



**ALTIN MADENİ ATIKLARINDAN ALTIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ  
PROSESİNİN OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI**

**Ahmet GÜN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2019**

Ahmet GÜN tarafından hazırlanan “ALTIN MADENİ ATIKLARINDAN ALTIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ PROSESİNİN OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Muzaffer BALBAŞI

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

**Başkan:** Prof. Dr. İrfan AR

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

**Üye:** Doç. Dr. Çetin ÇAKANYILDIRIM

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hitit Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ....

Tez Savunma Tarihi: 05 /07/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....  
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....  
Ahmet GÜN  
05/07/2019

# ALTIN MADENİ ATIKLARINDAN ALTIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ PROSESİNİN OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet GÜN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

## ÖZET

Teknolojinin yakın bir gelecekte hammadde olarak atıkları kullanması kaçınılmaz bir gerçektir. Günümüzde değerli metallerin doğal kaynaklardan elde edilmesi kadar, kullanılmış metallerin geri dönüşümü de oldukça önem kazanmıştır. Altın elektronik sanayi, havacılık ve uzay sanayi, inşaat, tıp, tekstil sektörleri, kaplama ve süsleme sanatları, yatırım aracı gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte, hurda haline gelmiş altınlar ve üretim sırasında oluşan atıklar içindeki altının da geri dönüşümü ilgili tesisler yardımıyla yeniden ekonomiye kazandırılabilir. Bu çalışmada atık altın içeren aktif karbon çamurundan altın geri dönüşümü yapan bir tesiste proses şartlarının optimizasyonu çalışıldı. Prosesin bir bölümünden elde edilen kral suyundan altın geri kazanımı yapıldı. Laboratuvar ölçekli deneysel çalışmalar iki seviyeli faktöriyel tasarım ve tepki yüzeyi deneysel tasarım yöntemlerine göre planlandı. Bu yöntemler endüstriyel alanında faaliyet gösteren proses şartlarının optimizasyonunda kullanılabilir ve prosesin ekonomik sayıda deneyle kolayca anlaşılabilirliği ve geliştirilebilirliği için istatistiksel modellere dayalı bilimsel çıkarımlar sağlayabilir. Deneysel planlamada, proses üzerinde doğrudan etkisi olan ana parametreler ve bu parametreler arasındaki ikili ve çoklu etkileşimlerin deneysel verilere dayalı olarak incelenmesi amaçlandı. İki seviyeli faktöriyel tasarım yönteminde ana parametreler olan üre ve sodyum metabisülfid için stokiyometrik miktarlar esas alınarak kullanıldı ve bunun yanında sıcaklık üçüncü bir parametre olarak dahil edildi. Sonuçlar, sıcaklığın proses üzerinde hiçbir etkisinin olmadığını gösterdi. Ancak diğer iki parametre birbirleriyle doğrusal olmayan bir şekilde etkileşmektedir. Sonuçta göre, bu kez sıcaklık parametresi çıkarılarak tepki yüzeyi deneyleri planlandı ve gerçekleştirildi. Sonuç olarak, geri kazanım prosesinde kullanılan kimyasal miktarlarıyla kazanılan altın miktarları arasındaki ilişkiyi gösteren istatistiksel model çıkarıldı. Model kullanılarak maksimum kazanım için optimum çalışma aralıkları tahmin edilebilmektedir. Faktöriyel tasarım deneylerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda üre ve SMB'nin altın çöktürme reaksiyonlarından hesaplanan stokiyometrik oranlarının 1,275 kat ve üzerinde kullanıldığında %100 ve civarında çöktürme verimi sağlamaktadır.

Bilim Kodu : 91211

Anahtar Kelimeler : Altın, Kral Suyu, Çöktürme, Geri Kazanım

Sayfa Adedi : 57

Danışman : Prof. Dr. Muzaffer BALBAŞI

OPTIMIZATION STUDIES OF GOLD RECYCLING PROCESS FROM GOLD MINE  
WASTE

(M. Sc. Thesis)

Ahmet GÜN

GAZİ UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

It is an inevitable fact that technology uses wastes as raw materials in the near future. Nowadays, the recycling of used metals has gained importance as much as the recovery of precious metals from natural sources. Gold is used in various fields such as electronics industry, aerospace, construction, medicine, textile sectors, coating and decoration arts, an investment tool. However, recycling of scrap gold and gold in the waste generated during production can be recycled by means of related facilities. In this study, the optimization of the process conditions was studied in a facility that recycles gold from activated carbon sludge containing waste gold. Laboratory scale experimental studies were planned according to two-level factorial design and response surface experimental design methods. These methods can be used in the optimization of process conditions in the industrial field and can provide scientific inferences based on statistical models so that the process can be easily understood and improved by an economic number of experiments. In experimental planning, the main parameters which have a direct effect on the process and the two and three interactions between these parameters are investigated based on experimental data. In the two-level factorial design method, the main parameters were used for urea and sodium metabisulphite based on stoichiometric amounts, and the temperature was included as a third parameter. The results showed that the temperature had no effect on the process. However, the other two parameters interact with each other in a nonlinear way. According to this result, response surface experiments were planned and realized by removing the temperature parameter. As a result, the statistical model showing the relationship between the amount of gold used in the recovery process and the amount of gold obtained was derived. Optimal working ranges can be estimated for maximum gain using the model. According to the results obtained from the factorial design experiments, the stoichiometric ratios of urea and SMB calculated from the gold precipitation reactions are used in 1,275 times or more and provide 100% precipitation efficiency.

Science Code : 91211

Key Words : Gold, Aqua Regia, Precipitation, Recycling

Page Number : 57

Supervisor : Prof. Dr. Muzaffer BALBAŞI

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca beni yönlendiren, destekleyen, engin bilgileri ve sabrıyla büyük katkıları olan değerli hocam Prof. Dr. Muzaffer BALBAŞI'na tüm emeklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında ve yüksek lisansım boyunca yanımda olup beni destekleyen, stresli anlarımda anlayışlı olan, desteğini, emeğini ve sevgisini her zaman gösteren sevgili canım eşim Handan GÜN'e sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmam ve eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Deneyletimde yardımcı olan sevgili iş arkadaşım Fahrettin TUGAL'a, anlayışlarından dolayı tesis müdürümüz Turgay YILMAZ ve genel müdürümüz Ümit EKİNCİ Bey'e, sağladığı imkanlar ve verdiği destekten ötürü ÇH Makine Mühendislik Danışmanlık A.Ş.'ye çok teşekkür ederim.

Yüksek lisansımın ilk yıllarında danışmanlığımı yapan ve maalesef 31/12/2016 tarihinde aramızdan ayrılan bölümümüz hocalarından çok sevdiğim canım hocam Doç. Dr. Ayşe TOSUN'u sevgi, saygı, minnet ve özlemlerle anıyorum.

**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ.....	x
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ALTIN İLE İLGİLİ TEORİK BİLGİLER.....	3
2.1. Altın.....	3
2.2. Doğada Altın.....	3
2.3. Altının Madenciliği ve Tarihçesi.....	4
2.4. Altının Kullanım Alanları.....	5
2.5. Altının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .....	6
2.6. Altın Kaynakları .....	8
2.6.1. Birincil altın kaynakları .....	8
2.6.2. İkincil altın kaynakları.....	9
3. ATIK BERTARAF TESİSİ .....	15
4. LİTERATÜR TARAMASI.....	17
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
5.1. Deneysel Tasarım Metotları .....	23

	<b>Sayfa</b>
5.2. Deneysel Çalışmalar.....	25
<b>6. DENEYSEL SONUÇLAR.....</b>	<b>31</b>
6.1. Faktöriyel Tasarım Deneyleri.....	31
6.2. Yüzey Cevap Deneyleri .....	40
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>45</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>47</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>49</b>
EK-1. Reaktörden ünitesinden alınan stok çözeltisi için giriş analizi sonucu .....	50
EK-2. 25 <sup>0</sup> C’de yapılan analizlerin sonuçları .....	51
EK-3. 45 <sup>0</sup> C’de yapılan analizlerin sonuçları .....	53
EK-4. Kodlanmış değişkenler cinsinden analiz sonuçların .....	55
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>56</b>
<b>DİZİN .....</b>	<b>57</b>

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Altının fiziksel özellikleri.....	6
Çizelge 6.1. Tam faktöriyel tasarım verim çizelgesi .....	31
Çizelge 6.2. ANOVA analizi sonuçları.....	32
Çizelge 6.3. Model sabitleri .....	33
Çizelge 6.4. Kodlanmış değişkenler cinsinden model denklemi sabitleri.....	34
Çizelge 6.5. Gerçek değişkenler için model denklemi sabitleri.....	35
Çizelge 6.6. İndirgenmiş model için ANOVA analizi çizelgesi .....	36
Çizelge 6.7. Kodlanmış değişkenlerin denklem sabitleri.....	37
Çizelge 6.8. Kodlanmış değişkenler cinsinden final denklemi katsayıları .....	37
Çizelge 6.9. Gerçek değişkenler cinsinden final denklemi katsayıları .....	38
Çizelge 6.10. Yüzey cevap deneyleri veri çizelgesi.....	40
Çizelge 6.11. Yüzey cevap yöntemi için ANOVA analizi .....	42
Çizelge 6.12. İndirgenmiş kübik model için ANOVA analizi sonuçları .....	43

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Altının kullanım alanlarının dağılımı .....	10
Şekil 2.2. Altının ile çeşitli kimyasalların tepkimeleri .....	15
Şekil 2.3. Direkt oksitleyici rafinasyon işleminin şematik olarak gösterimi .....	20
Şekil 2.4. Metal oksitlerin sıcaklığa bağlı olarak standart serbest enerji dönüşümleri...	25
Şekil 6.1. Tam faktöriyel tasarım için etki listesi .....	31
Şekil 6.2. Etkilerin standartlaştırılması .....	10
Şekil 6.3. İndirgenmiş model için etkiler listesi .....	15
Şekil 6.4. Üre ve SMB'nin kodlanmış değişkenler cinsinden verime etkisi .....	20
Şekil 6.5. Üre ve SMB'nin kodlanmış değişkenler cinsinden verime etkisi .....	25
Şekil 6.6. Üre ve SMB'nin kodlanmış değişkenler cinsinden verime etkisi .....	31
Şekil 6.7. Yüzey cevap yöntemi model denkleminin görüntüsü.....	10
Şekil 6.8. İndirgenmiş kübik modele göre Üre(A) ve SMB(B)' nin verime etkisi.....	15
Şekil 6.9. İndirgenmiş kübik modele göre Üre(A) ve SMB(B)' nin verime etkisi.....	20

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 3.1. Kesikli reaktör sistemi.....	15
Resim 5.1. Kral Suyu Stok çözeltisi.....	25
Resim 5.2. Varian AA240FS Atomik absorpsiyon spektroskopisi.....	26
Resim 5.3. Brand marka otomatik pipet seti.....	26
Resim 5.4. 25 <sup>0</sup> C derecedeki stok çözelti.....	27
Resim 5.5. Üre ve SMB eklenmiş stok çözeltiler.....	28
Resim 5.6. Dibe çöken altın partikülleri.....	28
Resim 7.1. Deneylerden geri kazanılıp dökümü yapılmış altın külçesi.....	46

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b><math>\Omega</math></b>	Ohm
<b>Au</b>	Altın
<b>CNT</b>	Karbon Nanotüp
<b>cm<sup>3</sup></b>	Santimetreküp
<b>CVD</b>	Kimyasal Buhar Biriktirme
<b>C</b>	Santigrat
<b>dk</b>	Dakika
<b>g</b>	Gram
<b>J</b>	Joule
<b>K</b>	Kelvin
<b>kg</b>	Kilogram
<b>km</b>	Kilometre
<b>L</b>	Litre
<b>m<sup>2</sup></b>	Metrekare
<b>m<sup>3</sup></b>	Metreküp
<b>ml</b>	Mililitre
<b>mm<sup>2</sup></b>	Milimetrekare
<b>mg</b>	Miligram
<b>N</b>	Newton
<b>nm</b>	Nanometre
<b>Pa</b>	Paskal
<b>PGM</b>	Platin Grubu Metaller
<b>SMB</b>	Sodyum Metabisülfid
<b>VIF</b>	Varyans Genişlik Faktörü
<b>W</b>	Watt

## 1. GİRİŞ

Altın madenlerinde cevherden altın eldesi proseslerinde genellikle sıyırma aşamasında kullanılan aktif karbonlar zamanla kırılarak yüksek gözenek hacmine sahip olma özelliklerini kaybederler ve maden işletmeleri için atık haline gelirler. Bu aktif karbon atıkları doğaya zararlı ağır metaller içerdiği gibi ülkemiz ve dünyada son derece değerli olan altını da içermektedir. Bu tez çalışmasında altın madenlerinden çıkan atık aktif karbonları bertaraf etmek ve içerisindeki değerli altını geri kazanmak üzere kurulan bir atık bertaraf tesisindeki işletilen prosesin bir bölümündeki kullanılan kimyasalların miktarlarını optimize etmek üzere çalışılmıştır.

Bertaraf tesisinin zenginleştirme ünitesinde kral suyundan altın geri kazanımı yaparken kullanılan kimyasalların miktarları deneme yanılma yöntemiyle tespit edilip kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu durum zaman ve kimyasal maliyeti açısından bertaraf tesisinin zararına olmuştur, kimyasalların ve proses şartlarının optimize edilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Optimizasyon çalışmaları kapsamında deneylerin tasarlanması aşamasında deneysel tasarım yöntemlerinden faydalanılmıştır. Deneysel tasarım en az sayıda deney ile proses ve çalışmaların optimize edilmesinde kullanılan çok önemli bir yöntemdir. Ayrıca optimum çalışma şartlarını ve çalışılan parametrelerinin varsa birbirleriyle olan ilişkilerini açıkça ortaya koyabilmektedir. Amacı gerçekleştirmek için kullanılan yöntem tam faktöriyel tasarım yöntemidir. Sebebi, yöntemin kontrol edilebilen parametrelerin bütün kombinasyonlarını kullanıyor olmasıdır. Farklı kombinasyonlar için ana etkiler yanında ikili ve varsa üçlü etkileşimlerin de belirlenerek proses cevabı için bir model önerilmiştir. Proses cevabını kabul edilebilir bir ölçüde değiştirme kapasitesi olmayan terimler modelden elimine edildiğinde ortaya çıkan revize model, proses ürününün maksimizasyonu (optimizasyonu) için kullanılmıştır. Ayrıca yüzey cevap yöntemi de ikili etkileşimleri irdelemek üzere kullanılmıştır. Literatürde yer alan diğer çalışmalarda deneyler geleneksel yöntemlerle yapılmış olup bu tez çalışmasında deneysel tasarım yöntemi kullanılması çalışmayı diğer çalışmalardan farklı kılmaktadır.

Deneysel çalışmalar sırasında izlenen yol şu şekildedir; reaktör ünitesinden alınan altın yüklü kral suyundan deneylerde kullanılmak üzere stok çözeltisi alınmıştır. Stok çözeltisinden numune alınarak Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre cihazında analiz edilerek çözeltinin altın konsantrasyonu belirlenmiştir. Bu çözeltiden altın çöktürmesi için kullanılacak kimyasalların miktarlarını belirlemek üzere kimyasal reaksiyonlardan yola çıkılarak stokiyometrik oranlar hesaplanmıştır. Literatür araştırmaları ve deneysel gözlemler stokiyometrik oranların yeterli olmadığı yönünde olmuştur. Stokiyometrik oranlardan yola çıkılarak deneyler bir tasarım programı yardımıyla planlanarak gerçekleştirilmiştir. Kral suyundan altının tamamının geri kazanımı için kullanılacak optimum kimyasal miktarları için çalışma şartları belirlenmiştir. Daha önceden önemli olduğu düşünülen sıcaklık parametresinin altın çöktürme deneylerinde çöktürme verimine bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerle çalışılan proses üzerinde çöktürme denemeleri yapılmıştır. Deneysel çalışmaların başarılı bir şekilde yürütüldüğü kanıtlanmıştır. Kullanılan kimyasal miktarları önemli ölçüde azaltılmış olup hem çevre açısından hem de bertaraf tesisinin kimyasal giderleri açısından önemli sonuçlar elde edilmiştir.

