



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ATIK RODYUM KAPLAMA**  
**ÇÖZELTİLERİNDEN RODYUM GERİ**  
**KAZANIMI**

---

---

SERAP MORCALI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Çevre Bilimleri Anabilim Dalı  
Çevre Bilimleri Programı

**DANIŞMAN**  
Doç. Dr. Serdar AKTAŞ

İSTANBUL, 2014

---

---



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ATIK RODYUM KAPLAMA**  
**ÇÖZELTİLERİNDEN RODYUM GERİ**  
**KAZANIMI**

---

SERAP MORCALI

(526111005)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Çevre Bilimleri Anabilim Dalı  
Çevre Bilimleri Programı

**DANIŞMAN**  
Doç. Dr. Serdar AKTAŞ

İSTANBUL, 2014

---

## **ÖNSÖZ**

Yüksek lisans tezimin yönetimini üstlenen ve çalışmalarımda bana büyük destek olup her türlü imkanı sağlayan, ilgi ve desteğini hiç esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Serdar AKTAŞ'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında sürekli yardımına koşan değerli Metalurji-Malzeme Mühendisliği Bölümü MC-365 nolu laboratuvarı çalışanlarına ve bu çalışma için gerekli maddi desteği FEN-C-YLP-050614-0240 nolu projesi ile sağlayan Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimine (BAPKO) desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Bugüne kadar desteklerini hiç eksik etmeyen aileme, hayat arkadaşım Dr. Mehmet Hakan MORCALI, kızım Nisa Berrak MORCALI ve oğlum Beyazıt MORCALI'ya şimdiden çok teşekkür ederim.

**Aralık 2014**

**Serap MORCALI  
(Kimyager)**







# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT .....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
KISALTMALAR .....	xv
ŞEKİLLER.....	xvii
TABLO LİSTESİ.....	xix
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR BİLGİSİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 İndirgeme yöntemleri ve kullanılan ajanlar .....	7
2.1.1 Sodyum bor hidrür .....	8
2.1.2 Etil alkol .....	9
2.2 Rodyum bileşikleri .....	9
<b>3. KAPLAMACILIK YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>11</b>
3.1 Metal Kaplama İşlemleri.....	12
3.1.1 Püskürtme .....	12
3.1.2 Sıcak daldırma .....	12
3.1.3 Sementasyon veya difüzyon .....	13
3.1.4 Gaz kaplama .....	13
3.1.5 Vakumda yoğunlaştırma .....	13
3.1.6 Kimyasal indirgeme .....	13
3.1.7 Kimyasal yer değiştirme .....	13
3.1.8 Elektroliz .....	14
3.1.9 Konveksiyon (dönüştürme) .....	14
3.2 Soy metallerin kaplama çözeltileri .....	14
3.2.1 Gümüş kaplama .....	14
3.2.2 Altın kaplama .....	15
3.2.3 Paladyum kaplama .....	16
3.2.4 Platin kaplama .....	17
3.2.5 Rodyum kaplama .....	17
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>19</b>
4.1 Deneylerinin Yapılışı.....	20
4.2 Bulgular ve Tartışma .....	21
4.2.1 Sodyum bor hidrür indirgeyici miktarının etkisi .....	21
4.2.2 Sodyum bor hidrür ile indirgemedede sürenin etkisi .....	23
4.2.3 Sodyum bor hidrür ile indirgemedede sıcaklığın etkisi.....	25

4.2.4 Etil alkol indirgeyici miktarının ve reaksiyon süresinin etkisi.....	26
4.2.5 Etil alkol indirgeyicisinde pH ve sıcaklığın etkisi.....	28
4.2.6 Üretilen tozların karakterizasyonu.....	29
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>34</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>37</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>39</b>



