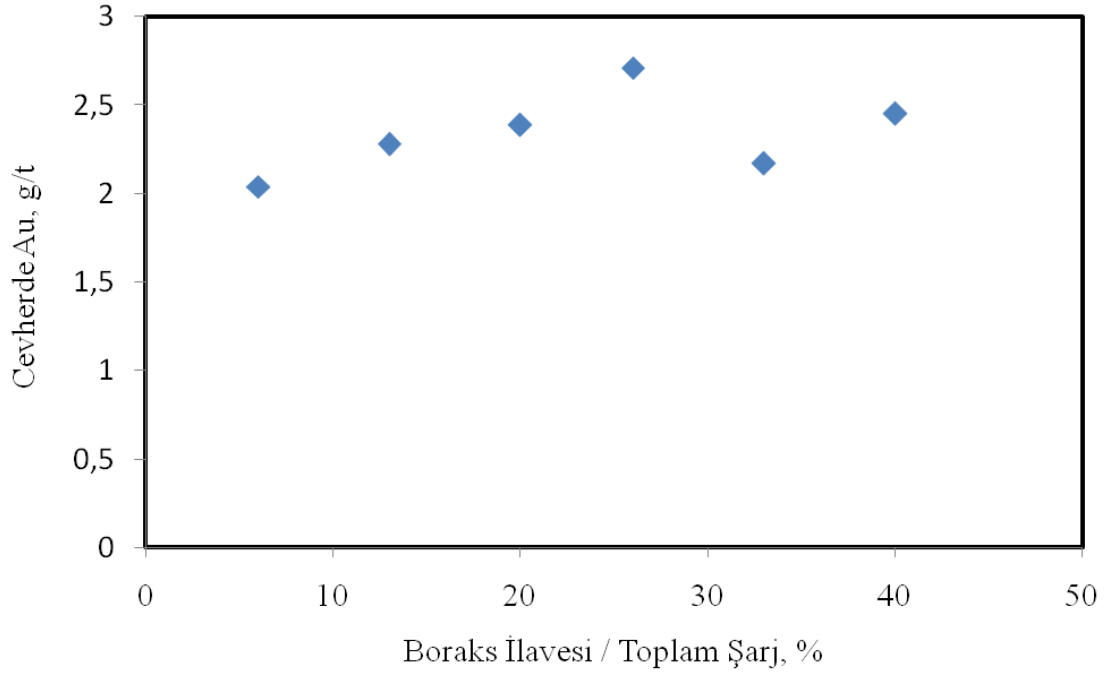
Deney No	Boraks İlavesi (g)	Boraks İlavesi/ Toplam Şarj (%)	Kurşun Düğme (g)	Au-Ag Alaşımı Boncuk (mg)	Cevherin Ölçülen Au İçeriği (g/t)
AC.00.00.01	10	6	70,28	0,53	2,04
AC.00.00.02	20	13	67,05	0,23	2,06
AC.00.00.03	30	20	70,23	0,52	2,39
AC.00.00.04	40	26	70,28	0,48	2,71
AC.00.00.05	50	33	68,09	0,51	2,17
AC.00.00.06	60	40	69,51	0,40	2,45



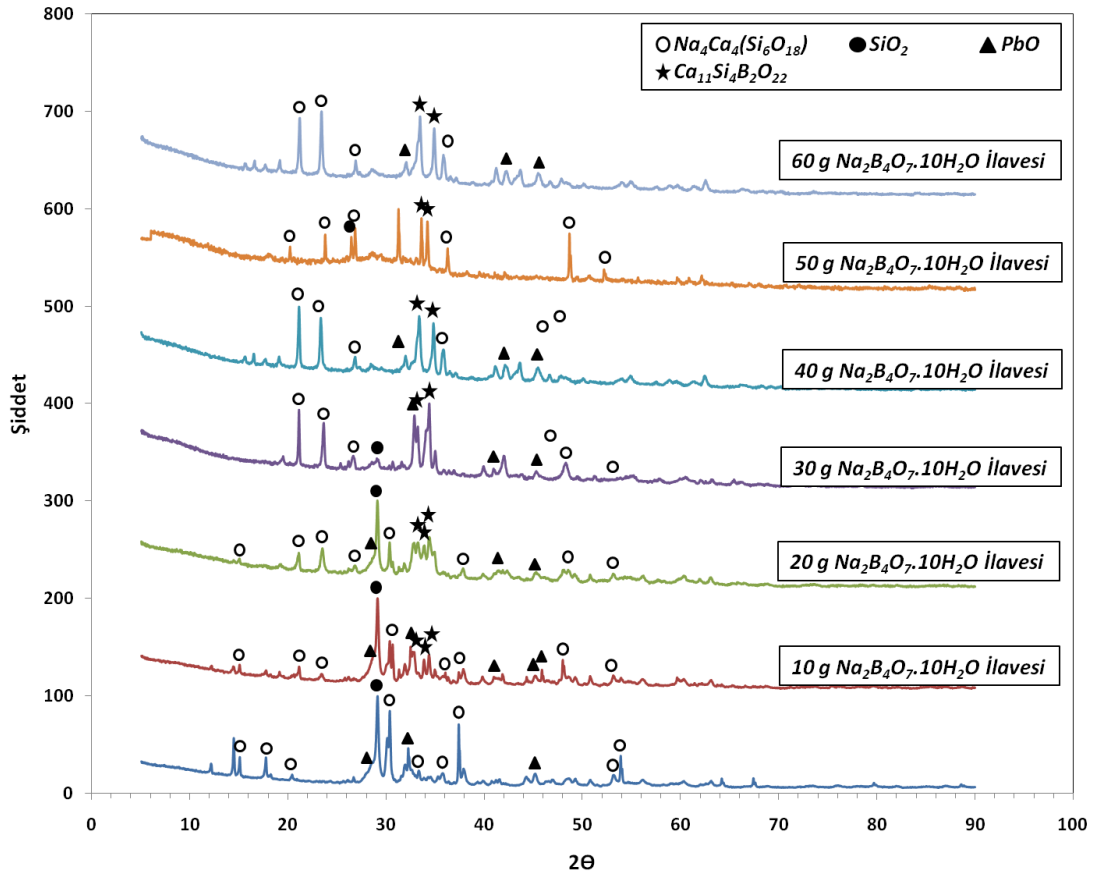
**Şekil 5.1:** Şarj bileşimine boraks ilavesi ile elde edilen kurşun düğme ağırlıklarının değişimi.



**Şekil 5.2:** Şarj bileşimine boraks ilavesi ile elde edilen boncuk ağırlıklarının değişimi.



**Şekil 5.3:** Şarj bileşimine boraks ilavesi ile cevherin ölçülen Au miktarlarının değişimi.



**Şekil 5.4:** Şarj bileşimine boraks ilavesi ile elde edilen curufun XRD paterninin değişimi.

Şarj bileşimine ilave edilen sodyum boraks dekahidrat miktarının artışı ile kazanılan kurşun düğme ağırlıklarının değişimi arasında herhangi bir ilişki gözlemlenmemiştir. Elde edilen yüm kurşun düğme ağırlıkları 70 gram civarında ve birbirine çok yakındır.