## 2. ALTIN İLE İLGİLİ TEORİK BİLGİLER

### 2.1. Altın

Altın, atom numarası 79 olan, kütle ağırlığı 197 olan ve  $19,3 \text{ gr/cm}^3$  gibi yüksek bir yoğunluğa sahip, oldukça yumuşak, parlak ve sarı renginde bir elementtir. Altın  $1064 \text{ }^\circ\text{C}$  erimeye başlar ve  $2856 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığına geldiğinde kaynama noktasına ulaşmış olur. Altının periyodik cetveldeki isimlendirmesi Au şeklindedir. İsmi Latince Aurum (ışıldayan-parlayan) kelimesinden almıştır. Korozyon ortamlara karşı dayanıklı olması, doğada serbest halde bulunabilmesi, güzel görünümü ve kolay işlenebilmesi özellikleri nedeniyle insanoğlunun çok eski çağlarda keşfinden beri ilgisini çekmiş ve en kıymetli metallerin başlarında yerini almıştır. Altın diğer bileşiklerle tepkimeye çok zor girmektedir bu da kararlı olmasındandır. Hava ve su temasından etkilenmez. Bundan dolayı hiçbir zaman kararma yapmaz, paslanmaz ve donuk halde görünmez. Saf haldeyken oldukça yumuşak olan altın, kolayca dövülerek şekillendirilebilmektedir [1].

### 2.2. Doğada Altın

Altın doğada çok dağınık bir halde bulunur ve yeryüzünün çok küçük bir bölümünü teşkil eder. Altın, genellikle serbest halde nabit olarak veya elektrik hali ile bulunur. Yeryüzünde bulunma miktarı düşük olan altının bulunma oranı da ortalama  $0,005 \text{ ppm}$  civarındadır. Altın deniz suyunda da bulunur ancak bulunma oranı çok düşük olduğundan üretime elverişli değildir,  $1 \text{ m}^3$  deniz suyunda  $0,0008$  ile  $4 \text{ mg}$  arasında altın bulunabilmektedir. Denizde altın, genelde diplerdeki çamurlarda ve planktonlarda hapsedilmiş olarak bulunur [2].

Altın kayalarda küçük miktarlarda dağılmış durumda bulunuyor olsa da ekonomik miktardaki altın, genel olarak kuvars damarlarından ve doğal olaylar sonucu bu damarlardan türemiş yataklardan, plaser yataklardan ve çıplak kalmış formasyonlardan elde edilir. Altın, her zaman, küçük miktarlardaki gümüş ile alaşım halinde ve genellikle demirli pirit, kalkopirit, galen, stibnit ve arsenopirit gibi sülfürlerle birleşik olarak bulunur [3].

### 2.3. Altının Madenciliği ve Tarihçesi

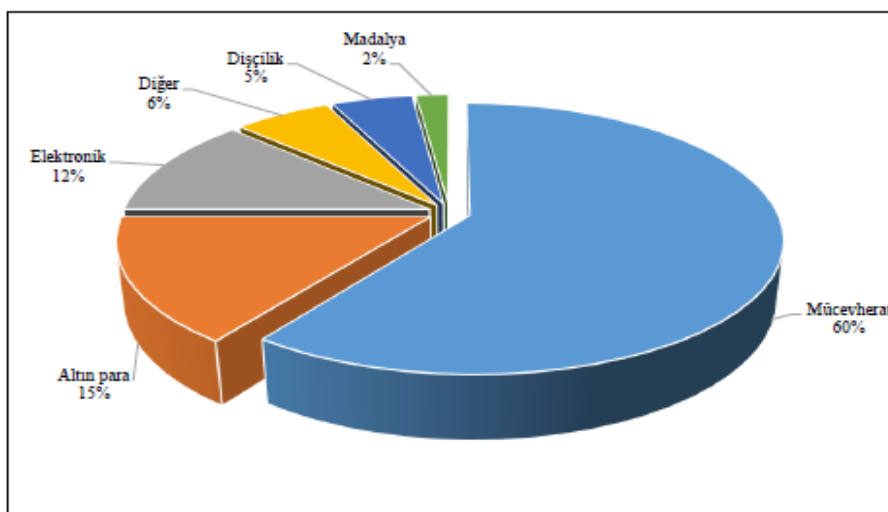
İnsanlar madenleri yaklaşık 10-12 bin yıl kadar önce keşfetmişlerdir. Altın doğada insanoğlunun metal olarak görüp bildiği ilk elementtir. İnsanoğlunun altına olan sevgisi ve hevesi zaman içinde hiç azalmamıştır. Altın yumuşaklığı, kolay şekillenebilmesi ve hiç kaybolmayan parlak sarı rengiyle insanların her zaman ilgisini çekmiştir. Yunanlılar, Asurlular, Mısırlılar ve Etrüsklüler altının para olarak kullanılmadığı zamanlarda sanat eserleri üretiminde kullanmışlardır. Eskiden altın tanrısallık simgesi olarak görülmüş ve bu sebepten de tanrılara adak olarak sunulan altın, tanrısal iktidarın yerini siyasal iktidara bırakmasıyla, düzen değiştirmiş ve kralların madeni haline gelmiştir. Tabiatla oldukça saf halde bulunabilen altının neolitik ve kalkolitik dönemlerde önemi iyiden iyiye artmış, madencilik teknikleriyle toprak altından çıkarılmak yerine genellikle daha kolay bir şekilde toprak yüzeyinden elde edilmiştir. Toprak yüzeyinden elde edilen altın genellikle ırmak kenarlarındaki alüvyonlardan alınmaktadır. Alüvyon içeriğindeki bu doğal altın %90-99 altın ve %1-10 gümüş içermektedir. Ülkemizde de Anadolu Medeniyetleri Müzesi'nde sergilenen buluntular MÖ 6000'li yıllarda Cilalı Taş Devrindeki insanların altın, bakır ve demir gibi madenlerle ilgilendiğini göstermektedir [4].

Türklerde altın tarih boyunca devletin sembolü ve hükümdarlıkların simgesidir. Türklerin altın işlemeciliği ve madenciliği konusunda dünyada her zaman önemli bir yeri olmuştur. Altından süs eşyaları, yüzük ve küpe gibi ziynet eşyaları ayrıca askeri eşyalar yapmışlardır. Ancak Müslümanlığı kabul ettikten sonra altın eşya üretimi oldukça azalmıştır. Altını süs ve takı olarak kullanmışlardır. Romalılar ise altını dönemlerinde devlet borçlarını ödemek için kullanılmışlardır. Altın arayıcıların kullandıkları leğene benzeyen bir düzenek ilk kez Batı Afrika'da, 1471 yılında Portekizler' in istilasından önce kullanılmıştır. Günümüz ticari koşulları göz önüne alındığında altın madenciliği 19. Yüzyılın ortasında Kaliforniya'da yaşanan "Altına Hücum", bir su değirmeni işçisinin dere yatağında tesadüfen bulduğu nabit altın parçaları ile başlamıştır. Plaser tip yataklarda şimdiye kadar bulunmuş en büyük altın parçasığı 72kg ağırlığı ile Avustralya'nın Victoria bölgesinde rastlanan "Welcome Stranger" isimli altın parçasığıdır. Altın madenciliği dünyada genellikle Avustralya, Güney Afrika, Kanada, Rusya, ABD, Meksika, Peru ve Çin Halk Cumhuriyeti'nde gerçekleştirilmektedir. Altın üretiminin bu ülkelerde daha fazla olmasının temel sebebi bu metalin oluşumu ile ilgili olan temel tektonik olaylar ve diğer jeolojik etmenlerin bir araya geldiği bölgeler olmasıdır.

Tüm dünyada tarih boyunca çıkarılan altının 2015 sonu itibarı ile 182.000 ton civarında olduğu tahmin edilmektedir [1].

#### 2.4. Altının Kullanım Alanları

Şimdiye kadar yeryüzünden çıkarılan altının çoğunluğu, hükümetlerin ve merkez bankalarının kullanımındadır. Altın devletler için kâğıt para üretiminin güvencesi olarak ve milletlerarası bir ödeme aracı olarak uzun zamandır büyük önem taşımaktadır. Ayrıca mücevherat endüstrisinde çeşitli amaçlarla altının genellikle gümüşlü, paladyumlu, bakırlı veya platinli alaşımları çok kullanılmaktadır. Altın elektriği çok iyi iletmesi sebebiyle elektrik elektronik sanayilerde bağlantıları, terminallerin, baskı devrelerinin, transistörlerin ve yarı iletken sistemlerin kaplanmasında kullanılmaktadır. Üzerine düşen kızılötesi ışınların yaklaşık %98'ini geri yansıtarak çevirebilen ince altın levhalar, uzay elbiselerinin başlığındaki göz deliklerinde zararlı ışıklardan korunmayı ve uyduların yüzeylerinde sıcaklığın kontrol altında tutulabilmesini sağlar. Çok uzun binalarının pencerelerinde de yine ince levhalar halinde altın kullanılması, yalnız estetik açısından değil, bu yansıtıcı yüzeyin çevreyle ısı alışverişini büyük ölçüde azaltmasından kaynaklanır. Altın tıp dünyasında alerjik reaksiyonlara neden olmaması sebebiyle de tercih edilen metaller arasındadır. Bütün bu kullanım alanlarına rağmen, insanlar altını çoğunlukla takı ve süs eşyası olarak kullanmaktadır. Şekil 2.1'de altının kullanım alanları görünmektedir [1].



Şekil 2.1. Altının kullanım alanlarının dağılımı [1].

## 2.5. Altının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Ham haldeki altın yumuşak ve işlenebilme kabiliyeti çok yüksek olan bir metaldir. 0,1 mikron inceliğindeki altın folyolar elde etmek mümkündür. Tel haline gelme kabiliyeti de oldukça yüksek olan altının 1 gramı ile 2,5 km uzunluğunda bir tel yapılabilir. Altın, çok yüksek parlatılabilirliğe sahiptir ve parlak rengi içeriğine katılan alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak azaltılabilir veya artırılabilir. Çok ince altın yaprakları içinden geçen ışık vasıtası ile mavi-yeşil renk gösterme özelliği vardır [5].

Ham haldeyken yumuşaklığı yüzünden kullanımı zor olan altın, bakır ile (kırmızı altın), gümüş ile (yeşil altın) ve birçok elementle alaşım halinde kullanılabilir. Altının tıp alanında kullanılan en önemli olan izotopu  $^{195}\text{Au}$ 'dır. Altının tabiatta kristalin bir şekilde görüntüsü yoktur. Kübik, oktahedral ve dodekahedral görülebilen yüzeyler üzerinde ipliğimsi, yaprağımsı ve küresel şekiller sergilerler [6].

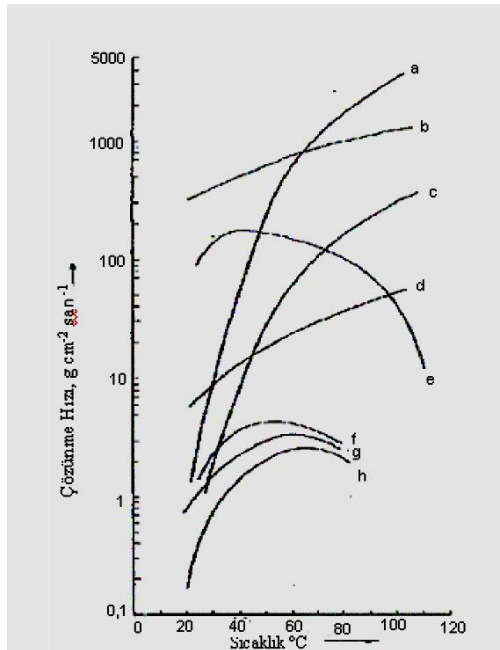
Çizelge 2.1. Altının fiziksel özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Atom No		79
Atom Ağırlığı	g	196,9665
Erime Sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$	1064,43
Kaynama Sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$	2808
Atomik Yarıçap	nm	0,1422
Kristal Yapı		Kübik Merkezli
Latis Sabiti	nm	0,407
Atomları Arası Mesafe	nm	0,2878
Yoğunluk, 273 $^{\circ}\text{K}$	$\text{g}/\text{cm}^3$	19,32
Sertlik, Brinell (10/500/90)	$\text{kgf}/\text{mm}^2$	25
Elastisite Modülü, 293 $^{\circ}\text{K}$	$\text{N}/\text{m}^2$	$7,747 \times 10^4$
Poisson Oranı		0,42
Uzama	%	39-45
Sıkıştırılabilirlik, 300	$\text{Pa}^{-1}$	$6,01 \times 10^{-12}$
Füzyon Isısı	$\text{J}/\text{mol}$	$1,268 \times 10^4$
Buharlaştırma Isısı, 289 $^{\circ}\text{K}$	$\text{J}/\text{mol}$	$3,653 \times 10^5$

Çizelge 2.1. (Devam) Altının fiziksel özellikleri

Buhar Basıncı	1000 °K	Pa	$5,5 \times 10^{-8}$
	1500 °K		$8,5 \times 10^{-2}$
	2500 °K		$4,9 \times 10^3$
	3000 °K		$7,1 \times 10^5$
298 °K'de Spesifik Isı		J/(g. °K)	0,1288
Termal İletkenlik, 273 °K		W/(m. °K)	311,4
273-373 °K'de Termal Genleşme		$K^{-1}$	$1,416 \times 10^{-7}$
Elektriksel Direnç, 273 °K		$\Omega.cm$	$2,05 \times 10^{-6}$
Termal Direnç Sabiti 273-373 °K		K	$4,06 \times 10^{-3}$
298 °K'deki Entropi		J/K	47,33

Kimyasal tepkimelere girmesi zor olan altın, yüksek sıcaklıklara çıktığında bile oksijenden etkilenmez. Altın yalnız başına bütün asitlere karşı dayanıklılığını korur. Ancak kral suyu olarak adlandırılan 3mol HCl + 1mol HNO<sub>3</sub> karışımı, demir III klorürün sıcak çözeltisi, KCN, NaCN, Cl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>, altın ile etkileşime girerler. Civa altın ile alaşım şeklinde birleşim oluşturabilir [6].



Şekil 2.2. Altının ile çeşitli kimyasalların tepkimeleri [6]

Şekil 2.2’de a) Kral suyu, 6 mol/L; b) HCl, 6 mol/L + Br<sub>2</sub>, 0,2 mol/L; c) NaCN, 0,45 mol/L + 4-nitrobenzoik asit, 0,1 mol/L + NaOH, 0,2 mol/L; d) HCl, 6 mol/L + Cl<sub>2</sub> (doymuş); e) HCl, 6 mol/L + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 0,22 mol/L; f) NaCN, 1 mol/L + hava; g) NaCN, 0,45 mol/L + NaOH, 0,2 mol/L + hava; h) NaCN, 0,006 mol/L + Ca(OH)<sub>2</sub>, 0,04 mol/L + havayı temsil etmektedir.

## 2.6. Altın Kaynakları

Altın kaynakları birincil ve ikincil olmak üzere ikiye ayrılır.

### 2.6.1. Birincil altın kaynakları

Birleşimlerine bakıldığında birincil kaynaklar ikincil kaynaklara göre daha karmaşıktır ve genellikle içeriklerinde kazanılması gereken platin grubu elementleri de içerirler. Bakırın rafine edilmesinden gelen anot çamuru, kurşun rafine edilmesinden gelen zengin bir köpük, gümüş rafine edilmesi elektrolizinden gelen anot çamuru ve cevherden doğrudan siyanürleme yolu ile elde edilen kompleks, birincil altın kaynakları olarak sıralanabilir. Birincil kaynakların başında gelen altın cevherleri, serbest altın içeren cevherler, genelde plaser tipi cevher yani doğal olaylar sonucu parçalanmış kayalardan gelen mineral ve metallerin akarsu yataklarında birikmesiyle oluşan cevherler ve sülfürlü ya da karbonlu yapıdaki (refrakter tip) cevherler olmak üzere 3 gruba ayrılır. Günümüzde plaser ve serbest altın içeren tipteki kaynaklardan altın elde edilmesinde, siyanür ile çözme, çinko ile sementasyon veya aktif karbon içerisine absorpsiyon, dore metal ergitilmesi ve rafine edilmesi basamakları uygulanmaktadır. Refrakter yani ısıya dayanıklı tipteki metaller içeren cevherlerde altın; sülfür ve karbon içeren minerallerin yapısı içinde kapanımlar halinde bulunduğundan, doğrudan siyanür ile işlenmeye uygun değildir. Bu sebepten dolayı bu tür kaynaklardan altının bir ön işleme (oksidasyon) serbestleştirilmesi gerekir. Uygulanan ön işlemler yardımı ile refrakter yapıdaki altının siyanürle kompleks yapabilir hale getirilmesi ve metal kazanma verimleri üzerinde olumsuz etki yaratan bileşik ve minerallerin uzaklaştırılması sağlanmaktadır [7].