# ÖZET

## ATIK RODYUM KAPLAMA ÇÖZELTİLERİNDEN RODYUM GERİ KAZANIMI

Rodyum kaplama çözeltisi veya teknik tabiriyle rodaj; yüzük, küpe, bileklik ve kolye gibi çeşitli takı ürünlerinin kaplanmasında kullanılmaktadır. Ticari bir ürün olan rodaj; içerisinde 10-20 g/L rodyum metali ihtiva etmekte olup litrede 2g olacak şekilde seyreltilerek kullanılmaktadır. Bu banyolar, genellikle sülfat bazlı  $[Rh_2(SO_4)_3]$  banyolardır.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında; rodyum iyonlarını içeren atık durumundaki çözeltilerden rodyum metalinin %100'e varan verimlerle en uygun parametreler seçilerek, çevre dostu, ucuz, basit ve endüstriyel uygulamalarda yer alabilecek şekilde geri kazanılması, saflaştırılması ve katma değerli ürün üretimi için gerekli ana hammadde üretimi amaçlanmaktadır. Sülfat iyonları ile kompleks halde bulunan rodyum çözeltilerinden metalik rodyum geri kazanımı için sodyum bor hidrür ve etil alkol kullanılmıştır. Geri kazanım deneylerinde, kimyasal miktarı, reaksiyon süresi ve sıcaklık deney parametreleri olarak incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda Rh ihtiva eden kaplama banyo çözeltilerinden değerli Rh metali kimyasal çöktürme yoluyla %99+ safiyetinde rodyum siyahı elde edilmiştir. Elde edilen bu ürün rafinasyon işlemini müteakip Rh sülfat banyolarının hazırlanmasında kullanılabilir.

Yukarıda belirtilen indirgeyici ajanlar vasıtasıyla rodyum metalinin geri kazanımı ile ilgili literatürde çeşitli bilgiler bulunmasına rağmen çöktürme şartları hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Gerçekleştirilen bu tez çalışması çerçevesinde rodyum kimyası hakkında eksik veya bilinmeyen hususları aydınlatmak suretiyle bilim dünyasına katkıda bulunmak ve ülkemize katma değer sağlayacak ürün üretimi hedeflenmektedir.



# **ABSTRACT**

## **RECOVERY OF RHODIUM FROM SPENT RHODIUM PLATING SOLUTIONS**

Rhodium plating solutions are employed in the plating of jewelry items such as ring, earring, wristband, pendant, etc. Rhodium plating solutions, a commercially available product, contain 10-20 g/L rhodium metal, prior to usage they are diluted to 2 g per liter. These plating solutions are generally sulfate based baths.

In this thesis study, it has been investigated to recover rhodium with almost 100% efficiency from spent rhodium plating solutions using best combination of parameters, in an environmentally friendly and inexpensive way and subsequently to purify it and finally to produce highly added value product which can be directly employed in various industrial applications. In order to recover rhodium which is complexed with sulfate ions present in the solution: sodium borohydride and ethanol have been employed. For the recovery experiments, the amount of reagents, reaction time and temperature have been selected as variable reaction parameters. The experimental results have demonstrated that it is possible to recover the valuable Rh metal from Rh-containing plating baths. A fine Rh black powder has been produced using chemical agents. The purity level of the produced metal is above 99 %. The product may be used for the preparation of fresh Rh sulfate plating solutions, after a simple refining procedure. It may then be re-used to plate items for decorative purposes.

Even though there are some reports on rhodium recovery via reducing agents in the scientific literature, conditions regarding its precipitation are not explained in these reports. The main goal of this thesis work, besides contribution to scientific literature by investigating rhodium chemistry in detail, has been to produce value added product.



## SEMBOLLER

<b>°C</b>	: Santigrat derece
<b>mL</b>	: Mililitre
<b>g</b>	: Gram
<b>V</b>	: Volt



## KISALTMALAR

<b>AAS</b>	: Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
<b>Au</b>	: Altın
<b>AgS</b>	: Gümüş Sülfür
<b>Ag<sub>2</sub>O</b>	: Gümüş Oksit
<b>EMF</b>	: Elektromotor kuvveti
<b>Ir</b>	: İridyum
<b>Ni</b>	: Nikel
<b>NaBH<sub>4</sub></b>	: Sodyum bor hidrür
<b>C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH</b>	: Etil Alkol
<b>Pb</b>	: Kurşun
<b>PGM</b>	: Platin Grubu Metaller
<b>Pt</b>	: Platin
<b>Pd</b>	: Paladyum
<b>Rh</b>	: Rodyum
<b>Ru</b>	: Rutenyum
<b>Os</b>	: Osmiyum
<b>XRD</b>	: X-Işınları Difraksiyonu
<b>XRF</b>	: X-Işınları Floresansı