Sodyum boraks deka hidrat miktarının artışı ile elde edilen boncuk ağırlık miktarları arasında bir ilişki tespit edilememiştir. Şarj miktarı ile kıyaslandığında ağırlık %13 sodyum boraks dekahidrat ilavesi haricinde elde edilen boncuk ağırlıkları birbirine yakın olduğu gözlenmiştir.

Cevherin ölçülen altın içeriklerinde sodyum boraks deka hidrat miktarının artışına paralel olarak %26 sodyum boraks dekahidrat ilavesine kadar bir artış olduğu tespit edilmiştir ve bu ilave miktarında en yüksek altın kazanımı olan 2,71 g/ton altın miktarı elde edilmiştir.

Sodyum boraks deka hidrat ilavesindeki artış ile ateş analizinin ergitme kademesinde curuf viskozitelerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

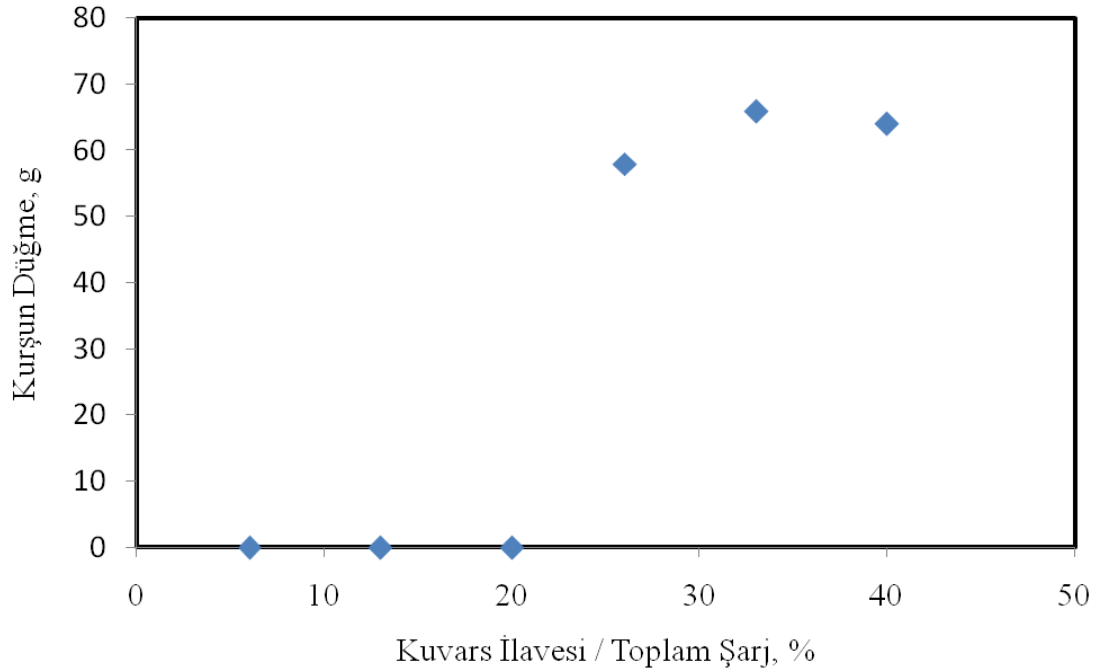
## **5.2 Ateş Analizinde Şarja Farklı Miktarlarda Kuvars İlavesinin Etkileri**

Daha önce sodyum boraks dekahidrat ilavesi ile yapılan deneylerin sonuçlarından yola çıkarak yine sodyum boraks dekahidrat gibi asidik bir curuflaştırıcı olan kuvars ilavesi ile bir deney seti tasarlanmıştır. Cevher numuneleri PbO, un, sodyum karbonat ve sırasıyla 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 g. kuvars ilavesinden oluşan şarjlar ile 1100 °C'de, kamara tipi fırın kullanarak ve 1 saat süre ile ergitilmiştir. Curuf ve metalik kurşun fazları birbirinden ayrılmıştır. Daha sonra metalik kurşunların soy metal içerikleri 950 °C'de, kamara tipi fırın kullanarak ve MgO küpeller ile gerçekleştirilen küpelasyon işlemi sonucunda metalik kurşun yapısından kazanılmıştır. Soy metal içeren boncuklar sırasıyla HNO<sub>3</sub> ve kral suyu liçleri ile muamele edilmiş ve kalıntıların altın içerikleri AAS ve ICP teknikleri ile karakterize edilmiştir. Ölçülen altın içerikleri cevherdeki miktarları olarak hesaplanmıştır. Deneylerin sonucunda elde edilen çıktılar Çizelge 5.2'de toplu olarak verilmektedir. Ayrıca ilave edilen boraks miktarı ile elde edilen kurşun düğme ağırlıkları arasındaki ilişki Şekil 5.5'de, boncuk ağırlıkları arasındaki ilişki Şekil 5.6'de ve cevherin

ölçülen Au içerikleri arasındaki ilişki de Şekil 5.7’de grafiksel olarak gösterilmektedir.

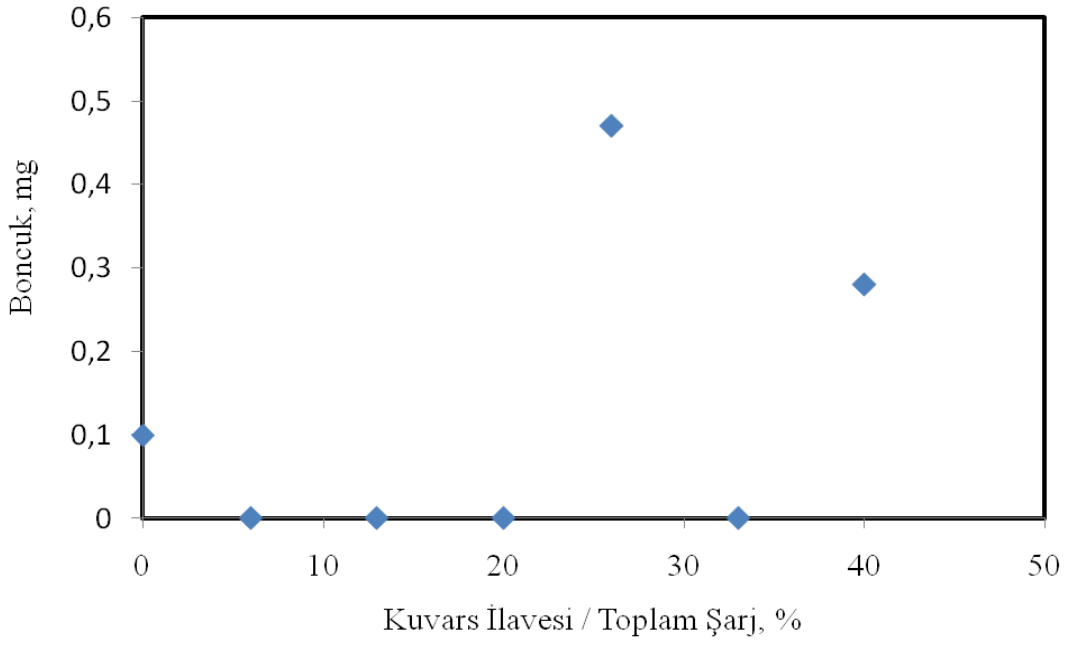
**Çizelge 5.2:** Şarj kuvars ilavesi ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları.