## 2.6.2. İkincil altın kaynakları

Günümüzde çok çeşitli sektörlerde ve alanlarda kullanılan altın kullanıldığı bölüm, parça, makine vb. kısımlar zamanla hurda haline gelirler. Dolayısıyla bu hurdalar altın ve diğer kıymetli metaller içerdiğinden geri dönüşüm yöntemleri ile altın ve kıymetli metallerin tekrardan kazanılması endüstriyel, çevresel ve ekonomik bir gerekliliktir.

İkincil altın kaynakları olarak eski takılar, dışçilikten gelen altın içerikli hurdalar, kuyumculuk üretim tezgâh hurdaları ve atölye çöpleri, eski ergitme potaları, elektronik atıklar, altın madeni atıkları ve çeşitli altın kaplama eşyalar olarak sıralanabilir.

İkincil kaynaklardan altın geri dönüşümünde kullanılan yöntemler şu şekildedir:

1. Küpelasyon (Kal)
2. Çeyrekleme
3. Miller prosesi
4. Wohlwill elektrolitik işlemi
5. Fizzer hücre işlemi
6. Solvent ekstraksiyon
7. Direkt oksitleyici rafinasyon
8. Kral suyu işlemi

### Küpelasyon

Bazik metalleri altın ve gümüşten ayıran bir yöntemdir, küpelasyon ile cevherden altın ve gümüş analizi de yapılabilmektedir. Sadece küpelasyon ile altın, gümüş ve platin grubu metalleri birbirinden ayrılamazlar, dolayısıyla küpelasyon kendi başına tam olarak bir

saflaştırma yöntemi değildir. Günümüzde bu metod genellikle cevherden altın, gümüş ve platin grubu metalleri ayırmak için kullanılmaktadır.

Amaç, kompleks bir sıvı borosilikat cürufu ve kontrollü boyutta bir sıvı kurşun fazının en az iki fazından oluşan bir eriyik oluşturmaktır. Soy metallerin erimiş metalik kurşun içindeki yüksek çözünürlük derecesi ve kurşun ile cüruf arasındaki özgül ağırlıktaki büyük fark, soy metallerin cüruftan kurşun alaşımları olarak ayrılmasına izin verir. Kurşunun kurşun oksit olarak dikkatlice kontrol edilen bir oksitleyici füzyon ile bir küpel olarak bilinen gözenekli bir kapta daha sonra çıkarılması, kurşunu soy metallerden ayırır. Kalan metalik boncuk daha sonra soy metaller için analiz edilir [8].

### Çeyrekleme

Bu yöntemde altın içeren hurda içeriğindeki altın oranını %25'in altına indirmek amacıyla gümüş, bakır gibi nitrik asitte çözünebilen metallerle birlikte eritilir. Eriyik haldeki metaller karışımı yüzey alanını büyütme amacıyla suya dökümü yapılır. Metal küreciklere nitrik asit ile çözündürme işlemi yapılır. Oksidasyon potansiyelleri hidrojenin potansiyelinden daha yukarılarda olan soy ve yarı soy olan metaller, çözünme işlemleri esnasında tuz çözeltileri oluştururlar. Çözündürme işlemi sonucunda kalan çamur altın ve platin grubu metalleri içerir. Bu yöntemle %99,5 saflıkta altın alınabilir [9].

### Miller prosesi

Miller prosesinde altın dışındaki metalleri 400°C üzerinde klor ile kararlı bileşikler oluşturması esasına dayalı olarak altının saflaştırılması esas alınır. 1100°C işlem sıcaklığında erimiş metal karışımına klor gazı üflenir gümüş, bakır, kurşun, demir, çinko gibi safsızlıklar sistemden gaz olarak uzaklaştırılır. Bu yöntemle platin grubu metaller altından ayrılmazlar ikinci bir işlem gereklidir [9].

### Wohlwill Elektrolizi

Eski ve köklü bir süreç olan Wohlwill yöntemi, genellikle Miller süreci ile birlikte, büyük altın rafinerilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir elektrolitik arıtma tekniği, saf olmayan bir altın anotun bir hidroklorik asit bazlı elektrolitte elektrolitik çözünmesini

gerektirir. İşlem, katotta yüzde 99,99 saf altın birikimi ile sonuçlanır. Gümüş ve çözünmeyen platin grubu metallere (PGM) (küçük bir altınla birlikte) anotta toplanır ve gümüş, gümüş klorür olarak çökeltilir daha sonra dipten toplanır. Herhangi bir baz metal, platin ve paladyum çözeltide kalır ve PGM'lerin geri kazanılması için daha sonra muamele edilebilir.

Anot için normalde en az yüzde 98,5 saflıkta bir altın gerekir, çünkü çok fazla gümüş anot yüzeyinde gümüş klorür birikmesine sebep olur ve altının çözünmesini önler. Tipik olarak, anot için girdi malzemesi, daha önce tarif edilen Miller işleminden elde edilen altındır.

Genellikle 24 saat veya daha fazla zaman harcadığından ve elektrotlarda ve elektrolitte altın envanterinin kapanmasından muzdarip olduğundan, Wohlwill işlemi küçük ölçekli arıtma için uygun değildir [11].

#### Fizzer Hücre Prosesi

Wohlwill elektrolitik işleminin bir çeşidi olan Fizzer hücre işlemi, kuyumcuların küçük ölçekli arıtma işlemlerine uygundur. Elektrolitik hücrede katot, yarı geçirgen bir zar görevi gören gözenekli bir seramik kap içinde bulunur; duvarın anot tarafındaki elektrolitte çözünen altının geçmesini ve katod üzerinde birikmesini önler. Böylece, altın ve diğer çözülebilir metal kloridler oluşur ve gümüş ve çözünmeyen PGM'ler gibi çözünmeyen kloritler, hücrenin tabanına düşer.

Periyodik olarak hücre boşaltılır ve süzülür ve elektrolit içerisindeki altın, daha sonra Kral Suyu işleminde olduğu gibi seçici bir indirgeme maddesi ile çökeltilir. Bu şekilde, çözülmüş PGM'ler yüzde 99,99 saflığa ulaşabilen altından ayrılır.

Wohlwill işleminden farklı olarak, Fizzer hücresi yüzde 10'a kadar gümüş ve yüzde 20'ye kadar gümüş içeren anotları işleminden geçirebilir. Anotun yüzeyinin düzenli aralıklarla gümüş klorürden arındırılması gerekebilir [12].

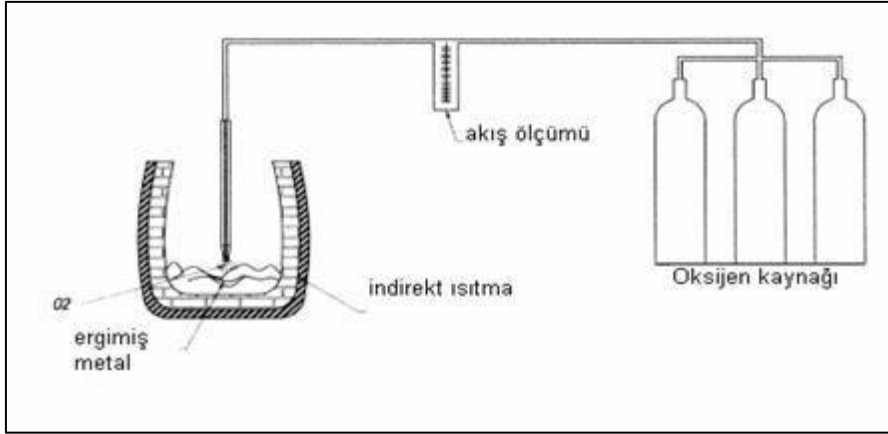
#### Solvent Ekstraksiyon

Değerli metallere için solvent ekstraksiyon bazlı arıtma işlemleri, geleneksel çökeltme yöntemlerine göre birçok avantaj sunar. Bu teknoloji ilk kez 1971'de ticari olarak

kullanılmıştır ve o zamandan beri dünya çapında sayısız altın rafinerisinde uygulanmıştır. Bazı çözüldürme ve çökeltme sistemlerinde hammaddedeki altın içeriği ya çok düşüktür veya hammadde aşırı kirlidir. Solvent ekstraksiyon yönteminde altının doğrudan indirgenmesi ile karışık bir ürün alınır. Altın indirgenmesinden önce çözeltinin temizlenmesi bu sistemde öncelik arz etmektedir. Temizlik işleminde de en iyi yöntem solvent ekstraksiyonudur. Solvent ekstraksiyonu kabaca metalin bir organik fazın içine alındığı bir ayırma işlemi olarak açıklanabilir. Altın ile yüklü organik kısım sulu çözeltiden ayrılır ve metal organik çözeltiden başka bir sulu çözeltiye sıyrılarak ayrılır. Sonuç olarak metal, kirli ve seyreltik bir çözeltiden temiz ve daha yoğun altın içeren bir başka çözeltiye aktarılmış olur. Klorür çözeltilerindeki altın çeşitli şekillerde klor ile birbirinden ayrılabilir, örnek verecek olursak; ketonlar, alkoller ve aminler (amonyak) gibi çok sayıda organik bileşik bu işlem için kullanılmaktadır. Inco PGM rafinerisi 1971'den beri solvent ekstraksiyonu işlemi için dibütilkarbitol (dieterilen glikol dibütül eter) kullanmaktadır. Altının eldesi aşamasından sonra sonra organik 1,5 M HCl ile muamele edilerek altınla beraber olan kirletici metaller giderilir. Solvent ekstraksiyon işleminden sonra altın, organik oksalik asit ile doğrudan indirgemeye tabi tutularak geri kazanılır. Solvent ekstraksiyon yöntemi genellikle madenlerde kullanılmakla beraber, küçük çaptaki işletmelerde altının ramattan geri kazanımı işlemi için uygun ve ekonomik değildir [13].

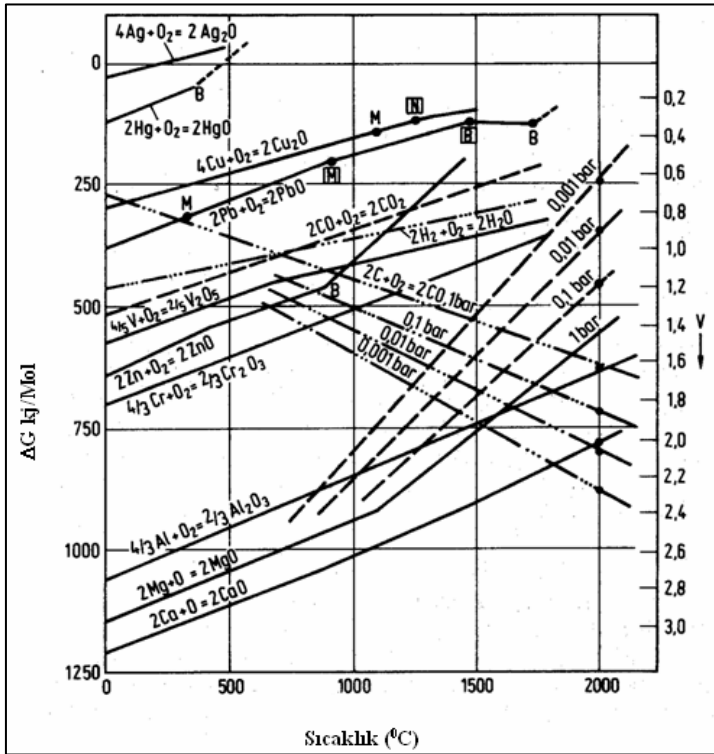
#### Direkt Oksitleyici Rafinasyon

Doğrudan oksitleyici rafinasyon yönteminde oksijen kontrollü olarak sıvı metal üzerine üflenir ve seçici olarak altından daha bazik olan safsızlıkların oksitlenerek indirgenmesi sağlanır. Altın dışındaki metallerin oksijene karşı olan çekim güçlerindeki farklılığın safsızlıkların oksitlenmesine imkân vermesi prosesin ana çalışma prensibidir. Şekil 2.3'te prosesin şematik gösterimi yapılmıştır.



Şekil 2.3. Direkt oksitleyici rafınasyon işleminin şematik olarak gösterimi

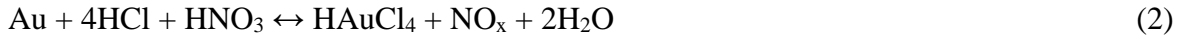
Sistemde bulunan herhangi bir safsızlığın oksidasyon oranı metalin diğer bileşenlerle etkileşimine bağlıdır. Cüruf yapan kimyasalların ilavesi yapıldıktan sonra karışım 1100 °C sıcaklık üzerine çıkılarak ergitme yapılır ve bazik karaktere sahip bir cüruf oluşturup Elingam diyagramına (Şekil 2.4) göre bakıra kadar olan bazik metallerin büyük bir kısmı giderilir. İşlemin verimini etkileyen çeşitli etmenler şu şekildedir; karışımın miktarı, oksijen üfleme çapı, üfleme mekanizmasının ergitilecek malzemeye olan uzaklığı, üflenen oksijenin basıncı ve oksijen akış hızıdır.



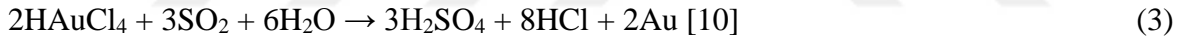
Şekil 2.4. Metal oksitlerin sıcaklığa bağlı olarak standart serbest enerji dönüşümleri [14]

### Kral Suyu Prosesi

3:1 oranında nitrik asit, hidroklorik asit bileşimine kral suyu adı verilir. Altın çözümlendirilmesinde bilinen en eski yöntemlerdendir. Kral suyunun altın oksidasyonu aşağıdaki reaksiyon 1 ve 2'ye göre gerçekleşir:



Altın içerikli hurda, atık vb. kral suyunda çözüldükten sonra altının geri kazanımı için çeşitli redüktanlar kullanılır. Altın çöktürme için kullanılan redüktanlar sülfür dioksit, sodyum bisülfid, sodyum metabisülfid, okzalik asit, kalay klorür, tartaratlar, demir sülfat, sitratlar, asetatlar, bazı şekerler, odun kömürü, hidrojen ve hidrojen sülfür olarak sayılabilirler. Altın çöktürme için en çok tercih edilen redüktan kullanım kolaylığı ve bulunabilirliği sebebiyle genellikle sodyum metabisülfid olmaktadır. Çöktürme reaksiyonu aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir:



### 3. ATIK BERTARAF TESİSİ

Deneylere konu olan tesis altın madeni atığı olan aktif karbonu bertaraf etmek üzere kurulmuş ve aynı zamanda bu atıkların içerisinde kalan altın ve gümüşü geri kazanmaktadır. Bertaraf tesisinde sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmektedir.