## ŞEKİLLER

### Sayfa

Şekil 2.1 : Rodyum üretimi yapan ülkeler ve yüzde dağılımı. ....	5
Şekil 2.2 : Kullanım alanına göre rodyum tüketimi.....	6
Şekil 3.1 : Ticari Altın kaplama çözeltileri. ....	16
Şekil 3.2 : Ticari Paladyum siyanür banyosu. ....	17
Şekil 3.3 : Ticari Rodyum kaplama banyo çözeltileri. ....	18
Şekil 4.1 : Temin edilen atık rodyum kaplama çözeltileri ve filtreleme işlemi. ....	19
Şekil 4.2 : NaBH <sub>4</sub> miktarının rodyumun indirgeme yüzdesine etkisi.....	22
Şekil 4.3 : NaBH <sub>4</sub> miktarına karşı değişen pH değerleri. ....	23
Şekil 4.4 : Değişen süre ve NaBH <sub>4</sub> miktarının rodyum indirgeme verimine etkisi...	24
Şekil 4.5 : Değişen süre ve NaBH <sub>4</sub> miktarının pH değişimine etkisi. ....	25
Şekil 4.6 : Süreye bağlı olarak reaksiyon sıcaklığının rodyum indirgeme verimine etkisi. ....	26
Şekil 4.7 : Etil alkol miktarının rodyumun geri kazanım verimine etkisi. ....	27
Şekil 4.8 : Sürenin rodyumun geri kazanım verimine etkisi. ....	28
Şekil 4.9 : Çözelti pH değerlerinin farklı sıcaklıklarda rodyum geri kazanım verimine etkisi.....	29
Şekil 4.10 : Rodyum siyahının XRD paterni.....	30
Şekil 4.11 : Rodyum siyahının XRF paterni. ....	31
Şekil 4.12 : Rodyum siyahının Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüsü. ....	33



## TABLO LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Tablo 2.1</b> : Platin grubu metallerin özellikleri.....	3
<b>Tablo 4.1</b> : Atık rodyum kaplama çözeltisinin bileşimi .....	20
<b>Tablo 4.2</b> : Çöktürme sonrası elde edilen Rh siyahının kimyasal analizi .....	30



## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Platin grubu metaller (PGM) arasında yer alan rodyum (Rh) metali kuyumculuk sektöründe gümüşe yakın beyaz bir renge ve parlaklığa sahip olmasının yanında Mohs sertlik değeri altın (Au) (Mohs sertlik değeri: 2,5) metalinden yaklaşık 2,5 kat daha fazla olması (Rh Mohs değeri: 6,0) nedeni ile takıların güzel görünüm sağlamak ve aşınmaya karşı dirençlerini arttırmak amacı ile kullanılmaktadır [1-3]. Bir nesnenin (metal, plastik, polimer v.b.) üzerini istenilen bir metal ile kaplamak ve/veya sıvamak amacıyla yapılan işleme kaplama ve bu işlemin yapıldığı zanaata ise kaplamacılık adı verilmektedir. Kaplama işleminde temel amaç, malzemeyi korozyona karşı korumak ve ona dekoratif bir görünüm kazandırmaktır. Örneğin, cıvata ve somun gibi küçük parçalar korozyondan koruma amaçlı olarak elektrolizle galvanizlenmektedir. Ayrıca kaplama yöntemiyle nesnenin yüzeyine; sertlik, elektrik, manyetik ve ışık etkilerine karşı dayanıklı kılmak da mümkündür. Elektroliz adı verilen elektrik akımı yardımıyla, bir sıvı içinde çözülmüş kimyasal bileşiklerin kaplama yapılacak nesnenin üzerine sıfır değerliğe indirgenmiş metal biriktirilmektedir [4-5]. Kuyum sektöründe rodaj kaplama diye tabir edilen rodyum kaplama işlemi sülfatlı ve fosfatlı banyolarda gerçekleştirilerek elde edilen ürüne eşsiz bir beyazlık ve parlak bir görünüm katmaktadır. Rodyum kaplamanın en önemli avantajlarından biri, gümüşün aksine daha beyaz ve kararmayan bir kaplama yapmasıdır, çünkü gümüş, havanın oksijen ile gümüş oksit ( $Ag_2O$ ) bileşiği oluşturarak koyu, bulanık ve puslu bir görünüm arz etmektedir. Bunun gibi birçok avantajından dolayı kuyum ve kaplamacılık sektörlerinde Rh kullanımını cazip hale gelmektedir [2,6]. Rodyum kaplama çözeltisi veya teknik tabiriyle rodaj; yüzük, küpe, bileklik ve kolye gibi çeşitli takı ürünlerinin kaplanmasında kullanılmaktadır. Bunların yanında Rh kaplamaların korozyon özellikleri diğer metallere göre daha iyi olduğundan son yıllarda yurtdışına yapılan ihracatların satış sözleşmelerinde belirtilen uyulması gereken kriterleri sağlaması nedeni ile sektörde kullanımı bir hayli artmıştır. Ancak bunun yanında özellikle günlük kullanılan ve ciltle temas halinde bulunan metallere nikel (Ni) çözünürlüğüne ( $0,5 \mu g/cm^2/hafta$ ) kısıtlama getiren EN standartları 1810, 1811 nedeni ile beyaz altın alaşımlarında Ni çözünürlük sınır değerini sağlamak için beyaz ve yeşil renkli Au alaşımların bileşiminde kullanılan Ni oranı düşürülmektedir. Kuyum sektöründe takı üreticileri bu negatif etkeni yüksek maliyetine rağmen Rh