Deney No	Kuvars İlavesi (g)	Kuvars İlavesi/ Toplam Şarj (%)	Kurşun Dügme (g)	Au-Ag Alaşımı Boncuk (mg)	Cevherin Ölçülen Au İçeriği (g/t)
AC.00.01.01	10	6	0	0	0
AC.00.01.02	20	13	0	0	0
AC.00.01.03	30	20	0	0	0
AC.00.01.04	40	26	57,98	0,47	2,00
AC.00.01.05	50	33	67,50	0	0
AC.00.01.06	60	40	63,96	0,28	2,06

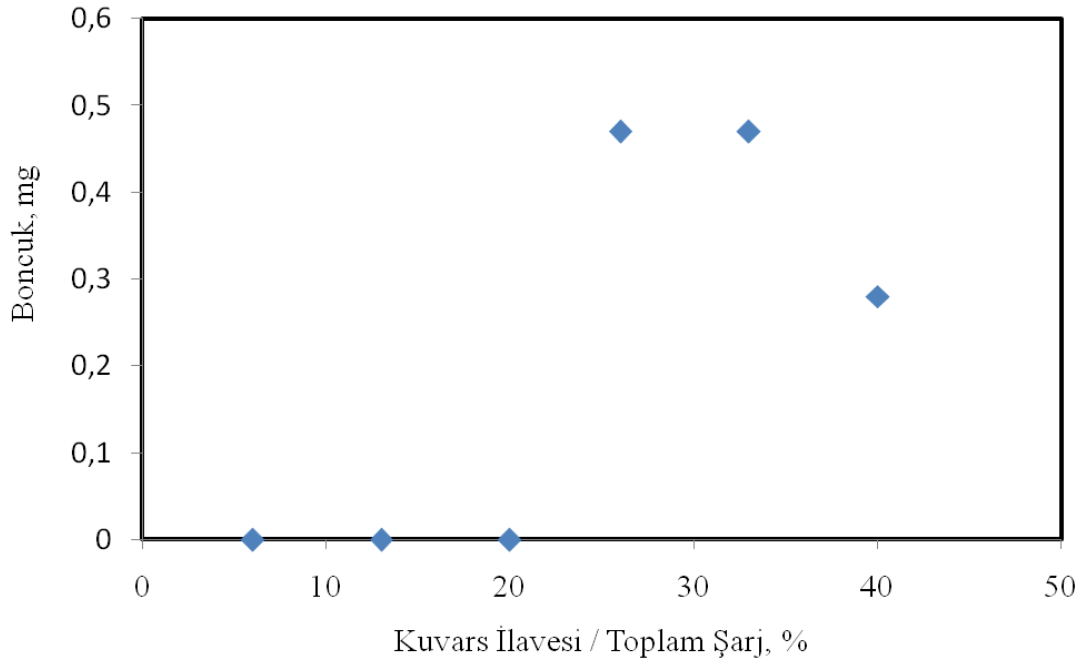


**Şekil 5.5:** Şarj bileşimine kuvars ilavesi ile elde edilen kurşun düğme ağırlıklarının değişimi.

Şarj karışımına ilave edilen kuvars miktarındaki artış ile elde edilen metalik kurşun fazlarının ağırlıkları arasında ağırlıkça % 0 kuvars ilavesi haricinde bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. % 0 noktası haricinde şarj kuvars ilavesindeki artış elde edilen metalik kurşun miktarına sebep olmuştur.



**Şekil 5.6:** Şarj bileşimine kuvars ilavesi ile elde edilen boncuk ağırlıklarının değişimi.

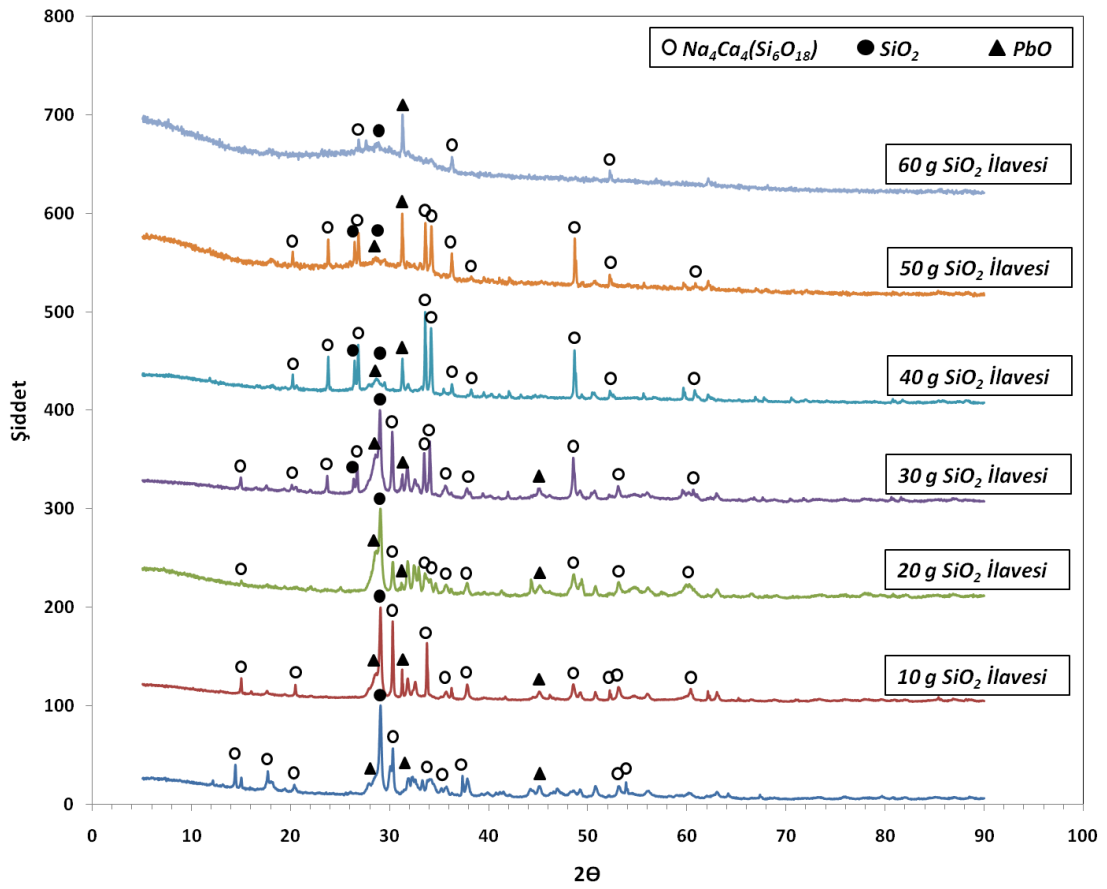


**Şekil 5.7:** Şarj bileşimine kuvars ilavesi ile cevherin ölçülen Au miktarlarının değişimi.

Şarj karışımına ilave edilen kuvars miktarı ile elde edilen boncuk miktarı ile bir ilişki tesbit edilememiştir. %26 ve %40'lık kuvars ilaveleri haricinde diğer kuvars ilave elde edilen boncuk ağırlıkları 0 ve 0'a yakın miktarlardadır.