- 1- Aktif karbon atıkların yakılması
- 2- Yakmadan elde edilen külün ergitme ünitesinde ergitme işlemi yapılması
- 3- Ergitme işleminden elde edilen dore metallerin saflaştırma ünitesinde nitrik asit ve hidroklorik asit ile saflaştırma işlemine tabii tutulması
- 4- Saflaştırma ünitesinden alınan altın içeren kral suyuna üre ve sodyum metabisülfite eklenerek çöktürme yapılması
- 5- Çöktürme işlemi sonunda alınan saf altın tozunun külçe haline getirilmesi

Saflaştırma ünitesinde kullanılan kesikli reaktör sistemi Resim 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.1. Kesikli reaktör sistemi



#### 4. LİTERATÜR TARAMASI

Erdem (2006) yaptığı çalışmada altın kaybı pahasına uygulanan geri dönüşüm yöntemlerine alternatif bir süreç geliştirmek ve sürecin optimizasyonunu sağlamayı amaçlamıştır. Yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda; altının kral suyu içerisinde çözülmesi için, 60-100 °C sıcaklık aralığında saf altın ve beyaz, kırmızı ve yeşil altın çeşitleri ile çalışmış ve uygun hidroklorik asit ve nitrik asit oranları belirlenmiştir. Kullanılan asitin miktarlarına göre altının çözünme süresi 2-2,5 saat aralığında değişmektedir. Kral suyu karışımı için optimum asit miktarları ve oranları belirlenmiştir. Daha sonra sodyum bisülfid yardımıyla çöktürme deneyleri yapılmıştır. Kullanılması gereken optimum bisülfid miktarı belirlendikten sonra, altın çözmede fazla klorik ve nitrik asit kullanımının çökme verimine etkisi incelenmiş ve irdelenmiştir. Elde edilen verilerden yola çıkılarak yarı endüstriyel bir sistemde denemeler yapılarak optimum proses şartlarının üretime uyarlanması sağlanmıştır. Ramatın atık olarak karmaşık bir halde olması altın içeriğinin belirlenebilmesi için uygun numune alınmasını oldukça zorlaştırmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için ramata bazı ön işlemler uygulanmış ve homojen bir numune alınmıştır. Sürekli çalışan bir prosesin dizaynı ve bütün deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen veriler ışığında altın geri kazanımı için uygun bir sistem oluşturulmuştur [14].

Syed (2012) yaptığı çalışmada altının ikincil kaynaklardan elde edilmesinde kullanılan çeşitli metodolojilere genel bir bakış açısı sunmaktadır. Altın geri kazanımı, geniş endüstriyel uygulamaları, yüksek piyasa fiyatları ve yaygın olarak kullanılan kıymetli metaller, uluslararası siyasi ve ekonomik krizler sırasında altına atfedilen kutsal değer ve bu metalin sınırlı kaynağı nedeniyle, son zamanlarda artan altın payı değerini açıklayabilir. Pirometalurji tarafından harcanan kaynaklardan altının kazanılmasında sanatın durumu; hidrometalurji; biyo-hidrometalurji teknikleri çalışmasında vurgulanmıştır. Makale aynı zamanda geçmiş başarılarla genel bir bakış ve altının geri kazanılmasında ekonomik bir araç olarak hizmet verebilecek bazı ümit verici yöntemlerin kullanımı üzerine yürütülen geri kazanım çalışmaları senaryosunu sunmaktadır. Bu çalışma, gerçek durumlarda kullanılan liç, çimentolama, indirgeme maddeleri, soyma, pıhtılaştırıcılar, adsorbanlar, aglomerasyon çözücüler, iyon değiştirici reçineler ve biyo-sorbent çeşitlerini vurgulamakta ve harcanan kaynaklardan altın elde edilmesini öngörmeyi ummaktadır. Yapılan çalışmada birincil ve

ikincil harcanan kaynaklardan altın elde etmek için kazançlı ve çevre dostu teknolojilerin değerlendirilmesi yapılmıştır [15].

Park ve Fray (2009) yaptıkları çalışmada atık halde olan baskılı devre kartlarından değerli metallerin geri kazanılması için umut vaat eden bir yöntem sunmuşlardır. Çözücü olarak kral suyu kullanılmış ve metaller ile kral suyu arasındaki oran 1/20 (g / ml) olarak belirlenmiştir. Gümüş nispeten kararlı olduğundan girişteki miktarın yaklaşık %98'i ilave bir işlem yapılmadan geri kazanılmıştır. Paladyum, çözünme sırasında  $\text{Pd}(\text{NH}_4)_2\text{Cl}_6$ 'dan oluşan kırmızı bir çökelti oluşturmuştur. Çöken miktar girişteki paladyumunun ağırlık olarak %93'üdür. Altını seçici olarak çıkarmak için toluen ile sıvı-sıvı ekstraksiyonu kullanılmıştır. Ayrıca, altın nanoparçacıklar yapmak için dodekanetiol ve sodyum borohidrid çözeltisi ilave edilmiştir. Girişin ağırlıkça yaklaşık %97'sindeki altın, seçilen alan elektron difraksiyonu ve en yakın komşu kafes boşluğu boyunca yüksek çözünürlüklü bir transmisyon elektron mikroskobu ile tanımlanmış nanopartiküller olarak geri kazanılmıştır [16].

Bonggotgetsakul, Catral ve Kolev (2016) yapılan çalışmada altının HCl çözeltilerinden ve elektronik hurdanın kral suyu içerisinde çözünmesi ile elde edilen bir çözeltiden ayrılması için ağırlıkça %30 iyonik sıvı ve %70 polimer bileşimine sahip bir polimer bazlı membran kullanmışlardır. Bu polimer katkılı membran asidik solüsyonlarda yüksek stabilizeye sahiptir. Altın 0,5 mol/L  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  kullanılarak polimer bazlı membrandan geri ekstre edilebilmektedir. Altının ekstraksiyonu, stokiyometrisi ve geri ekstaksiyonu üzerine tartışılmıştır. Önerilen membran ile yapılan taşınım çalışmaları solüsyonda altından 1500 kat fazla bakır bulunması durumunda dahi altının tamamının membrana taşındığını göstermiştir. Taşınımında kral suyu besleme solüsyonu olarak ve 0,5 mol/L  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  alıcı solüsyon olarak kullanılmıştır. Önerilen polimer katkılı membran geleneksel yöntemlere göre çekici bir alternatif oluşturmuştur. Çoğu alternatif toksik, uçucu ve alev alıcıdır. Polimer katkılı membran bazlı sistemde geri ekstraksiyonda başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak elektronik atık ve mücevher geri dönüşümü için iyi bir alternatif olmuştur [17].

Lu ve Xu (2017) yaptıkları çalışmada hafıza kartlarından altın geri dönüşümü üzerine çalışmışlardır. Çalışmada yenilenebilir amonyum persülfat ve hidrojen peroksit kullanarak altın geri dönüşümü için yeni, etkili ve daha güvenli bir yol sunulmuştur. Yapılan deneylerin tasarımında yüzey tepki metodu kullanılmıştır. Sonuçlar, optimal koşulların 0,8 mol / L

amonyum persülfat konsantrasyonu (1:30 katı / sıvı oranı), 14,45 mL hidrojen peroksit dozajı, 80 ° C reaksiyon sıcaklığı ve 30 dakikalık reaksiyon süresi olduğunu gösterdi; altın oranı % 93,95 ile saflığı % 98,95 olarak bulunmuştur. Tüm bulgular, amonyum persülfat ve hidrojen peroksit kombinasyonunun, baz metal substratı oksitlemek ve yüzeysel altını hafıza kartlarından soymak için iyi bir performans sergilediğini göstermiştir [18].

Kim, Kim, Lee ve Pandey (2011) yaptıkları çalışmada hurda cep telefonu PCB'lerinden altının elektrolizle üretilmiş klor ile oksidan olarak liçi ve iyon değişim prosesi ile geri kazanımını incelenmiştir. Liç deneyleri, bir Cl<sub>2</sub> gaz üreticisinin anot bölmesine bağlı ayrı bir liç reaktörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Altın liçi başlangıçtaki sıcaklık ve klor konsantrasyonunun artışı ile yükselmiştir ancak bakır konsantrasyonu asit ve sıcaklık düşüşü ile artmıştır. İki aşamalı bir liç işleminde, bakır, çoğunlukla 714 A / m<sup>2</sup> akım yoğunluğunda, elektro-üretilen klorin ile 2 mol / L HCl'de 1. aşama liç sırasında, 25 ° C'de 165 dakika içinde %97 oranında çözülmüştür, bu esnada küçük bir altın geri kazanımı da (% 5) gerçekleşmiştir. 2. aşamada altın, çoğunlukla (93% kazanım, ~67 mg/L) 0,1/ L HCl'de elektrolize klorin tarafından 1. aşamadaki tortudan çıkarılmıştır. Amberlite XAD-7HP reçinesi kullanılarak iyon değişimi ile liç solüsyonundan altın geri kazanımı,% 95 olarak bulundu ve maksimum miktarda altın 46,03 mg / g reçine tarafından adsorbe edilmiştir. İyon değiştirme işleminde konsantre bir altın çözeltisi, %99,9 saflıkta 6034 mg / L olarak elde edilmiştir [19].

Lhanafi ve diğerleri (2018) yaptıkları çalışmada süt üretim tesisi atıklarından metan üretiminde kullanılan parametreleri araştırmak için faktöriyel deneysel tasarım metodunu kullanmışlardır. Nitekim, metan veriminin üç parametrenin (pH, aşı ve organik yük) bir fonksiyonu olarak değerlendirilmesi, deneysel ve istatistiksel veriler arasındaki ilişkiyi pH 8 ve aşı 1 (1 L'lik bazal besiyerinde metanojenik ortamda seyreltilen çamurdan oluşur) arasındaki ilişkiyi göstermiştir. Bakteriler, optimum parametreler olarak formik asit (5 mL L<sup>-1</sup>), propiyonik asit (5 mL L<sup>-1</sup>), laktik asit (5 mL L<sup>-1</sup>) ve mikro besin (10 mL L<sup>-1</sup>) ortamında bulunur. Bununla birlikte, organik yük konusunda bir tutarsızlık tespit edilmiştir. Parametreler arasındaki etkileşim, metan verimi üzerinde olumlu bir etkiye sahipti çünkü deneysel olarak daha yüksek yük (3,44 g VS) kullanılarak maksimum bir metan üretilmesine neden olmuştur. Bu sonuçlar metan üretiminin iyileştirilmesi için parametrelerin seçilmesine izin vermiştir. Ayrıca, süt ürünü atıklarının birlikte sindiriminin etkinliğini tanımlamak ve arttırmak için uygunluk modelinin geçerliliği araştırılmıştır. Ek olarak, uçucu katıların

%89'unda bir azalma gözlenmiştir ve mineral katı maddeler gübre olarak digestat değerinin önemli olduğu 4'ten 7,2g/L'ye yükseltilmiştir [20].

Mohammed ve diğerleri (2017) yaptıkları çalışmada Argon ortamında CVD yöntemiyle karbon nanotüp (CNT) sentezine tam faktör tasarımı yaklaşmışlardır. CNT'lerin sentezinin parametrik çalışmalarında asetilen kimyasal buhar biriktirme (CVD) ile istatistiksel tam faktöriyel deney tasarımı araştırılmıştır. CNT'lerin sentezi için  $\text{CaCO}_3$  üzerinde desteklenen bimetalik (Fe-Co) katalizörü kullanılmıştır. CNT'lerin veriminin artma süresine (45/60 dk), büyüme sıcaklığına (700/750 °C), asetilen akış hızına (150/190 ml / dk) ve argon akış hızına (230/290 ml / dk) bağımlılığı,  $2^4$  faktörlü deney tasarımında incelenmiştir. Artan sıcaklık ve asetilen akış hızının, CNT'lerin verimi üzerinde en önemli etkiye sahip olduğu bulundu ve 60 dakikalık, 700 ° C, 190 ml / dakikalık asetilen akış hızı ve 230 ml/ dakika argon akış hızı artış koşullarında maksimum %170'lik bir verim artışı elde edilmiştir. Farklı koşullarda sentezlenen CNT numunelerinin karakterizasyonu, en yüksek verim koşullarının en iyi kalite özelliklerini garanti etmediğini göstermektedir [21].

Veljkovic, Velickovic, Avramovic ve Stamenkovic (2018) yaptıkları çalışmada Box-Behnken (BBD) ile bağlantılı olarak yüzey tepki metodolojisinin (RSM) yüzey merkezi kompozit veya tam faktöriyel tasarımıyla (sırasıyla FCCD, FFD) performansları, NaOH katalizli ayçiçek yağı etanolizinin modellenmesinde kullanım için karşılaştırmıştır. Yağ asit etil esterleri (FAEE) içeriği üzerine sıcaklık, katalizör yükleme ve etanol-yağ molar oranının (EOMR) etkisi değerlendirilmiştir. Üç değişkenli stratejinin tümü, etkili süreç değişkenlerinin istatistiksel modellemesi ve optimizasyonunda etkiliydi, ancak BBD ve FCCD gerçekleştirilmesi, daha az maliyet gerektiren, daha az çalışma gerektiren ve ilgili FFD'den daha kısa zaman tüketen daha az sayıda deney içeriyordu. Üç tasarımın tümü aynı optimum katalizör yüklemesi (%1,25 yağ) ve EOMR (12: 1) ile sonuçlanmıştır. BBD ve FCCD'ye dayanan indirgenmiş iki faktörlü etkileşim (2FI) modelleri, bir dizi optimum reaksiyon sıcaklığı (25° C ve 75 ° C) tanımlamıştır. 25° C ve sırasıyla 75° C için  $3^3$  FFD'ye dayanan aynı modelle tekrarlanmıştır. Optimum reaksiyon koşulları altında, %97-98 arası tahmini FAEE içeriği, deneysel olarak elde edilen FAEE içeriği %97,0-%97,6'ya yakın çıkmıştır. Bu nedenle, daha basit, BBD veya FCCD, daha kapsamlı, daha zahmetli ve daha pahalı olan FFD yerine biyodizel üretim işlemlerinin istatistiksel modellemesi için başarıyla uygulanabilir olduğu gösterilmiştir [22].

Mitic ve diğeri (2019) yaptıkları çalışmada çözücü olarak su kullanarak adaçayından minerallerin ekstraksiyonunu farklı koşullarda incelemişlerdir. Deneyler tam faktöriyel tasarımıyla  $2^3$  tekrar ile gerçekleştirilmiştir. Üç ekstraksiyon faktörünün, sıvı / katı oranının (15 ve 30 mL / g, g hammadde başına solvent hacmi), ekstraksiyon sıcaklığının (40 ve 100 ° C) ve ekstraksiyon süresinin (20 ve 80 dk.) etkileşimleri gibi etkileri varyans analizi ve doğrusal regresyon modeli ile değerlendirildi. %95 güven düzeyinde, her üç faktör de Na, K, Mg, Ca, Fe, Cu, Mn, Zn, Ni, Cr ve Al verimlerinde etkili olmuştur, en önemli faktör ekstraksiyon süresidir (Ca, Cr ve Al için istisna vardır). Tüm regresyon modelleri deneysel verilere iyi bir uyum sağlamıştır ( $R^2 > \%99$ ). Su özütlerindeki minerallerin içeriği, induktif olarak eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometrisi kullanılarak belirlenmiştir. Optimum ekstraksiyon koşulları şu şekildedir: sıvı / katı oranı 15 ml/g, ekstraksiyon sıcaklığı 100 ° C ve ekstraksiyon süresi 80 dakika. Elde edilen veriler, ekstraksiyon işleminin termodinamiğini oluşturmak için kullanılmıştır. Minerallerin çıkarılması için Gibbs serbest enerji değişiminin negatif olması (Fe, Al ve Cr hariç), işlemin uygulanabilir ve kendiliğinden olduğunu göstermiştir [23].

Balbaşı (2013) yaptığı çalışmada silikalit sentezine sıcaklık, seyreltme oranı ve amin tipi gibi farklı sentez parametreleri kullanarak tam faktöriyel bir deney tasarım uygulamıştır. Varyans analizi, kristal boyutunu artıran en önemli ana etkinin sıcaklık olduğunu ve en önemli iki yönlü etkileşim değişkeninin seyreltme oranı ve amin tipinin etkileşimi olduğunu göstermiştir. Seyreltme, ortalama kristal boyutu üzerinde azaltıcı bir etkiye sahiptir ve ayrıca ürün morfolojisini de etkilemektedir. En büyük kristal boyutu, yüksek sıcaklıklarda ve etilamin varlığında düşük seyreltme oranlarında elde edilmiştir. Silikalit sentezi için matematiksel bir model, deney verilerinden elde edilmiş ve kalıntı grafiği analizi ile doğrulanmıştır. Faktöriyel tasarım tekniği, incelenen kristalizasyon süreci için sadece seçilen tasarım değişkenlerinin her birinin bireysel etkilerinin araştırılmasına izin vermekle kalmayıp, aynı zamanda bu değişkenler arasındaki etkileşimlerin yorumlanmasını sağlayan basit ve makul sonuçlar üretmektedir [24].