kaplama ile gidermek zorunda kalmaktadırlar. Bu yönelim de kuyum sektöründe gittikçe artan oranlarda Rh kullanımına yol açmaktadır [3].

Bu tez çalışmasının amacı; rodyum iyonlarını içeren atık durumundaki çözeltilerden rodyum metalinin %100'e varan verimlerle en uygun parametreler seçilerek, çevre dostu, ucuz, basit ve endüstriyel uygulamalarda yer alabilecek şekilde geri kazanılması, saflaştırılması ve katma değerli ürün üretmektir. Ayrıca bu tez çalışması çerçevesinde rodyum kimyası hakkında eksik veya bilinmeyen hususları aydınlatmak suretiyle bilim dünyasına katkıda bulunmak ve ülkemize katma değer sağlayacak ürün üretimi hedeflenmektedir.

## 2. LİTERATÜR BİLGİSİ

Periyodik cetvelde geçiş elementleri grubunda bulunan platin grubu metalleri (PGM); Platin (Pt), Paladyum (Pd), Rodyum (Rh), Rutenyum (Ru). İridyum (Ir) ve Osmiyum (Os) dur [5]. Bu metallerin kullanım alanları 1920'lerde keşfedilmeye başlamıştır. Diğer metallere göre kullanılmaya başlamaları daha yakın tarihlere rastlansa da fiziksel ve kimyasal özellikleri dolayısıyla azımsanamaz kullanım alanlarına sahiptirler. Kullanıldıkları teknolojik alanlarda muadilleri olmaması ve sahip oldukları yüksek değerler bu metallere ilgiyi arttırmıştır. Fiziksel ve kimyasal özellikleri bu metallerin çok farklı kullanım alanlarında değerlendirilmelerine neden olmaktadır [3,7]. Bunun yanı sıra altınla yaptıkları alaşımlarda benzersiz özellikler sağlamaktadır. Bu metallere ait genel fiziksel ve kimyasal özellikler karşılaştırmalı olarak Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.1 :** Platin grubu metallerin genel özellikleri.