Şarj karışımı içerisindeki kuvars miktarının artışı ile elde edilen altın kazanımları arasında da bir ilişki gözlenmemiştir. Yapılan deneylerde en yüksek altın kazanımı 2,06 g/ton ile %40 kuvars ilavesinde elde edilmiş olsa da bu deney seti içerisindeki diğer sonuçlar araştırılan iki parametreler arasında bir ilişkinin olmadığını göstermektedir.

Ergitme işlemleri süresince sisteme kuvars ilavesi ile curuf yapısında bir miktar viskozite düşüşü olduğu gözlemlense de elde edilen oldukça viskozdur.



**Şekil 5.8:** Şarj bileşimine kuvars ilavesi ile elde edilen curufun XRD paterninin değişimi.

### 5.3 Ateş Analizinde Şarja Farklı Miktarlarda Boraks ve Kuvars İlavesinin Etkileri

Bu deney seti boraks ve kuvars ayrı ayrı ilavelerinin etkileri değerlendirildikten sonra bu ilavelrin beraber kullanılırsa etkileri ne olurun cevabını almak için hazırlandı.

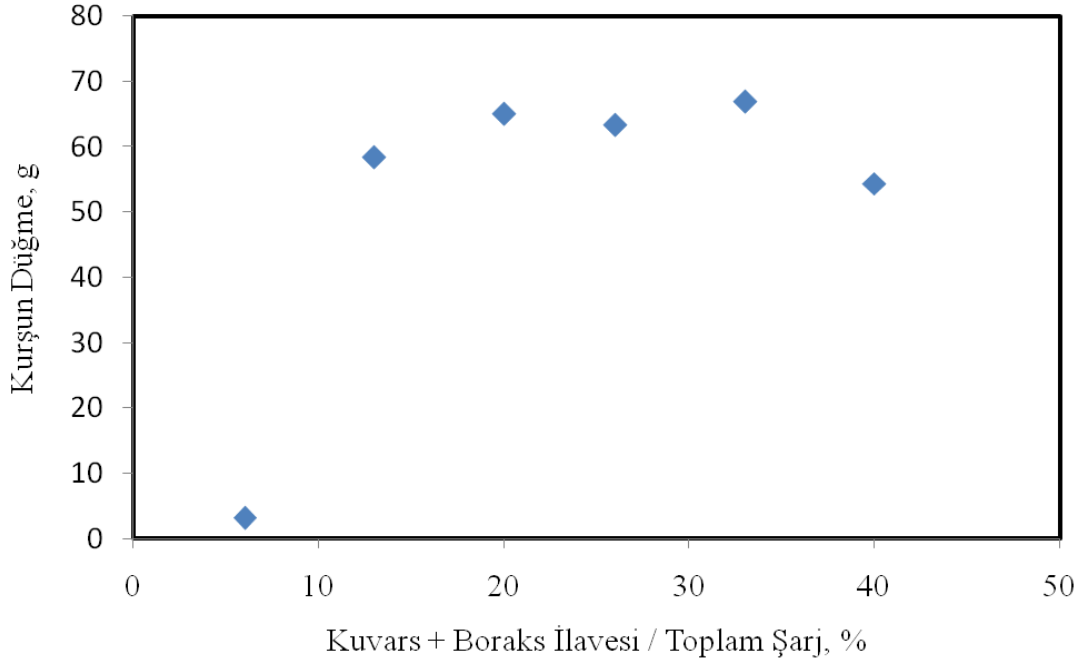
Cevher numuneleri PbO, un, sodyum karbonat ve sırasıyla 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 g. boraks ve kuvars ilavesinden oluşan şarjlar ile 1100 °C’de, kamara tipi fırın kullanarak ve 1 saat süre ile ergitilmiştir. Curuf ve metalik kurşun fazları birbirinden ayrılmıştır. Daha sonra metalik kurşunların soy metal içerikleri 950 °C’de, kamara tipi fırın kullanarak ve MgO küpeller ile gerçekleştirilen küpelyasyon işlemi sonucunda metalik kurşun yapısından kazanılmıştır. Soy metal içeren boncuklar sırasıyla HNO<sub>3</sub> ve kral suyu liçleri ile muamele edilmiş ve kalıntıların altın içerikleri AAS ve ICP teknikleri ile karakterize edilmiştir. Ölçülen altın içerikleri cevherdeki miktarları olarak hesaplanmıştır. Deneylein sonucunda elde edilen çıktılar Çizelge 5.3’de toplu olarak verilmektedir. Ayrıca ilave edilen boraks miktarı ile elde edilen kurşun düğme ağırlıkları arasındaki ilişki Şekil 5.9’de, boncuk ağırlıkları arasındaki ilişki Şekil 5.10’de ve cevherin ölçülen Au içerikleri arasındaki ilişki de Şekil 5.11’da grafiksel olarak gösterilmektedir.

**Çizelge 5.3:** Şarja kuvars ve boraks ilavesi ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları.

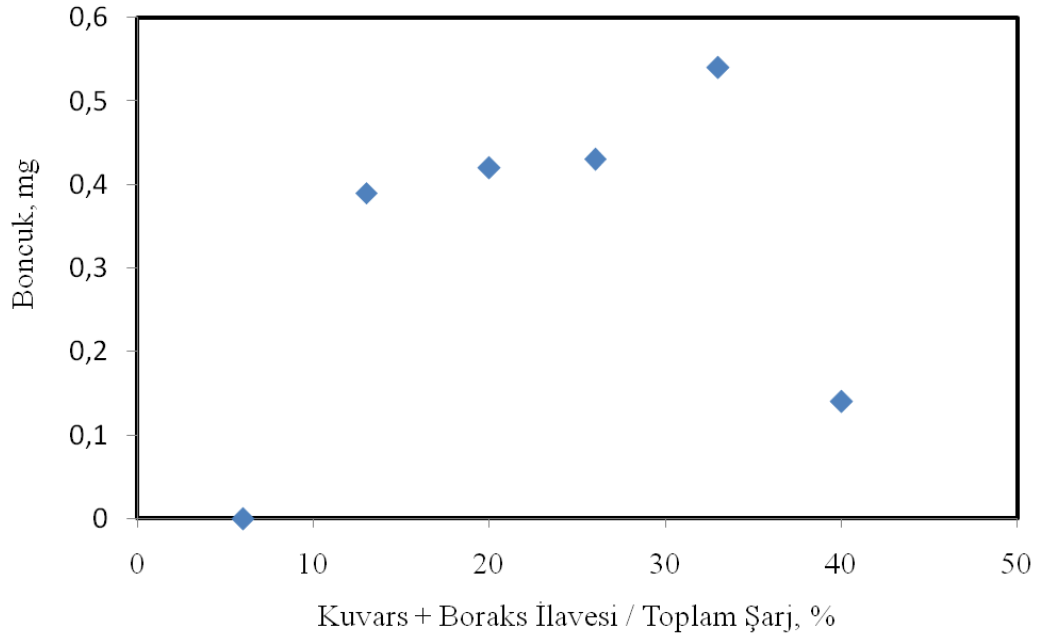
Deney No	Kuvars İlavesi (g)	Boraks İlavesi (g)	Kuvars İlavesi/ Toplam Şarj (%)	Kurşun Düğme (g)	Au-Ag Alaşımı Boncuk (mg)	Cevherin Ölçülen Au İçeriği (g/t)
AC.00.02.01	5	5	6	3,16 g	1122,64 g	0
AC.00.02.02	10	10	13	58,44 g	69,26 g	1,84
AC.00.02.03	15	15	20	65,05 g	64,11 g	2,75
AC.00.02.04	20	20	26	63,28 g	61,20 g	2,12
AC.00.02.05	25	25	33	66,87 g	63,80 g	2,27
AC.00.02.06	30	30	40	54,32 g	84,41 g	2,82