Gabor ve diğeri (2017) yaptıkları çalışmada adsorpsiyon işleminin, sulu adsorpsiyonlardan lantan uzaklaştırılması için kontrolünü, yüksek adsorban özellikli, ucuz ve çevre dostu bilinen bir biyomateryal olan selüloz kullanarak kontrol etmişlerdir. Selüloz, sodyum  $\beta$ -gliserofosfat ile işlevselleştirilerek kimyasal olarak değiştirilmiştir. Faktöriyel tasarımdan sonra elde edilen deney sonuçları, lantan denge konsantrasyonunun 250 mg/L

olduğu ve elde edilen deneysel adsorpsiyon kapasitesinin 31,58 mg/g olduğu pH 6'da, temas süresi 60 dakika ve sıcaklık 298 K olarak optimum adsorpsiyon parametrelerini göstermiştir. Tepki yüzey tasarımı ile adsorpsiyon işleminin optimizasyonunun daha da iyileştirilmesi, pH 6'da ve başlangıçtaki 256 mg/L konsantrasyonunda, adsorpsiyon kapasitesinin 30,87 ve 36,73 mg/g arasında maksimum değerlere sahip olduğunu göstermiştir [25].



## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

### 5.1. Deneysel Tasarım Metotları

Stratejik olarak planlanarak yürütülen bir deney, bir veya daha fazla faktör nedeniyle bir cevap değişkeni üzerindeki etkiler hakkında çok daha fazla bilgi sağlayabilir. Klasik birçok deney, belirli faktörleri sabit tutmayı ve başka bir değişkenin seviyesini değiştirmek suretiyle gerçekleştirilir. Bununla birlikte, bilginin işlenmesi için bu tek faktör-zaman (OFAT= One Factor at a Time) yaklaşımı, aynı zamanda, değişen faktör seviyeleri ile eşzamanlı olarak karşılaştırıldığında oldukça verimsiz kalmaktadır.

Deneysel Tasarıma ilişkin mevcut istatistiksel yaklaşımların çoğu, 20. yüzyılın başlarında İngiliz istatistikçi, biyolog ve genetik bilimci olan ve hemen hemen tek başına modern istatistiğin temellerinin kurucusu olduğu iddia edilen, R. A. Fisher'in çalışmalarında yer almıştır. Fisher, bir deneyden önce deneyin tasarımını ve uygulanmasını ciddi olarak düşünmek için zaman ayırmanın, aslında sonuçların analizde sıklıkla karşılaşılan sorunlardan kaçınılmasına nasıl yardımcı olduğunu göstermiştir. Tasarlanmış bir deney oluşturmanın temel kavramları arasında engelleme (blocking), rastgeleleştirme (randomization) ve çoğaltma (replication) bulunur [26].

Deneyin hassasiyetini arttırmak için aralarında sistematik farklar bulunan deney birimleri, kendi içinde homojen kendi aralarında heterojen olacak biçimde blok adı verilen gruplara bölünür. Bu işleme bloklama denir. Bloklama yapılarak deneysel hatanın azaltılması hedeflenir.

Deney tasarımında deney birimlerinin mümkün olduğunca homojen olması istenir, bloklama kavramı da bu amaca yönelik olarak kullanılır. Bununla beraber deney birimleri arasında yaradılıştan gelen veya çevresel koşullardan kaynaklanan farklılıklar her zaman mevcuttur. Bu farklılıklar rasgeledir. Denemeler, deney birimlerine rasgele olarak atanmaz/uygulanmaz ise deneme etkileri arasındaki farklar ile hatanın varyansının tahmin değerleri yanlı olur. Deney birimleri arasındaki farklılıkların, ölçüm değerleri üzerindeki sistematik etkisini kontrol altına almak için rasgeleleştirme yapılır. Rasgeleleştirme, deney birimlerinin denemelere atanma olasılıklarının eşit olmasını sağlar.

Denemelerin atandıkları/uygulandıkları deney birimi sayısına tekrar denir. Açıktır ki, denemelere maruz kalan deney birimi sayıları her bir deneme için aynı olmak zorunda değildir. Denemelerin atandıkları/uygulandıkları deney birimi sayısı eşit ise bu tasarımlara dengeli (balanced) tasarımlar, eşit değil ise de (en az bir deneme için) dengeli olmayan (unbalanced) tasarımlar denir. Tekrar sayısı birden büyük olmalıdır, aksi takdirde deneysel hata hesaplanamaz. Tekrar sayısının artması deneysel hatanın küçülmesine, dolayısıyla deneme etkilerine ait tahminlerin ve testlerin hassasiyetinin artmasına yol açar. Bununla birlikte, fazla sayıda tekrar yapmak teorik olarak istenen bir durum olmakla beraber pratikte deneyin maliyetinin deneye ayrılan bütçeyi aşması, istenilen sayıda ve özellikle deney birimine ulaşılamaması vb. sorunlara yol açabilir [26].

Bir deneysel tasarımın uygulanma adımları şu şekildedir:

- 1- Problemin tanımlanması
- 2- Faktörlerin ve faktör seviyelerinin belirlenmesi
- 3- Çıktı değişkeninin belirlenmesi
- 4- Deney tasarımının seçilmesi
- 5- Deneyin yapılması
- 6- Deney verilerinin istatistiki analizi
- 7- Model uygunluk kontrolü (model uygun değil ise 4. adımdan tekrar başlanır)
- 8- Sonuçların yorumlanması

Deneysel uygulamalardan sonra elde edilen sonuçların yorumlanabilmesi amacıyla istatistiksel yöntemler kullanılabilir. Verilerin analiz edilmesi için bazı paket programlar mevcuttur. Verilerin yorumlanması sırasında kullanılan önemli tekniklerden birisi varyans analizidir. Varyans analizi faktörlerin deney çıktısı üzerinde etkili olup olmadığı hakkında bilgi verir. Varyans analizinin sonuçları ve uygulanan modelin doğruluğu birbirine bağlıdır. Bu sebeple modelin uygunluğunun kontrol edilmesi gerekir.

Veri analizi gerçekleştirildikten sonra deneyi yapan kişi istatistiksel sonuçları yorumlamalıdır. Bu aşamada grafik yöntemler yararlı bir araçtır. Deney sonuçlarının geçerliliğini teyit etmek üzere uygunluk testleri de gerçekleştirilir.

Bu aşamalardan geçen deneysel yöntem ve sonuçlar sürece dışarıdan ve anlamlı bir şekilde bakılması açısından çok önemlidir.

Amacı gerçekleştirmek için kullanılan yöntem tam faktöriyel tasarım yöntemidir. Sebebi, yöntemin kontrol edilebilen parametrelerin bütün kombinasyonlarını kullanıyor olmasıdır. Farklı kombinasyonlar için ana etkiler yanında ikili ve varsa üçlü etkileşimlerin de belirlenerek proses cevabı için bir model önerilmiştir. Proses cevabını kabul edilebilir bir ölçüde değiştirme kapasitesi olmayan terimler modelden elimine edildiğinde ortaya çıkan revize model, proses ürününün maksimizasyonu ve optimizasyonu için kullanılmıştır. Tam faktöriyel tasarım deneylerinden elde edilen grafikler yorumlandığında ikili etkileşimin varlığı tespit edilmiştir. Yüzey cevap yöntemi de ikili etkileşimleri irdelenmek üzere kullanılmıştır.

## 5.2. Deneysel Çalışmalar

Deneylerin uygulanması şu şekilde olmuştur:

1. Başlangıçta reaktör ünitesinden deneyleri gerçekleştirmek üzere bir miktar stok kral suyu alınmıştır, daha sonra bu stoktan numune alınarak başlangıçtaki altın derişimini bulunmak üzere atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) ile analiz edilmiştir (Ek-1), analizler için kullanılan cihaz Varian AA240FS'dir. Deneyler sırasında numune alma aşamasında otomatik pipet ve tek kullanımlık uçlar kullanılmıştır. Stok çözelti resim 5.1'de, AAS resim 5.2'de ve otomatik pipetler resim 5.3'de gösterilmiştir,



Resim 5.1. Kral Suyu Stok çözeltisi

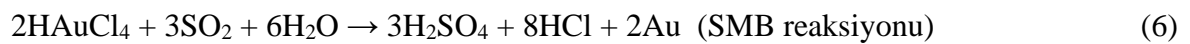
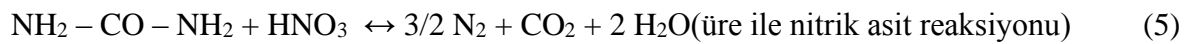
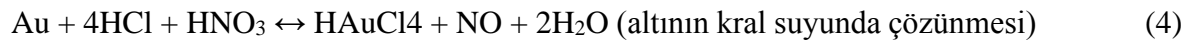


Resim 5.2. Varian AA240FS Atomik absorpsiyon spektroskopisi



Resim 5.3. Brand marka otomatik pipet seti

2. Çöktürme için kullanılan kimyasalların başlangıç miktarlarının belirlenmesi için stokiometrik oranlar aşağıdaki reaksiyonlara göre hesaplanmıştır;



3. Sıcaklık parametresi için daha önceki tecrübelerden yola çıkılarak 25<sup>0</sup>C ve 45<sup>0</sup>C sıcaklıklar seçilmiştir. Sıcaklık ayarlamaları alttan ısıtılmalı ısıtıcı ile, ölçümleri ise civalı termometre ile yapılmıştır. Sıcaklık ölçümü ile ilgili resim aşağıda gösterilmiştir,



Resim 5.4. 25<sup>0</sup>C derecedeki stok çözelti

4. Hesaplanan stokiyometrik kimyasal miktarları ve sıcaklık değerleri için Design-Expert programı yardımıyla deneysel planlama yapılmıştır, programın deneme versiyonu kullanılmıştır,
5. Deneysel planlamalar esnasında kodlanmış değişkenler oluşturulmuştur, kodlanmış değişkenler oluşturulurken Design Expert programından alfa değeri 1,18921 seçilmiştir,
6. +1 kodlanmış değişkeninin hesaplanmasında kullanılan formül şu şekildedir:
 
$$(\text{stokiyometrik oran}) + (\text{stokiyometrik oran} * 0,7) = +1 \quad (7)$$
7. -1 kodlanmış değişkeninin hesaplanmasında kullanılan formül şu şekildedir:
 
$$(\text{stokiyometrik oran}) - (\text{stokiyometrik oran} * 0,7) = -1 \quad (8)$$
8. Faktöriyel tasarım ile 8 adet deney planlanıp çift tekrar yapılarak uygulanmıştır, daha sonra yüzey cevap metodu için 14 adet deney planlanıp uygulanmıştır, deneysel sonuçlar Ek-2’de verilmiştir,
9. Sonraki aşamada deneyler kral suyuna önce üre ve daha sonra sodyum metabisülfüt (SMB) eklenmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Üre ve SMB merck markasının analiz saflığındaki kimyasalları olup üre için saflık derecesi %99 ve SMB için saflık derecesi %98 olarak dikkate alınmıştır. Bu kimyasallar sürekli etüvde 55<sup>0</sup>C sıcaklıkta tutularak içlerinde nem olmaması sağlanmıştır. Üre ve SMB ekleme sonrası resim aşağıda gösterilmiştir,



Resim 5.5. Üre ve SMB eklenmiş stok çözeltiler

10. Çöktürme sonrası otomatik pipet ile 1ml numune alınarak %10 HCl çözeltisi ile 100ml'ye tamamlanmış ve kral suyunda kalan altın miktarını belirlemek üzere AAS cihazı ile analiz yapılmıştır,
11. Çöktürme sonucu dibe çöken altın partikülleri Resim 5.6'da görülmektedir,



Resim 5.6. Dibe çöken altın partikülleri

12. Alınan sonuçlar deneysel tasarım programına girilmiş model ve indirgenmiş model önerilerinde bulunulmuştur, önerilen modellerin varyans analizleri yapılmış ve irdelenmiştir.





## 6. DENEYSEL SONUÇLAR

### 6.1. Faktöriyel Tasarım Deneyleri

Kodlanmış değişkenler cinsinden planlanan tam faktöriyel tasarım matrisi aşağıdaki çizelgede verilmiştir. 3 parametrelilik, 2 seviyeli faktöriyel tasarım matrisinde planlanan deney sayısı  $2^3$  adet yani 8 olmaktadır. Tüm deneyler 2 tekrar yapılmış olup toplamda 16 deney yapılmıştır. Deneysel sonuçlar Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Tam faktöriyel tasarım verim çizelgesi

Deney No	Üre	SMB	Sıcaklık	Verim
10	-1	-1	-1	8,39
11	-1	-1	-1	7,03
5	1	-1	-1	19,07
12	1	-1	-1	18,33
2	-1	1	-1	6,22
7	-1	1	-1	7,34
9	1	1	-1	99,78
14	1	1	-1	98,27
3	-1	-1	1	10,34
13	-1	-1	1	5,82
4	1	-1	1	17,55
8	1	-1	1	17,89
6	-1	1	1	3,75
15	-1	1	1	4,40
1	1	1	1	100,00
16	1	1	1	100,00

Tam faktöriyel tasarım etki listesi aşağıdaki şekilde verilmiştir. Şekil 6.1’de görünen girdiler irdelendiğinde modelde yer alan ve almayan veriler görünmektedir.

Term	Stdized Eff...	Sum of Squa...	% Contribution
Intercept			
A-Urea	52.202	10900.2	45.1266
B-SMBS	39.4156	6214.37	25.7274
C-Temp	-0.584365	1.36593	0.00565493
AB	41.8847	7017.3	29.0515
AC	0.584365	1.36593	0.00565493
BC	-0.282508	0.319242	0.00132166
ABC	1.25774	6.32764	0.0261963
Lack of Fit		0	0
Pure Error		13.4608	0.0557274
Lenth's ME	1.56735		0
Lent... SME	2.35207		0

m	The term will be included in the model.
e	The term will not be included in the model.
!	Indicates the term is aliased with another term, or was not estimated in the Fit Summary calculations. Including the term in the model is not recommended.
🔒	A user-forced term. Automatic model selection will always produce a model that includes this term.
🔒	Indicates that the term is required to be in the model by the program.

Şekil 6.1. Tam faktöriyel tasarım için etki listesi

Seçilen metot için ANOVA analizi yapılmıştır, analiz sonucu Çizelge 6.2'de verilmiştir:

Çizelge 6.2. ANOVA analizi sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F-değeri	p-değeri	
Model	24141,25	7	344875	2049,66	< 0,0001	Anlamlı
A-Üre	10900,20	1	10900,20	6478,20	< 0,0001	
B-SMB	6214,37	1	6214,37	3693,32	< 0,0001	
C-Sıcaklık	1,37	1	1,37	0,81	0,39	
AB	7017,30	1	7017,30	4170,52	< 0,0001	
AC	1,37	1	1,37	0,81	0,39	
BC	0,32	1	0,32	0,19	0,67	
ABC	6,33	1	6,33	3,76	0,09	
Saf Hata	13,46	8	1,68			
Toplam	24154,71	15				

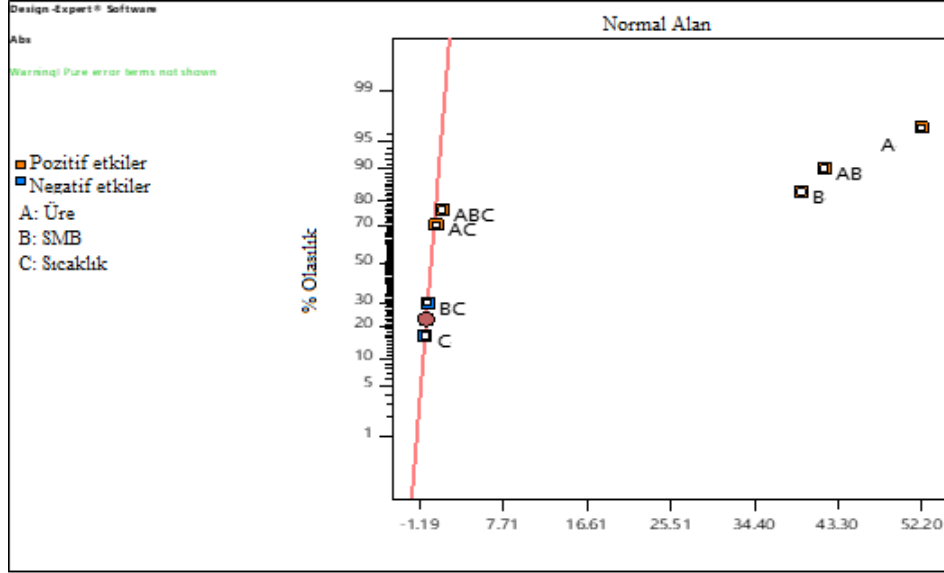
Analiz sonuçlarına göre 2049,66 olan F değeri modelin anlamlı olduğunu göstermektedir.