	<b>Platin</b>	<b>İridyum</b>	<b>Osmiyum</b>	<b>Paladyum</b>	<b>Rodyum</b>	<b>Rutenyum</b>
<b>Atom No</b>	78	77	76	46	45	44
<b>Atom Ağırlığı</b>	195,09	199,22	190,20	160,40	102,91	101,01
<b>Yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	21,45	22,40	22,50	12,02	12,40	12,20
<b>Ergime Sıcaklığı, °C</b>	1769	2466	3033	1554	1964	2334
<b>Kaynama Sıcaklığı, °C</b>	3827	4428	5012	3140	3695	4150
<b>En çok bilinen Oksidasyon kademeleri</b>	2,4	2,4	4,8	2,4	3	3,4

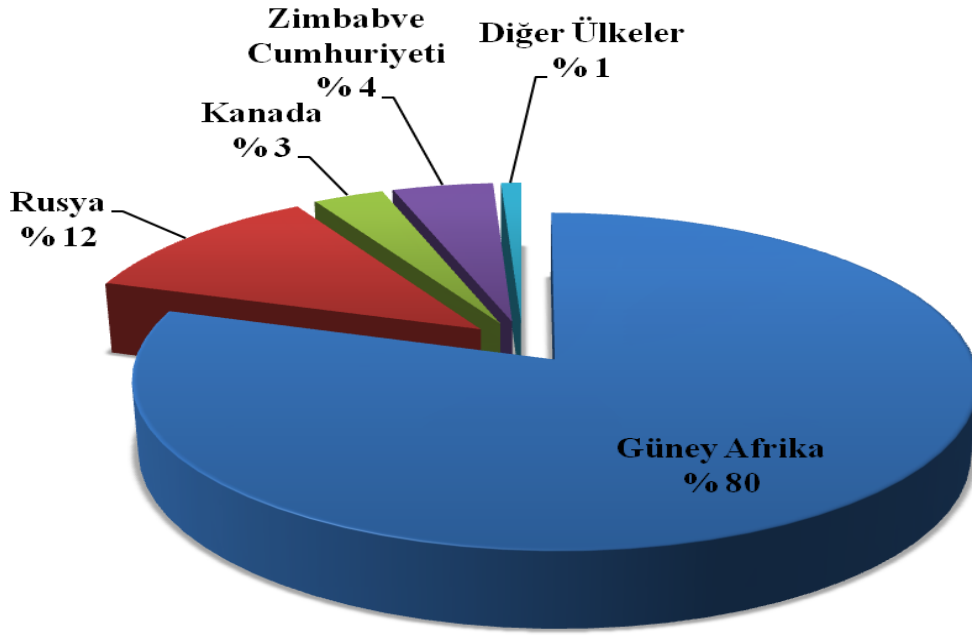
Fiziksel özellikleri Tablo 2.1'de özetlenen bu metallerin en önemli ortak özellikleri korozyon direncinin çok yüksek olmasıdır. Erime sıcaklıkları yüksek ve kolay şekil alabilen metallerdir. Yüzey merkezli kübik kristal yapısına sahip olan platin, paladyum ve rodyum metali haddelenebilir ve işlenebilir yapıdadır. Farklı sıcaklıklarda kimyasallara karşı göstermiş oldukları direnç ve benzersiz katalitik özellikleri ile karakterize edilmektedirler. Asit ve alkalilere karşı direnci yüksek olmasına karşın kral suyunda (3 birim Hidroklorik asit:1 birim Nitrik asit) çözünmektedir [2,3].

Pt, Pd ve Rh metalleri genellikle termo-çift (thermocouple), rezistanslı termometrelerde, elektrik bağlantı cihazlarında, ergitme potalarında, laboratuvar araçlarında, dış

kaplamalarında ve katalizör kimyasında kullanılmaktadır [8]. Bu değerli metallerin alım ve satım işlemleri dünya borsalarında troy-ons cinsinden Amerikan doları para birimi üzerinden gerçekleştirilmektedir (Örneğin, (1 troy-ons; 31,1034768 g, yaklaşık 1400\$'dır).