Şarj karışımına ilave edilen boraks ve kuvars miktarındaki artış ile elde edilen metalik kurşun fazlarının ağırlıkları arasında ağırlıkça % 6 boraks ve kuvars ilavesi haricinde bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. % 6 noktası haricinde şarja boraks ve kuvars ilavesindeki artış elde edilen metalik kurşun miktarına sebep olmuştur.

Şarj karışımına ilave edilen kuvars miktarı ile elde edilen boncuk miktarı ile bir ilişki tesbit edilmiştir. % 6 boraks ve kuvars ilave elde edilen boncuk ağırlıkları 0 g miktarlardadır. Boraks ve kuvars ilavesi artıkça elde edilen boncuk ağırlığı artmaktadır.



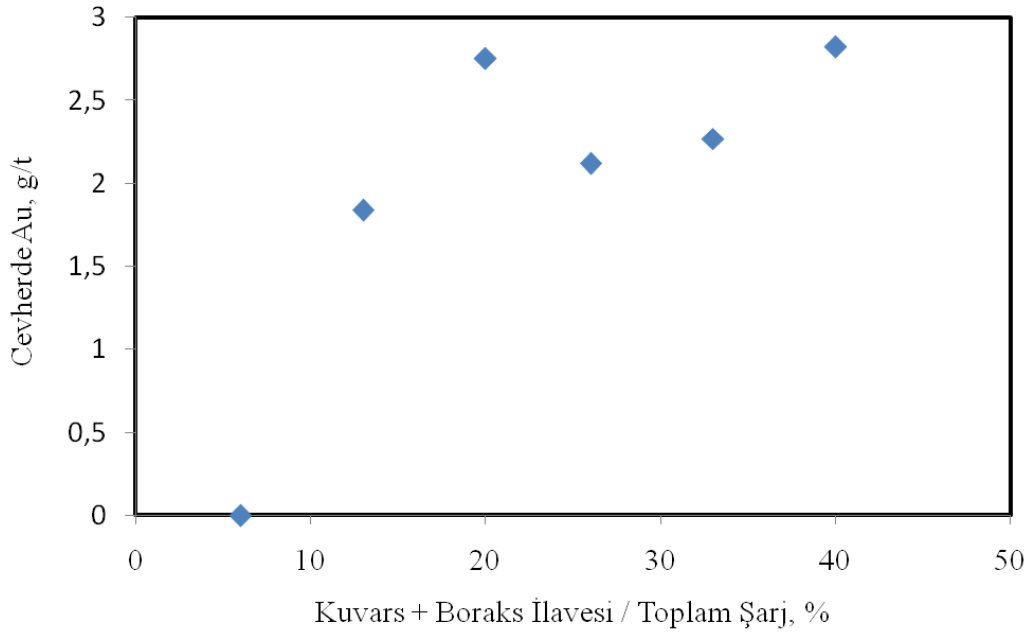
**Şekil 5.9:** Şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile elde edilen kurşun düğme ağırlıklarının değişimi.



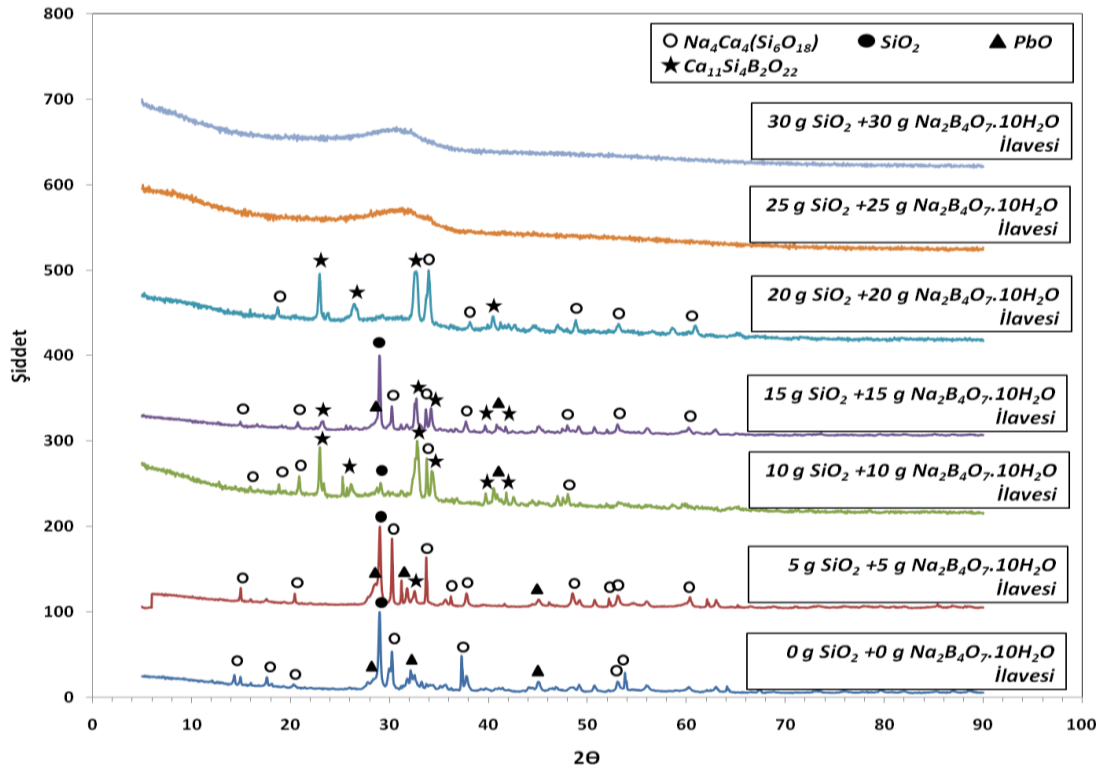
**Şekil 5.10:** Şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile elde edilen boncuk ağırlıklarının değişimi.

Şarj karışımı içerisindeki boraks ve kuvars miktarının artışı ile elde edilen altın kazanımları arasında da bir ilişki gözlemlenmiştir. Yapılan deneylerde en yüksek altın kazanımı 2,82 g/ton ile %40 boraks ve kuvars ilavesinde elde edilmiştir.

Ergitme işlemleri süresince sisteme kuvars ilavesi ile curuf yapısında bir miktar viskozite düşüştü olduğu gözlemlense de elde edilen oldukça viskozdur.