0.0500'den küçük P değerleri model terimlerinin anlamlı olduğunu gösterir. Bu durumda A,

B, AB önemli model terimleridir. 0,1000'den büyük değerler model terimlerinin anlamlı

olmadığını gösterir. Birçok önemsiz model terimi varsa (hiyerarşiyi desteklemek için gerekenleri saymaz), model indirgemek modelin gelişmesini sağlar.

ANOVA analizinde etkilerin standardize edildiği grafikte aşağıda verilmiştir:



Şekil 6.2. Etkilerin standartlaştırılması

Şekil 6.2’de de görüldüğü gibi çizgi üzerindeki etkiler model üzerinde etkili olmamaktadır. Kodlanmış değişkenler cinsinden model sabitleri Çizelge 6.3’de verilmiştir:

Çizelge 6.3. Model sabitleri

Faktör	Katsayı Tahmini	df	Standart Hata	95% CI Yakınsama Aralığı	95% CI Uzaksama Aralığı	VIF
Kesişme	32,76	1	0,32	32,01	33,51	
A-Üre	26,10	1	0,32	25,35	26,85	1,00
B-SMB	19,71	1	0,32	18,96	20,46	1,00
C-Sıcaklık	-0,29	1	0,32	-104	0,46	1,00
AB	20,94	1	0,32	20,19	21,69	1,00
AC	0,29	1	0,32	-0,46	1,04	1,00
BC	-0,14	1	0,32	-0,89	0,61	1,00
ABC	0,63	1	0,32	-0,12	1,38	1,00

Katsayı tahmini, kalan tüm faktörler sabit tutulduğunda, faktör değerindeki birim değişiklik başına yanıtta beklenen değişimi temsil eder. Ortogonal tasarımdaki kesişme, tüm koşulların genel ortalama tepkisidir. Katsayılar, faktör ayarlarına bağlı olarak bu ortalamanın etrafındaki ayarlamalardır. Faktörler dikey olduğunda VIF'ler 1'dir; 1'den büyük VIF'ler çoklu-eşitliğe işaret eder, VIF ne kadar yüksek olursa faktörlerin korelasyonu o kadar şiddetli olur. Kaba bir kural olarak, 10'dan küçük VIF'ler tolere edilebilir.

Desing expert programından alınan kodlanmış ve gerçek model denkleminin sabitleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 6.4. Kodlanmış değişkenler cinsinden model denkleminin sabitleri

Verim	=
+32,76	
+26,10	A
+19,71	B
-0,29	C
+20,94	AB
+0,29	AC
-0,14	BC
+0,63	ABC

Model denkleminin:

$$\text{Verim} = 32,76 + 26,1 \cdot A + 19,71 \cdot B - 0,29C + 20,94 \cdot A \cdot B + 0,29 \cdot A \cdot C - 0,14 \cdot B \cdot C + 0,63 \cdot A \cdot B \cdot C$$

Kodlanmış faktörler açısından denklemin, her bir faktörün verilen seviyeleri için cevap hakkında öngörülerde bulunmak için kullanılabilir. Varsayılan olarak, faktörlerin yüksek seviyeleri +1 olarak ve düşük seviyeler -1 olarak kodlanmıştır. Kodlanmış denklemin, faktör katsayılarını karşılaştırarak faktörlerin göreceli etkisini belirlemek için kullanışlıdır. “-” katsayılı ve sıfıra yakın terimlerin model üzerinde etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 6.5. Gerçek değişkenler için model denklemi sabitleri

Verim	=
+32,76	
+26,10	Üre
+19,71	SMB
-0,29	Sıcaklık
+20,94	Üre * SMB
+0,29	Üre * Sıcaklık
-0,14	SMB * Sıcaklık
+0,63	Üre * SMB * Sıcaklık

Model Denklemi:

$$\text{Verim} = 32,76 + 26,1 * \text{Üre} + 19,71 * \text{SMB} - 0,29 * \text{Sıcaklık} +$$

$$20,94 * \text{Üre} * \text{SMB} + 0,29 * \text{Üre} * \text{Sıcaklık} - 0,14 * \text{SMB} * \text{Sıcaklık} + 0,63 * \text{Üre} * \text{SMB} * \text{Sıcaklık}$$

Buraya kadar orijinal 3 parametrelili hiyerarşik modelde ANOVA çizelgesine bakarak p değeri 0,05 den büyük olan parametreler ve etkileşimlerin modelde hiçbir katkısı olmadığı sonucu çıkmaktadır. Yani ana parametre olan sıcaklık ve sıcaklığın diğer değişkenlerle etkileşimleri de modelden çıkarıldığında, indirgenmiş modelde sadece üre ve sodyum metabisülfid'in etkileşim içinde olduğu anlaşılıyor. Buna göre, sıcaklık parametresi çıkarılarak indirgenmiş modelde yeniden ANOVA analizi yapılması gerekir. Bu analiz aşağıdaki sonuçları vermektedir.

Term	Stdized Eff...	Sum of Squa...	% Contribution	Process Order:	Modified	Auto Select...
Intercept						
<b>m</b> A-Urea	52.202	10900.2	45.1266			
<b>m</b> B-SMBS	39.4156	6214.37	25.7274			
<b>e</b> C-Temp	-0.584365	1.36593	0.00565493			
<b>m</b> AB	41.8847	7017.3	29.0515			
<b>e</b> AC	0.584365	1.36593	0.00565493			
<b>e</b> BC	-0.282508	0.319242	0.00132166			
<b>e</b> ABC	1.25774	6.32764	0.0261963			
<b>e</b> Lack of Fit		0	0			
<b>e</b> Pure Error		13.4608	0.0557274			
Lenth's ME	1.56735		0			
Lent... SME	2.35207		0			

<b>m</b>	The term will be included in the model.
<b>e</b>	The term will not be included in the model.
<b>w</b>	Indicates the term is aliased with another term, or was not estimated in the Fit Summary calculations. Including the term in the model is not recommended.
<b>u</b>	A user-forced term. Automatic model selection will always produce a model that includes this term.
<b>r</b>	Indicates that the term is required to be in the model by the program.

Şekil 6.3. İndirgenmiş model için etkiler listesi

Şekil 6.3'te görüldüğü üzere sıcaklık parametresi indirgenmiş modelde yer almamaktadır.

Çizelge 6.6. İndirgenmiş model için ANOVA analizi çizelgesi

Kaynak	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F-değeri	p-değeri	
Model	24131,87	3	8043,96	4226,34	< 0,0001	Anlamlı
A-Üre	10900,20	1	10900,20	5727,02	< 0,0001	
B-SMB	6214,37	1	6214,37	3265,06	< 0,0001	
AB	7017,30	1	7017,30	3686,93	< 0,0001	
Kalan	22,84	12	1,90			
Uyum Eksikliği	9,38	4	2,34	1,39	0,32	Anlamsız
Saf Hata	13,46	8	1,68			
Toplam	24154,71	15				

4226,34 olan F değeri modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca faktörlerin p değerlerinin 0,05'den küçük olmaları da model için anlamlı olduklarını göstermektedir. Uygunluk eksikliği F değeri 1,39 olarak tespit edilmiştir. Parazitenme nedeniyle bu kadar

büyük bir Fit F değeri eksikliğinin ortaya çıkma olasılığı %31,88'dir. Bu olasılık modelin uyumsuzluğu üzerinde etkisiz kalmaktadır.

Kodlanmış değişkenlerin denklem sabitleri aşağıdaki Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Kodlanmış değişkenlerin denklem sabitleri

Faktör	Katsayı Tahmini	Df	Standart Hata	%95 CI Yakınsama aralığı	%95 CI Uzaksama aralığı	VIF
Kesişme	32,76	1	0,34	32,01	33,51	
A-Üre	26,10	1	034	25,35	26,85	1,00
B-SMB	19,71	1	0,34	18,96	20,46	1,00
AB	20,94	1	0,34	20,19	21,69	1,00

Katsayı tahmini, kalan tüm faktörler sabit tutulduğunda, faktör değerindeki birim değişiklik başına yanıtta beklenen değişimi temsil eder. Ortogonal tasarımdaki kesişme, tüm koşulların genel ortalama tepkisidir. Katsayılar, faktör ayarlarına bağlı olarak bu ortalamanın etrafındaki ayarlamalardır. Faktörler dikey olduğunda VIF'ler 1'dir; 1'den büyük VIF'ler çoklu-eşitliğe işaret eder, VIF ne kadar yüksek olursa faktörlerin korelasyonu o kadar şiddetli olur. Kaba bir kural olarak, 10'dan küçük VIF'ler tolere edilebilmektedir.

Kodlanmış değişkenler cinsinden final denklemi katsayıları Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Kodlanmış değişkenler cinsinden final denklemi katsayıları

Verim	=
+32,76	
+26,10	A
+19,71	B
+20,94	AB

Model Denklemi:

$$\text{Verim}=32,76+26,10*A+19,71*B+20,94*A*B$$

Çizelgede görüldüğü üzere faktörlerin değerleri 1'den büyük ve uzaktır.

Çizelge 6.9. Gerçek değişkenler cinsinden final denklemi katsayıları

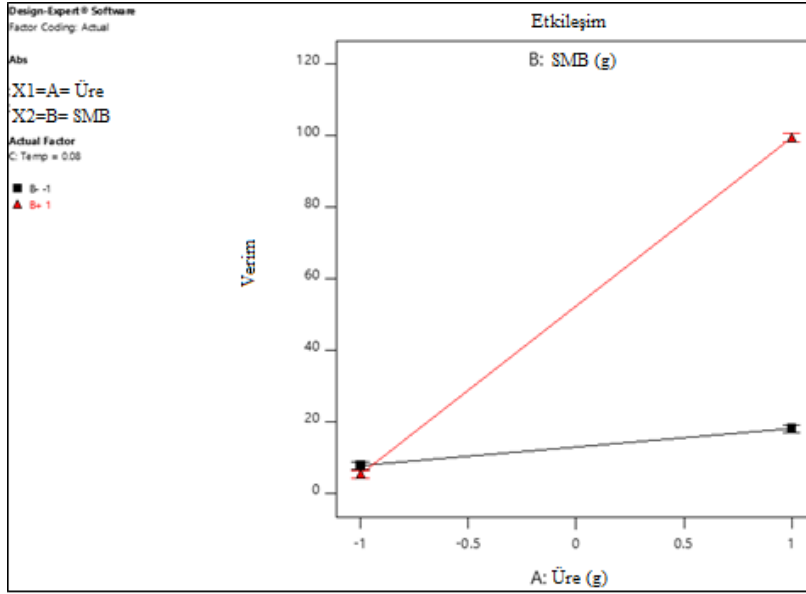
Verim	=
+32,76	
+26,10	Üre
+19,71	SMB
+20,94	Üre * SMB

Model Denklemi:

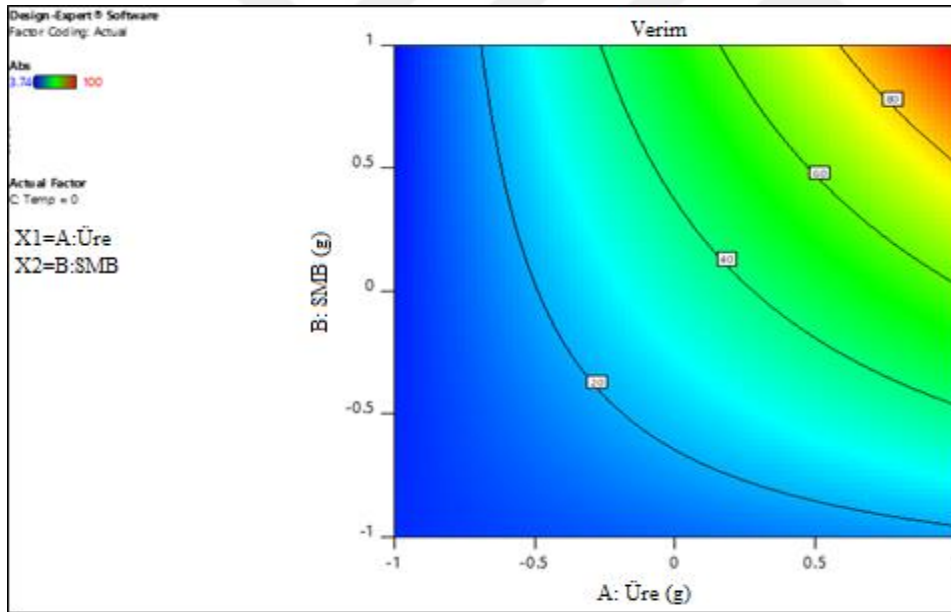
$$\text{Verim}=32,76+26,10*\text{Üre}+19,71*\text{SMB}+20,94*\text{Üre}*\text{SMB}$$

Etkili faktörler açısından denklem, verilen faktörlerin her biri için verilen yanıtlara ilişkin tahminler yapmak için kullanılabilir. Burada, seviyeler her faktör için orijinal birimlerde belirtilmelidir. Bu denklem, her faktörün göreceli etkisini belirlemek için kullanılmamalıdır, çünkü katsayılar, her faktörün birimlerini barındıracak şekilde ölçeklendirilir ve kesişme, tasarım alanının merkezinde değildir.

İndirgenmiş faktöriyel tasarım metoduyla oluşturulan model için optimum çalışma noktalarını da gösteren grafikler Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te verilmiştir.

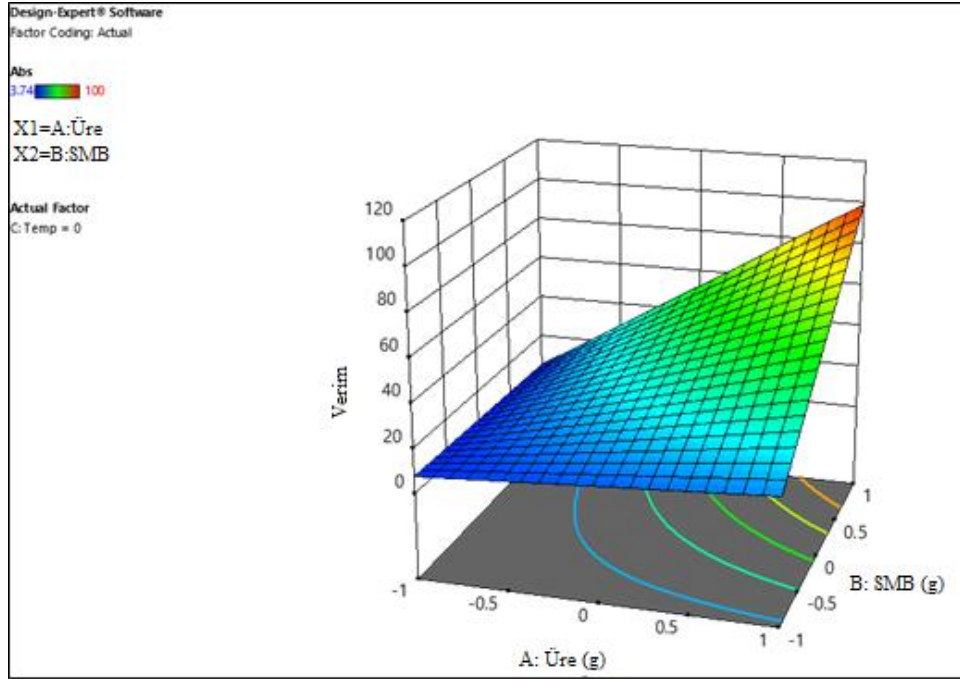


Şekil 6.4. Üre ve SMB'nin kodlanmış değişkenler cinsinden verime etkisi



Şekil 6.5. Üre ve SMB'nin kodlanmış değişkenler cinsinden verime etkisi (renkli gösterim)

Şekil 6.5'te görüldüğü üzere kırmızı bölge verimin maksimum olduğu aralığı göstermektedir.



Şekil 6.6. Üre ve SMB'nin kodlanmış değişkenler cinsinden verime etkisi (3 boyutlu gösterim)

Şekil 6.5 ve şekil 6.6'da görülebileceği üzere grafiklerde kırmızı ile gösterilen bölgelerde çalışmak verimi maksimumda tutmaktadır.

## 6.2. Yüzey Cevap Deneyleri

İki seviyeli faktöriyel tasarım deneylerinden alınan sonuçlarda tepkilerin gösterdiği eğrisel davranışı irdelemek üzere yüzey cevap deneyleri tasarlanıp uygulanmıştır. Yüzey cevap deneyleri için Design Expert programına girilen veriler çizelgesi aşağıda gösterilmiştir:

Çizelge 6.10. Yüzey cevap deneyleri veri çizelgesi

Deney No	Üre	SMB	Verim
6	0	0	71,64
2	0	0	67,74
9	0	0	68,36
7	0	0	80,87

Çizelge 6.10. (Devam) Yüzey cevap deneyleri veri çizelgesi

3	0	0	70,34
1	0	0	66,44
14	0	1,18921	97,62
5	0	-1,18921	1,98
10	1,18921	0	83,53
4	-1,18921	0	3,09
12	1	1	98,14
13	-1	1	2,66
8	1	-1	13,62
11	-1	-1	1,61

Yüzey cevap metodu için programdan alınan model denklemini görüntüsü şekil 6.7’de verilmiştir.

The screenshot shows a software interface for model building. On the left, a list of terms is displayed, with a red box highlighting the following terms: Intercept, A-Urea, B-SMBS, AB, A<sup>2</sup>, B<sup>2</sup>, A<sup>2</sup>B, and AB<sup>2</sup>. Below these are A<sup>3</sup>, B<sup>3</sup>, and A<sup>2</sup>B<sup>2</sup>. On the right, a legend explains the icons: a green 'm' indicates the term will be included; a yellow triangle with an exclamation mark indicates the term is aliased or not estimated; a green padlock indicates a user-forced term; and a grey padlock indicates a required term.

Şekil 6.7. Yüzey cevap yöntemi model denklemini görüntüsü

Seçilen yöntem için ANOVA analizi yapılmıştır, sonuç çizelge 6.11’de verilmiştir.

Çizelge 6.11. Yüzey cevap yöntemi için ANOVA analizi

Kaynak	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F-değeri	p-değeri	
Model	18614,98	7	2659,28	76,68	< 0,0001	Anlamlı
A-Üre	3234,77	1	3234,77	93,27	< 0,0001	
B-SMB	4573,05	1	4573,05	131,86	< 0,0001	
AB	1741,71	1	1741,71	50,22	0,0004	
A <sup>2</sup>	2288,68	1	2288,68	65,99	0,0002	
B <sup>2</sup>	1446,40	1	1446,40	41,71	0,0007	
A <sup>2</sup> B	586,63	1	586,63	16,91	0,0063	
AB <sup>2</sup>	79,92	1	79,92	2,30	0,1798	
Kalan	208,09	6	34,68			
Uyum Eksikliği	71,55	1	71,55	262	0,1664	Anlamsız
Saf Hata	136,54	5	27,31			
Toplam	18823,06	13				

Modelin 76,68 olan F değeri modelin önemli ve anlamlı olduğunu göstermektedir. 0,0500'den küçük P değerleri model terimlerinin anlamlı olduğunu gösterir. Bu durumda A, B, AB, A<sup>2</sup>, B<sup>2</sup>, A<sup>2</sup>B önemli model terimleridir. 0,1000'den büyük değerler model terimlerinin anlamlı olmadığını gösterir. Bu durumda model indirgeme işlemi yapılabilir.

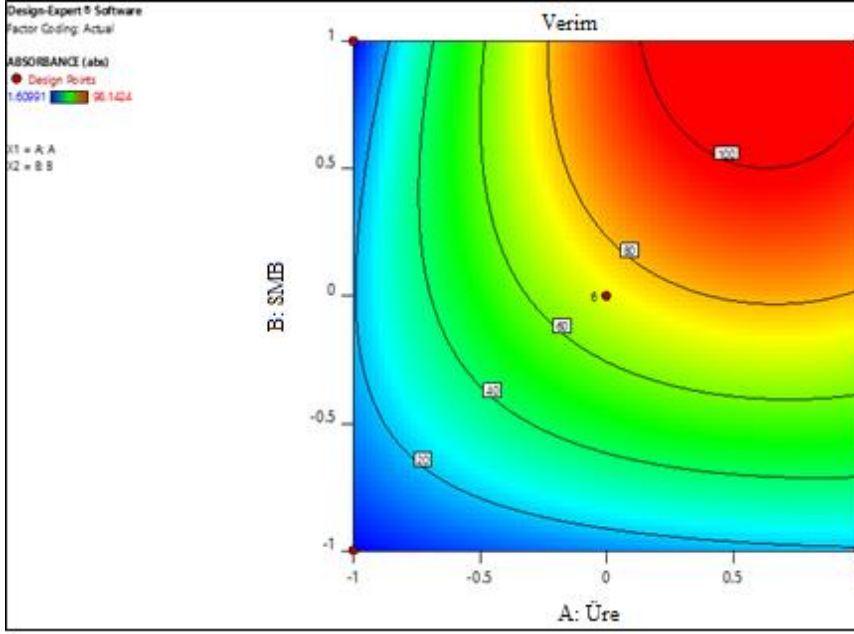
Modelden AB<sup>2</sup> terimi çıkarılmış ve indirgenmiş model için ANOVA analizi tekrarlanmıştır. İndirgenmiş kübik model için ANOVA analizi sonuçları Çizelge 6.12'de verilmiştir:

Çizelge 6.12. İndirgenmiş kübik model için ANOVA analizi sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F-değeri	p-değeri	
Model	1853506	6	3089,18	75,08	< 0,0001	Anlamlı
A-Üre	6043,50	1	6043,50	146,89	< 0,0001	
B-SMB	4573,05	1	4573,05	111,15	< 0,0001	
AB	1741,71	1	1741,71	42,33	0,0003	
A <sup>2</sup>	2288,68	1	2288,68	55,63	0,0001	
B <sup>2</sup>	1446,40	1	1446,40	35,16	0,0006	
A <sup>2</sup> B	586,63	1	586,63	14,26	0,0069	
Kalan	288,00	7	41,14			
Uyum Eksikliği	151,47	2	75,73	2,77	0,1548	Anlamsız
Saf Hata	136,54	5	27,31			
Toplam	18823,06	13				

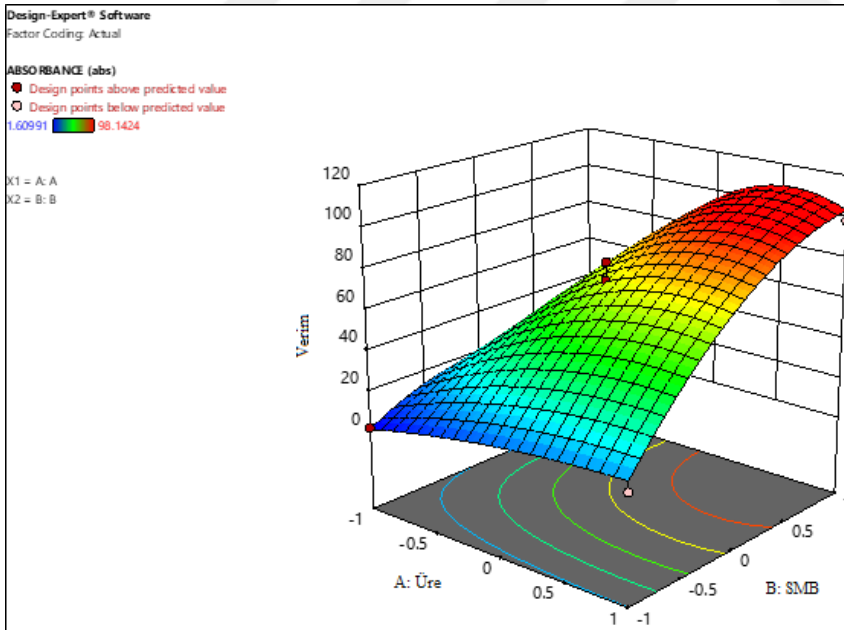
İndirgenmiş model için 75,08 olan F değeri modelin önemli ve anlamlı olduğunu göstermektedir. ANOVA analiz sonuçlarına göre model değişkenlerinin P değerleri 0,05 in altında kalmaktadır, bu da model üzerinde herhangi bir indirgeme yapılmasının gereksiz olduğu sonucunu doğurur. Bu durumda A, B, AB, A<sup>2</sup>, B<sup>2</sup>, A<sup>2</sup>B önemli model terimleridir. Uygunluk eksikliği F değeri 2,77 olarak tespit edilmiştir. Parazitlenme nedeniyle bu kadar büyük bir Fit F değeri eksikliğin ortaya çıkma olasılığı %15,48'dir. Bu olasılık modelin uyumsuzluğu üzerinde etkisiz kalmaktadır.

İndirgenmiş model için optimum noktaların da tespit edilebildiği model grafikleri şekil 6.8 ve şekil 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.8. İndirgenmiş kübik modele göre Üre(A) ve SMB(B)' nin verime etkisi

Şekil 6.8'de görünen kırmızı bölgede çalışıldığında maksimum verime ulaşılmaktadır.



Şekil 6.9. İndirgenmiş kübik modele göre Üre(A) ve SMB(B)' nin verime etkisi (3 boyutlu gösterim)

Yüzey cevap deneylerinden elde edilen grafiklerdeki eğri yüzeyler değişkenlerin birbiri ile de ilişkili olduğunu kanıtlamıştır.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tezi kapsamında bir atık bertaraf tesisinde aktif karbondan altın kazanımı çalışmalarının altın çöktürme safhası için bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Deneysel çalışmalar ışığında alınan sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- 1- Başlangıçta altın çöktürme prosesinde etkili olduğu düşünülen üre, SMB ve sıcaklık parametrelerinden sıcaklık parametresinin çöktürme verimine bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- 2- Daha sonra indirgenmiş metotlarla yapılan deneylerde altın geri kazanımında verimi maksimize edecek optimum çalışma bölgeleri belirlenmiştir.
- 3- Bu çalışma bölgelerinde yapılan çöktürme denemelerinde %100 ve civarında çöktürme verimleri yakalanmıştır.
- 4- Örnek bir deneysel verim hesabı Ek-3'te verilmiştir.
- 5- Optimum çalışma bölgelerinin dışında yapılan çöktürme işlemlerinde verimin düşük kalmasının çeşitli sebeplerinin olduğu bilinmektedir.
- 6- Ürenin az kullanılması ortamdaki nitrik asitin tamamını egale etmediği için çöktürme sonunda bir miktar altın çözeltiye tekrar geçerek verimi olumsuz yönde etkilemektedir.
- 7- SMB'nin gerekenden az kullanıldığı deneylerde verimin düşük kalmasının sebebi ise SMB'nin çözeltideki tüm altın ile reaksiyona giremeyip bir miktarının çözeltide kalmasıdır.
- 8- Deneylerin planlanması sırasında deneysel tasarım metotlarından faydalanılmış olup bu metotların çalışmalara zaman ve materyal açısından olumlu bir etkisi olduğu net bir şekilde görülmüştür. Bu durum ise deneyleri pahalı ve zaman alıcı olduğu endüstriyel çalışmalarda çok büyük bir öneme sahiptir.
- 9- Deneysel çalışmalardan elde edilen bilgiler ışığında atık bertaraf tesisi çalışmalarını optimize etmek amacıyla bir excell çalışma sayfası hazırlanmış ve kullanılacak kimyasal miktarları kolayca hesaplanarak altın çöktürme işlemleri yapılmıştır.
- 10- Yapılan denemelerde altın çöktürme veriminin %100 civarında olduğu görülmüştür.
- 11- Daha önceden deneme yanılma yöntemiyle yapılan altın çöktürme işlemleri ile kıyaslandığında yaklaşık 10 kat daha az SMB kullanımı ve 3 kat daha az üre kullanımı oranlarında çalışılmaya başlanmıştır.
- 12- Sıcaklığın da çöktürme işlemine etkisi olmadığı belirlendiğinden ısıtma işlemi için kullanılan zaman ve enerji kaynaklarından tasarruf edilmiştir.

- 13- Faktöriyel tasarım deneylerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda üre ve SMB'nin kodlanmış değişkenler cinsinden yaklaşık olarak 0,75 kat ve üzerindeki miktarları kullanarak maksimum çöktürme verimine ulaşılabilir. Bu oran aynı zamanda stokiyometrik oranların 1,275 katı olarak hesaplanmıştır. Altın çöktürme reaksiyonlarından hesaplanan stokiyometrik oranlarının 1,275 kat ve üzerinde kullanılan üre ve SMB maksimum yani %100 ve civarında çöktürme verimi sağlamaktadır. Daha aşağıda kullanılacak kimyasal miktarları verimi doğrusal olmayan bir biçimde aşağıya çekmektedir.
- 14- Şekil 9'da verilen kontur diyagramları ve deneysel sonuçlara göre üre ve SMB'nin hesaplanan stokiyometrik oranlarda kullanıldığında verim %70 ve civarlarında olmaktadır.
- 15- Deneylerde kullanılan 1615ppm altın içeren kral suyundan maksimum verimle altın çöktürmek için kullanılması gereken kimyasallar 100ml kral suyu için 0,153g SMB ve 28,356g üre olarak hesaplanmıştır. Stok kral suyu çözeltisinin giriş analizi Ek-1'de verilmiştir.
- 16- Deneysel çalışmalar kapsamında bütün deney numuneleri toplanarak altın çöktürme işlemi yapılmış ve elde edilen altın yapılan analizlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan toplam 30 adet deneyde 100'er ml'lik kral suyu çözeltileri kullanılmıştır. Giriş analizi 1615 ppm olan çözeltilerden %100 geri kazanımla 4,845 g altın geri kazanılmıştır. Sonuçlar analizlerin doğruluğunu da kanıtlamıştır. Geri kazanılan altının dökümü yapılmıştır ve resim 7.1'de gösterilmiştir.