Şekil 5.11: Şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile cevherin ölçülen Au miktarlarının değişimi.



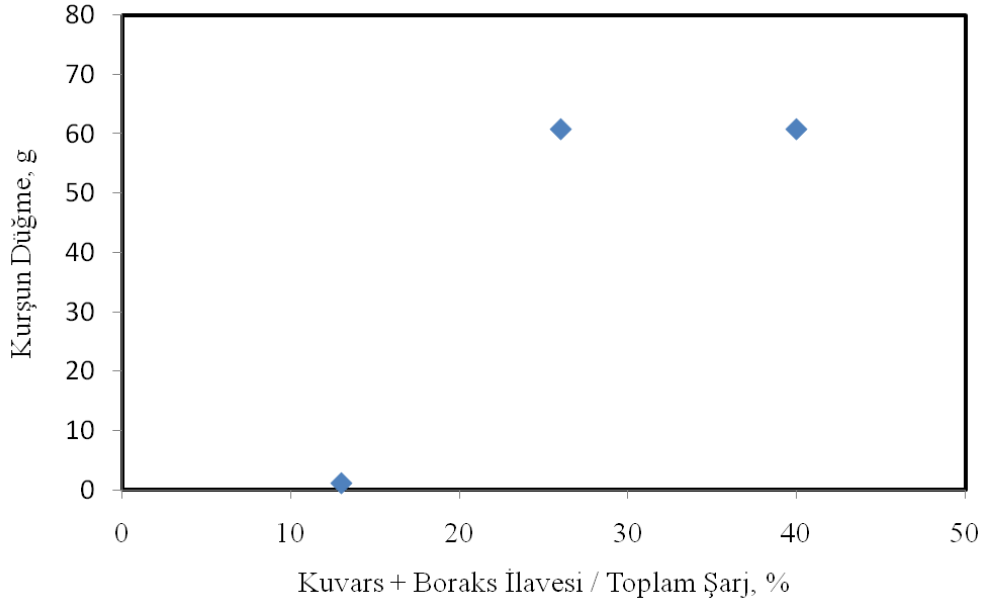
Şekil 5.12: Şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile elde edilen curufun XRD paterninin değişimi.

#### 5.4 Ateş Analizinde Kalsine Edilmiş Cevherin Ergitme Şarjına Farklı Miktarlarda Boraks ve Kuvars İlavesinin Etkileri

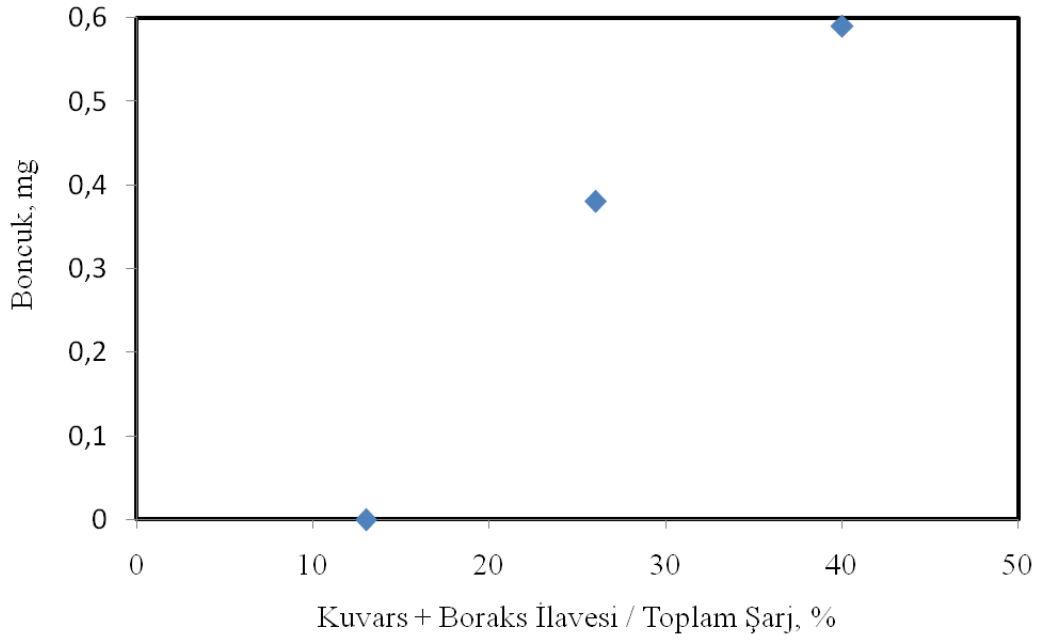
Boraks ve kuvars ilavelerinin etkileri bakılarak bu ilaveleri beraber kullanılıp ve cevherin de kalsinasyonu ile şarja ilavesinde etkilerinin incelemesi için bu deney sistemi oluşturuldu. Cevher numuneleri PbO, un, sodyum karbonat ve sırasıyla 10, 20 ve 30 g. boraks ve kuvars ilavesinden oluşan şarjlar ile 1100 °C’de, kamara tipi fırın kullanarak ve 1 saat süre ile ergitilmiştir. Curuf ve metalik kurşun fazları birbirinden ayrılmıştır. Daha sonra metalik kurşunların soy metal içerikleri 950 °C’de, kamara tipi fırın kullanarak ve MgO küpeller ile gerçekleştirilen küpelasyon işlemi sonucunda metalik kurşun yapısından kazanılmıştır. Soy metal içeren boncuklar sırasıyla HNO<sub>3</sub> ve kral suyu liçleri ile muamele edilmiş ve kalıntıların altın içerikleri AAS ve ICP teknikleri ile karakterize edilmiştir. Ölçülen altın içerikleri cevherdeki miktarları olarak hesaplanmıştır. Deneylerin sonucunda elde edilen çıktılar Çizelge 5.4’te toplu olarak verilmektedir. Ayrıca ilave edilen boraks miktarı ile elde edilen kurşun düğme ağırlıkları arasındaki ilişki Şekil 5.13’de, boncuk ağırlıkları arasındaki ilişki Şekil 5.14’de ve cevherin ölçülen Au içerikleri arasındaki ilişki de Şekil 5.15’de grafiksel olarak gösterilmektedir.

**Çizelge 5.4:** Şarja kalsine cevher, kuvars ve boraks ilavesi ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları.