Resim 7.1. Deneylerden geri kazanılıp dökümü yapılmış altın külçesi

## KAYNAKLAR

1. İnternet: Ünal, İ., Tuncel, S., Yoleri, B., Arslan, M. (2016) *Türkiye ve Dünyada Altın*, URL: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/Altin.pdf> , Son Erişim Tarihi: 02.08.2019
2. Adak, L. (1987). *Altın*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği, İstanbul.
3. Dennis, W., *Demirden Gayrı Metaller Metalürjisi* (Çeviren: Tulgar, E). İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul. (Eserin orijinali 1971’de yayınlandı).
4. Habashi, F. (2005). *Advances in Gold Ore Processing*. Western Australia: Elsevier. (xxv-xxvii)
5. Altıntepe, M., 2003. *Altının farklı liç çözeltilerinde çözünme davranışı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
6. Habashi, F. (1997). *Handbook of Extractive Metallurgy*, Wiley-VCH, Germany. (xxv-xxvii)
7. Manziek, L., 1990. Precious Metals Recovery and Refining, Ilse V. Nilsen, U.S.A. (97-112)
8. Haffty, J., Riley, L. B., Goss, W. D., (1977). A Manual on Fire Assaying and Determination of the Noble Metals in Geological Materials, United States Geological Survey Bulletin 1445.
9. Loewen, R., (1989). Small scale refining of jewelers wastes, Precious Metals ’89, Las Vegas, Nevada, U.S.A., March 443-464.
10. Corti, C., 1997. In-house Gold Refining: The opinions, Gold Technology, 21, 29-32.
11. M.B. Mooiman, L. Simpson,(2016), Refining of Gold- and Silver-Bearing Dore, Gold Ore Processing (Second Edition), Chapter 34, Elsevier, 595-615
12. İnternet:  
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ganoksin.com%2Farticle%2Frefining-gold-jewelry-scrap%2F&date=2019-05-08> Son Erişim Tarihi: 08.05.2019,
13. Kinneberg, D. Mooiman, M. and Mueller W., (1996). *Gold Refining – Past, present and future*, Proceeding of the 20th International Precious Metals Conference, California, U.S.A., 433-445.
14. Erdem, B. (2006). *İkincil Kaynaklardan Altın Geri Kazanım ve Rafinasyonu Prosesinin Optimizasyonu*. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

15. S. Syed. (2012). Recovery of gold from secondary sources—A review, *Hydrometallurgy* 115-116, 30–51.
16. Park, Y. J., Fray, D. J. (2009). Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards, *Journal of Hazardous Materials* 164, 1152–1158.
17. Bonggotgetsakul, Y. Y. N., Cattrall, R. W. and Koley, S. D., (2016). Recovery of gold from aqua regia digested electronic scrap using a poly (vinylidene fluoride-co-hexafluoropropene) (PVDF-HFP) based polymer inclusion membrane (PIM) containing Cyphos IL 104, *Journal of Membrane Science* 514, 274–281.
18. Lu, Y., Xu, Z., (2017). Recycling non-leaching gold from gold-plated memory cards: Parameters optimization, experimental verification, and mechanism analysis, *Journal of Cleaner Production* 162, 1518-1526.
19. Kim, E., Kim, M., Lee, J., and Pandey, B. D., (2011). *Selective recovery of gold from waste mobile phone PCBs by hydrometallurgical process*, *Journal of Hazardous Materials* 198, 206– 215.
20. Lhanafi, S., Anfar, Z., Chebli, B., Benafgir, M., Haouti, R. E., Azougarh, Y., Abbas, M., and Alem, N. E., (2018). *Factorial experimental design to enhance methane production of dairy wastes co-digestion*, *Sustainable Environment Research* 28, 389-395.
21. Mohammed, A. I., Bankole, M. T., Abdulkareem, A. S., Ochigbo, S. S., Afolabi, A. S., and Abubakre, O. K., (2017). *Full factorial design approach to carbon nanotubes synthesis by CVD method in argon environment*, *South African Journal of Chemical Engineering* 24, 17-42.
22. Veljkovic, V. B., Velickovic, A. V., Avramovic, J. M., and Stamenkovic, O. S., (2018). *Modeling of biodiesel production: Performance comparison of Box–Behnken, face central composite and full factorial design*, *Chinese Journal of Chemical Engineering*.
23. Mitic, M., Tosic, S., Pavlovic, A., Maskovic, P., Kostic, D., Jelena, M., and Stevanovic, V. (2019). *Optimization of the extraction process of minerals from Salvia officinalis L. using factorial design methodology*, *Microchemical Journal* 145, 1224–1230.
24. Balbaşı, M. (2013). *Application of full factorial design method to silicalite synthesis*, *Materials Research Bulletin* 48, 2908–2914.
25. Gabor, A., Davidescu, C. M., Negrea, A., Ciopec, M., Grozav, I., Negrea, Petru., and Duteanu, N., (2017). *Optimizing the lanthanum adsorption process onto chemically modified biomaterials using factorial and response surface design*, *Journal of Environmental Management* 204, 839-844
26. Berger, P., Maurer, R. (2002). *Experimental Design: With Applications in Management, Engineering, and the Sciences*. Duxbury:Thomson Learning, 245-350



**EKLER**

## EK-1. Reaktörden ünitesinden alınan stok çözeltisi için giriş analizi sonucu

SpectrAA Report.		12:51 20.02.2019		Page 1 of 1	
<b>Analyst</b>					
<b>Date Started</b>	12:38 20.02.2019				
<b>Worksheet</b>	MASTER STOK 2				
<b>Comment</b>					
<b>Methods</b>	Au				
<b>Computer name</b>	USER				
<b>Serial Number:</b>	AA1001M046				
<b>Method: Au (Flame)</b>					
<b>Sample ID</b>	<b>Conc mg/L</b>	<b>%RSD</b>	<b>Mean Abs</b>	<b>BG Abs</b>	
CAL ZERO	0,00	>100	-0,0004	0,0003	
	Readings				
	0,0000	-0,0004	-0,0010		
STANDARD 1	1,00	1,0	0,0327	-0,0001	
	Readings				
	0,0326	0,0324	0,0331		
STANDARD 2	3,00	0,4	0,1049	0,0001	
	Readings				
	0,1048	0,1053	0,1046		
STANDARD 3	6,00	0,6	0,2038	0,0002	
	Readings				
	0,2024	0,2045	0,2044		
BLANK	0,01	>100	0,0003	-0,0003	
	Readings				
	0,0007	0,0000	0,0001		
STOP	1615,64	0,3	0,0550	-0,0001	
	Readings				
	0,0549	0,0552	0,0549		
STOP	1614,67	1,0	0,0550	-0,0002	
	Readings				
	0,0546	0,0556	0,0548		
BLANK	0,00	>100	-0,0001	-0,0006	
	Readings				
	-0,0001	-0,0004	0,0000		

EK-2. 25<sup>0</sup>C'de yapılan analizlerin sonuçları

SpectrAA Report.		09:26 23.03.2019			Page 1 of 2
<b>Analyst</b>					
<b>Date Started</b>	09:09 23.03.2019				
<b>Worksheet</b>	MASTER-14 25DERECE 230319				
<b>Comment</b>					
<b>Methods</b>	Au				
<b>Computer name</b>	USER				
<b>Serial Number:</b>	AA1001M046				
<b>Method: Au (Flame)</b>					
<b>Sample ID</b>	<b>Conc mg/L</b>	<b>%RSD</b>	<b>Mean Abs</b>	<b>BG Abs</b>	
CAL ZERO	0,00	48,6	0,0016	-0,0010	
	Readings				
	0,0007	0,0019	0,0022		
STANDARD 1	1,00	1,9	0,0395	-0,0006	
	Readings				
	0,0387	0,0395	0,0402		
STANDARD 2	3,00	2,0	0,1159	-0,0011	
	Readings				
	0,1132	0,1174	0,1172		
STANDARD 3	6,00	0,6	0,2281	-0,0012	
	Readings				
	0,2277	0,2296	0,2269		
BLANK	0,02	43,4	0,0025	-0,0020	
	Readings				
	0,0024	0,0036	0,0014		
1	1517,21	1,2	0,0591	-0,0021	

1	1517,21	1,2	0,0591	-0,0021	
	Readings				
	0,0599	0,0586	0,0589		
1	1486,98	1,8	0,0580	-0,0009	
	Readings				
	0,0582	0,0569	0,0590		
1	1495,45	2,7	0,0583	-0,0017	
	Readings				
	0,0581	0,0600	0,0569		
1	1464,21	0,9	0,0571	-0,0005	
	Readings				
	0,0567	0,0570	0,0578		
2	1297,05	1,4	0,0508	-0,0006	
	Readings				
	0,0516	0,0502	0,0507		
2	1317,92	0,7	0,0516	-0,0012	
	Readings				
	0,0518	0,0512	0,0519		
2	1315,66	1,1	0,0515	-0,0007	
	Readings				
	0,0512	0,0522	0,0512		

EK-2. (devam) 25<sup>0</sup>C’de yapılan analizlerin sonuçları

SpectrAA Report.	09:26 23.03.2019			Page 2 of 2
2	1323,91	1,0	0,0518	-0,0011
	Readings			
	0,0523	0,0513	0,0520	
3	1529,31	0,5	0,0598	-0,0017
	Readings			
	0,0593	0,0598	0,0598	
3	1500,49	0,5	0,0585	-0,0012
	Readings			
	0,0585	0,0588	0,0582	
3	1500,54	0,8	0,0585	-0,0008
	Readings			
	0,0588	0,0588	0,0579	
3	1493,23	0,4	0,0582	-0,0006
	Readings			
	0,0585	0,0582	0,0580	
4	20,59	39,0	0,0028	-0,0012
	Readings			
	0,0028	0,0015	0,0035	
4	37,23	5,2	0,0033	-0,0019
	Readings			
	0,0031	0,0032	0,0035	
4	3,20	20,7	0,0020	-0,0014
	Readings			
	0,0017	0,0024	0,0017	
4	4,12	20,9	0,0020	-0,0016
	Readings			
	0,0016	0,0021	0,0024	
BLANK	0,02	33,5	0,0026	-0,0027
	Readings			
	0,0035	0,0027	0,0017	

EK-3. 45<sup>0</sup>C'de yapılan analizlerin sonuçları

SpectrAA Report.		10:40 25.03.2019			Page 1 of 2
<b>Analyst</b>					
Date Started	09:32 25.03.2019				
Worksheet	MASTER-15 45DERECE 250319 01				
<b>Comment</b>					
Methods	Au				
Computer name	USER				
Serial Number:	AA1001M046				
<b>Method: Au (Flame)</b>					
Sample ID	Conc mg/L	%RSD	Mean Abs	BG Abs	
CAL ZERO	0,00	83,5	0,0003	-0,0003	
	Readings				
	0,0006	0,0001	0,0003		
STANDARD 1	1,00	0,1	0,0380	-0,0001	
	Readings				
	0,0380	0,0380	0,0379		
STANDARD 2	3,00	0,4	0,1112	-0,0002	
	Readings				
	0,1109	0,1116	0,1110		
STANDARD 3	6,00	0,6	0,2154	0,0000	
	Readings				
	0,2163	0,2160	0,2138		
BLANK	-0,03	49,8	0,0008	-0,0005	
	Readings				
	0,0009	0,0011	0,0003		
1	1524,86	0,8	0,0563	-0,0002	
	Readings				
	0,0568	0,0560	0,0562		

1	1518,25	1,1	0,0561	-0,0001	
	Readings				
	0,0561	0,0554	0,0567		
1	1447,40	1,0	0,0535	-0,0001	
	Readings				
	0,0541	0,0533	0,0532		
1	1449,76	0,6	0,0536	-0,0001	
	Readings				
	0,0538	0,0532	0,0539		
2	1330,38	0,4	0,0493	-0,0003	
	Readings				
	0,0496	0,0492	0,0492		
2	1322,56	0,4	0,0491	-0,0001	
	Readings				
	0,0493	0,0490	0,0489		
2	1326,81	0,5	0,0492	0,0000	
	Readings				
	0,0492	0,0495	0,0490		

EK-3. (devam) 45<sup>0</sup>C’de yapılan analizlerin sonuçları

SpectrAA Report.	10:40 25.03.2019			Page 2 of 2
2	1337,30	0,6	0,0496	-0,0004
	Readings			
	0,0493	0,0499	0,0496	
3	1541,61	0,7	0,0569	-0,0006
	Readings			
	0,0564	0,0571	0,0572	
3	1547,95	0,9	0,0571	-0,0001
	Readings			
	0,0571	0,0567	0,0577	
3	1558,94	0,4	0,0575	-0,0004
	Readings			
	0,0575	0,0573	0,0577	
3	1551,09	1,2	0,0572	-0,0009
	Readings			
	0,0571	0,0566	0,0580	
4	-16,72	34,5	0,0011	-0,0005
	Readings			
	0,0016	0,0009	0,0009	
4	-15,38	18,1	0,0012	-0,0004
	Readings			
	0,0014	0,0010	0,0011	
4	0,03	5,9	0,0017	-0,0005
	Readings			
	0,0017	0,0018	0,0016	
4	-1,09	9,0	0,0017	-0,0006
	Readings			
	0,0016	0,0019	0,0016	
BLANK	-0,03	26,7	0,0006	-0,0002
	Readings			
	0,0004	0,0007	0,0007	

3 numaralı deney için örnek verim hesaplaması şu şekilde yapılmıştır:

Ort. Sonuç:1549,89ppm      Verim:(1-(1549,89÷1615))×100=%4,03

EK-4. Kodlanmış değişkenler cinsinden analiz sonuçlarının Excel tablosu ile hazırlanmış

#	ÜRE	SMB	SICAKLIK	VERİM
1	-1	-1	-1	7,03
1	-1	-1	-1	8,39
2	1	-1	-1	19,07
2	1	-1	-1	18,33
3	-1	1	-1	6,22
3	-1	1	-1	7,34
4	1	1	-1	98,27
4	1	1	-1	99,78
5	-1	-1	1	5,82
5	-1	-1	1	10,34
6	1	-1	1	17,89
6	1	-1	1	17,55
7	-1	1	1	4,40
7	-1	1	1	3,75
8	1	1	1	100,00
8	1	1	1	100,00

Sodyum metabisülfıt için +1 ve -1 kodlanmış değişkenlerinin örnek hesaplaması:

1615ppm Altın içeren 100ml kral suyundan altın çöktürmek için kullanılması gereken SMB'nin stokiyometrik oranı 0,12g olarak hesaplanmıştır, buradan hesapla +1 kodlanmış değişkeni şu şekilde hesaplanır:

$$+1=0,12+0,12*0,7=0,204 \text{ g}$$

-1 kodlanmış değişkeni hesabı ise aşağıda verilmiştir:

$$-1=0,12-0,12*0,7=0,036\text{g}$$

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜN, Ahmet  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 27.02.1989, Sivas  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (506) 613 74 58  
 e-mail : ahmetgun58@gmail.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / KİMYA Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / KİMYA Mühendisliği	2014
Lise	Sivas Fen Lisesi	2006

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Ch Makina Muhendislik Danismanlik Madencilik Tehlikeli Atik Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Kimya Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

Gün, A., Balbaşı, M. (2019, 1 Mayıs), *Altın Madeni Atıklarından Altın Geri Dönüşümü Prosesinin Optimizasyon Çalışmaları*, 1 Mayıs Uluslararası Sosyal Politikalar ve Bilimsel Araştırmalar Kongresi'nde sunuldu, Ankara

### Hobiler

Masa tenisi, kitap okuma, ekonomi, motorlu taşıtlar

## DİZİN

### A

Abstract · 25, 66, 68  
Alıntılar · 14  
Alt Bölümler · 10  
APA · 35, 45  
Araştırma · 30  
*Arial* · 6

### B

Bakınız · 23  
Baskı · 36, 42  
başlık · 10, 15, 20, 29, 31, 34, 40, 47  
bölüm · 6, 31, 47

### C

CD · 3  
Cilt · 8

### Ç

çizelge · 4, 19, 20, 21, 23, 25, 28, 47, 81  
Çizelge · 9, 27, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77

### D

Dipnot · 18  
Dizin · 50  
Doğrudan aktarma · 15  
Dolaylı aktarma · 16

### E

EKLER · 6, 20, 47, 49, 51, 69  
Eşitlik · 20, 21  
Etik · 9, 25

### F

Format · 4, 5

formül · 20, 25

### G

Giriş · 2, 4, 5, 9, 29, 31, 80  
Görüntü · 4  
grafik · 4, 20, 25

### H

Harita · 9  
Haritalar · 27

### İ

*İlk kontrol* · 3  
indis · 6  
İspat · 11

### K

Kabul ve Onay · 25  
Kaynak · 11  
Kenar Boşlukları · 7  
*Key Words* · 25, 65, 66  
Kılavuz · 1

### L

Lemma · 11  
literatür · 11, 14, 29

### N

Numaralandırılma · 9, 11, 20

### O

Onay · 2, 9  
Ondalık Sayılar · 19

### Ö

Özet · 10, 25, 64, 68  
Özgeçmiş · 10, 49, 69, 76

### P

patent · 5  
pdf · 1, 3, 4  
program · 4, 47  
punto · 6, 9, 10, 18, 24, 25, 26

### R

Referans · 5, 18  
resim · 2, 4, 20, 21, 28, 47  
Resimle · 27  
Resimlemelerin Açıklamaları · 21

### S

savunma · 1  
sembol · 25, 40  
simge · 6, 25, 28  
Simgeler ve kısaltmalar · 28, 75  
Simgeler ve Kısaltmalar · 9, 19  
Sonuç ve öneriler · 31

### Ş

şekil · 4, 20, 21, 23, 25, 28, 47  
Şekil · 27, 68, 71  
Şekille · 9, 27

### T

Tanım · 11, 19  
Teşekkür · 9, 10, 26, 67, 68, 70, 71, 73, 74  
Tetkik · 75  
*Times New Roman* · 6

### U

Unvan · 34

### Y

yazar · 13, 14, 15, 16, 34, 38, 42





*GAZİ GELECEKTİR..*