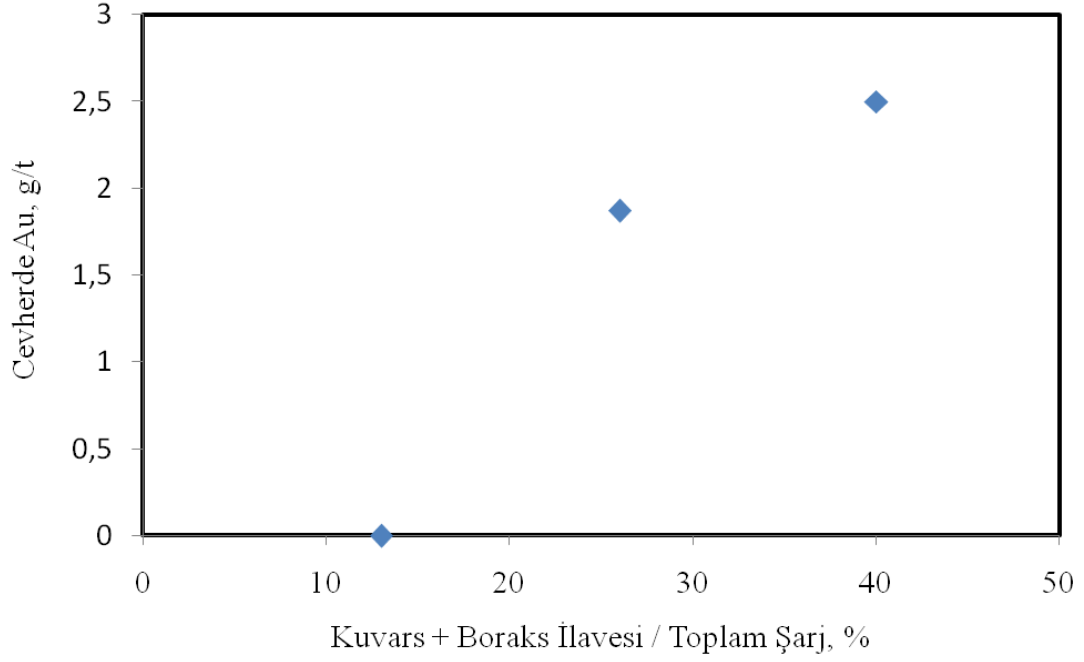
Deney No	Kuvars İlavesi (g)	Boraks İlavesi (g)	Kuvars İlavesi/ Toplam Şarj (%)	Kurşun Düğme (g)	Au-Ag Alaşımı Boncuk (mg)	Cevherin Ölçülen Au İçeriği (g/t)
AC.00.02.02	10 g.	10 g.	1,10 g	145,28 g	---	---
AC.00.02.04	20 g.	20 g.	60,72 g	89,60 g	0,00038	1,87
AC.00.02.06	30 g.	30 g.	67,14 g	85,45 g	0,00059	2,50



**Şekil 5.13:** Kalsine edilmiş cevherin şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile elde edilen kurşun düğme ağırlıklarının değişimi.



**Şekil 5.14:** Kalsine edilmiş cevherin şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile elde edilen boncuk ağırlıklarının değişimi.



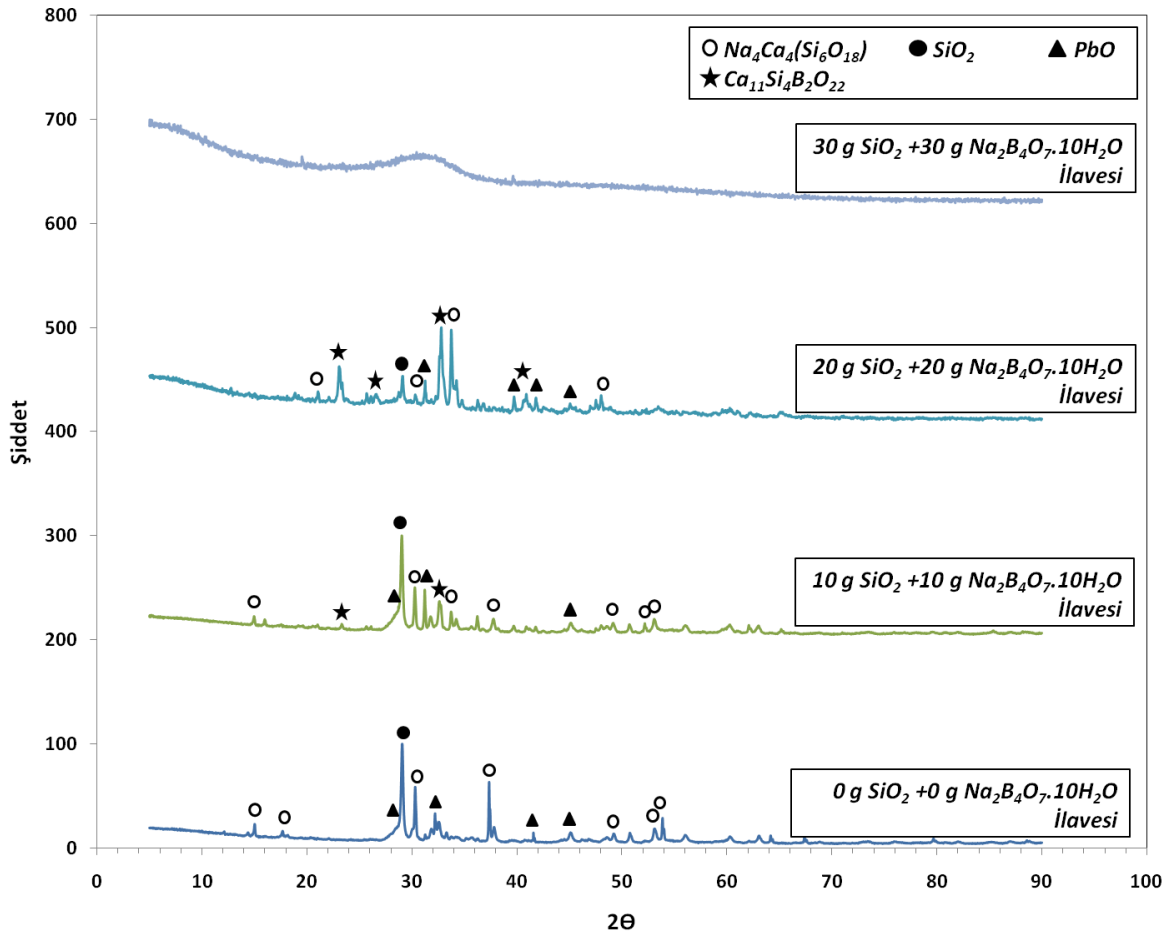
**Şekil 5.15:** Kalsine edilmiş cevherin şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile cevherin ölçülen Au miktarlarının değişimi.

Şarj karışımına ilave edilen boraks ve kuvars miktarındaki artış ile elde edilen metalik kurşun fazlarının ağırlıkları arasında ağırlıkça % 13 boraks ve kuvars ilavesi haricinde bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. % 13 noktası haricinde şarja boraks ve kuvars ilavesindeki artış elde edilen metalik kurşun miktarına sebep olmuştur.

Şarj karışımına ilave edilen kuvars miktarı ile elde edilen boncuk miktarı ile bir ilişki tesbit edilmiştir. % 13 boraks ve kuvars ilave elde edilen boncuk ağırlıkları 0 g miktarlardadır. Boraks ve kuvars ilavesi artıkça elde edilen boncuk ağırlığı artmaktadır.

Şarj karışımı içerisindeki boraks ve kuvars miktarının artışı ile elde edilen altın kazanımları arasında da bir ilişki gözlemlenmiştir. Yapılan deneylerde en yüksek altın kazanımı 2,50 g/ton ile %40 boraks ve kuvars ilavesinde elde edilmiş

Ergitme işlemleri süresince sisteme kuvars ilavesi ile curuf yapısında bir miktar viskozite düşüşü olduğu gözlemlense de elde edilen oldukça viskozdur.



**Şekil 5.16:** Kalsine edilmiş cevherin şarj bileşimine boraks ve kuvars ilavesi ile elde edilen curufun XRD paterninin değişimi.

## 6. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı altın cevherlerinin ateş analizinde kullanılan curuflaştırıcıların etkilerini incelemek ve altın cevherlerinin altın analizlerinde kullanılacak en uygun curuflaştırıcı bileşimini belirlemektir.

Deneyleer kapsamında İliç-Erzincan'da bulunan Anatolia Minerals'a ait maden sahasından elde edilen düşük tenörlü ve karbonatlı altın cevherleri ile çalışılmıştır.

Cevher, kurşun oksit, un ve sodyum karbonattan oluşan şarj bileşimine sırasıyla asidik flaks malzemeleri olan sodyum boraks dekahidrat ve kuvars değışen miktarlarda ilave edilmiş ve ateş analizi sonucunda altın analizlerine olan etkileri irdelenmiştir.

Sodyum boraks dekahidrat ilavesi ile yapılan deneylerde ergitme sonucu metalik kurşun fazı kazanımlarının 70 g. civarında ve birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Küpelyasyon sonucu elde edilen boncuk ağırlıklarında sodyum boraks dekahidrat ilavesi ile herhangi bir önemli değışim tespit edilememiştir. Boncukların altın içeriklerinde ise toplam şarj ağırlığı ile kıyaslandığında % 26'lık sodyum boraks dekahidrat ilavesine kadar bir artış olduğu ve bu noktadan sonra değerlerin düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca % 26'lık sodyum boraks dekahidrat ilavesinde çalışma boyunca elde edilen en yüksek Au ölçümü olan 2,76 g/ton değerine ulaşılmıştır. Bu deney setinde şarj karışımındaki sodyum boraks dekahidrat artışının curuf viskozitesini düşürdüğü de gözlemlenmiştir.

Ergitme şarjı içerisine kuvars ilavesi ile yapılan deneylerde ise artan kuvars miktarı ile hiç kuvars ilavesi yapılmadığı şartlar haricinde metalik kurşun fazı kazanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. Kuvars miktarındaki artışın boncuk kazanımları ve ölçülen altın değerlerine herhangi bir etkisi tespit edilememiştir. Bu deney setinde elde edilen en yüksek altın değeri 2,06 g/ton olarak % 40'lık kuvars ilavesinde ölçülmüştür. Ancak hem metalik kurşun fazı, hem elde edilen boncuk ağırlıkları hem de ölçülen altın değerlerinin sodyum boraks dekahidrat ilavesi ile yapılan deneylere göre

oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kuvars ilavesi ile yapılan deneylerde ilave miktarındaki artış curuf viskozitelerini düşürsede, oldukça viskoz bir curuf yapısı elde edilmiştir.

Asidik curuflaştırıcılar olan kuvars ve boraks şarja beraber ilave edildiğinde elde edilen kurşun fazında bir artış gözlemlenmiştir. Aynı artış boncuk alaşımı eldesinde de gözlenmektedir. Bu deneylerde altın kazanımı en yüksek % 40'lık borak ve kuvars ilavesinde 2,82 g/ton olarak ölçülmüştür. Boraks ve kuvars ayrı ayrı kullanıldığında sonuçlarla beraber kullanımındaki sonuçlar arasında fazlaca fark olduğu görülmüştür. Bu asidik curuflaştırıcıların beraber kullanımı olumlu etki yaparak en iyi sonuçlar elde etmemize katkı sağlamıştır.

Kalsine edilmiş cevher ile şarja boraks ve kuvarsın ilavesinde kurşun fazında artış gösteren bi değişim gözlenmiştir. Aynı şekilde boncuk miktarlarında da bir artış göstermiştir. Bu deneylerde de % 40 kuvars boraks ilavesinde 2,50 g/ton elde edilmiştir.

Yapılan çalışmaların bir sonucu olarak, sodyum boraks dekahidrat ilavesi ile elde edilen analiz sonuçlarının kuvars ile elde edilenlere göre daha sağlıklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sodyum boraks dekahidratın curuf viskozitesini kuvarsa göre daha fazla düşürdüğü ve uygun ilave miktarının şarj bileşimine göre ağırlıkça % 26'lık sodyum boraks dekahidrat ilavesi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu ilavelerin beraber kullanımında deneylerin en verimli sonuçları olan 2,75 ve 2,82 olarak bu deney setinde elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] **McGuire M. A.**, 1978. The classical fire assay, Teenth Annual Meeting of Canadian Mineral. Quebec, Kanada.
- [2] **Url-1** <http://www.altinmadencileri.org.tr>, alındığı tarih 03.04.2010.
- [3] **Oygür V.**, 1990. Altın madenciliğinin yeniden doğuşu, *Jeoloji Mühendisliği*, **37**. 17-22.
- [4] **Url-2** < <http://www.artlex.com> >, alındığı tarih 03.04.2010.
- [5] **National Mining Association**, 2001. *The History Of Gold*, Gold Publications, Washington DC, A.B.D.
- [6] **Url-3** < <http://tr.wikipedia.org> >, alındığı tarih 05.04.2010.
- [7] **Habashi, F.**, 1997. *Handbook of Extractive Metallurgy, Volume 3*, Wiley-VCH, Almanya.
- [8] **Oygür V.**, 1996. Dünya altın madenciliği ve Türkiye'nin altın potansiyeli, *Jeoloji Mühendisliği*, **49**. 55-62.
- [9] **Url-4** <<http://www.mta.gov.tr>>, alındığı tarih 07.04.2010.
- [10] **Kırıkoğlu, M, S.**, 1990 Epitermal altın yataklarının oluşumu ve özellikleri, *Madencilik*, **1**. 41-50.
- [11] **Url-5** <<http://www.pregold.com>> alındığı tarih 07.04.2010.
- [12] **Devlet Planlama Teşkilatı (DPT)**, 2000. Demir dışı metaller sanayii özel ihtisas komisyonu raporu, *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Raporu* .
- [13] **Logsdon M. J., Hagelstein K., Mudder T. I.**, 2001. Altın Üretiminde Siyanür Yönetimi, *International Council on Metals and the Environment*, Ontario, Kanada.
- [14] **Url-6** <<http://www.savethesantacruzauifer.info>>, alındığı tarih 08.04.2010.
- [15] **Url-7** <<http://www.assayone.com>>, alındığı tarih 15.04.2010.
- [16] **Deal R. J., Lorey F. C.**, 1987. Fire assay of gold and silver. *California Geology Dergisi*, pp 240-243.
- [17] **Url-8** <<http://www.unr.edusb204geologypirotech.gif>>, alındığı tarih 15.04.2010
- [18] **Turan A.**, 2009. Keban yöresi piritik refrakter altın cevherlerinin ateş analizi optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [19] **Bor, F. Y.**, 1989. *Ekstraktif Metalurjinin Prensipleri – 2. Kısım*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, Türkiye.



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad** : Haluk Özden BAŞARAN

**Doğum Yeri ve Tarihi** : İstanbul, 29.08.1982

**Eğitim** : Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimleri Mühendisliği

## Yayımlar