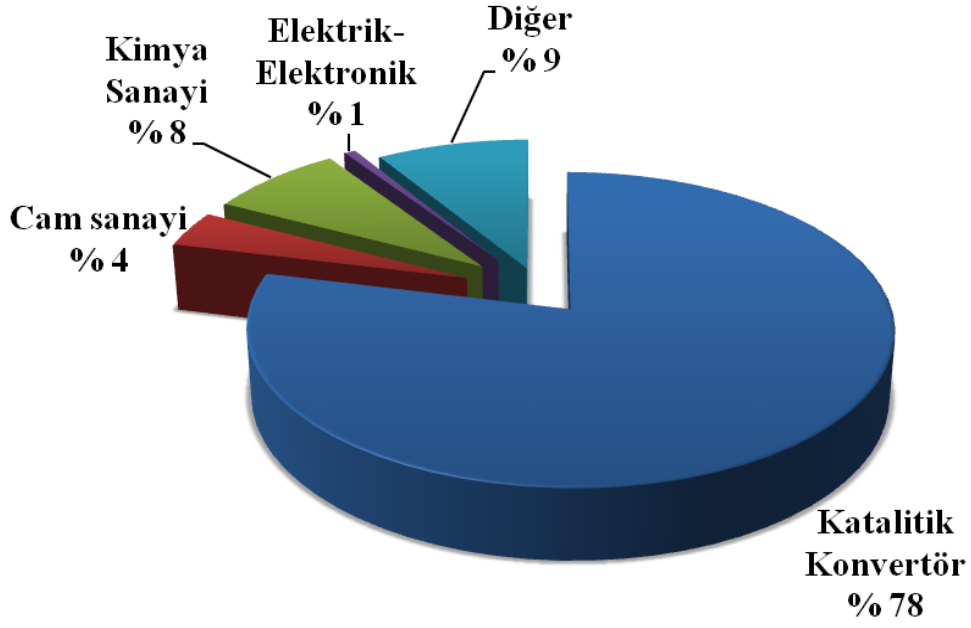
Rh, 1803 yılında İngiliz bilim adamı William Hyde Wollaston (1766-1828) tarafından, Güney Amerika'dan gelen ham platin cevheri içinde paladyum metalini bulmasından hemen sonra keşfedildi. William Hyde Wollaston cevheri kral suyunda çözdükten sonra çözeltiyi sodyum hidroksit ile nötralize etmiştir. Daha sonra çözeltiyi amonyum klorürle ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) muamele ederek platini amonyum kloroplatinat halinde çöktürmüştür. Daha sonra paladyumu alabilmek için cıva siyanür ile işlem yaparak paladyum siyanür bileşimini elde etmiştir. Geriye güzel, kırmızı renkte rodyum klorür tuzları içeren parçacıklar kalmıştır. Daha sonra hidrojen redüksiyonu ile bu parçacıklardan Rh metalini elde etmeyi başarmıştır. Rodyum metalinin ismi Yunanca da gül kelimesinin karşılığı olan *rhodon* kelimesinden gelmektedir [5, 9, 10]. Paladyum, gümüş, platin ve altın cevherleri ile beraber bulunduğu için rodyumun üretimi bir hayli zordur. Rodyum metali (Rh) üretim miktarı 2013 yılı verilerine göre 22,4 ton olarak gerçekleşmiştir (Şekil 2.1). Dünya üzerinde çok az bulunmasının yanı sıra üretim yöntemindeki zorluk ve yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu Rh metalinin kullanım miktarını sınırlamaktadır. Rh üretiminde en büyük payı %80 ile Güney Afrika Cumhuriyeti, %12'lik kısmı Rusya, %4'lük kısmı Zimbabve Cumhuriyeti, %3'lük kısmını Kanada karşılamaktadır [6,11].





**Şekil 2.1** : Rodyum üretimi yapan ülkeler ve yüzde dağılımı.

Şekil 2.2’de kullanım alanına göre rodyum tüketimi yer almaktadır. 2013 yılı itibariyle 25 ton Rh kullanılmıştır. En önemli kullanım alanları, azot oksitlerin azota ve oksijene parçalanmasında kullanılan katalitik konvertörler (%78), kimya sanayiinde platin ve paladyum içerikli alaşımlarda sertlik sağlayıcılar, Pt-Rh alaşımlı termokupllar (%8), ayrıca ocak sarımları, elyaf ve elektrotlar gibi çeşitli malzemelerdir. Yüksek sıcaklıklarda aşınmaya karşı yüksek dirençli olması nedeniyle, elektrik kontaktları yapımında (%1) ve üstün yüzey özellikleri nedeniyle, teleskoplarda ayna, uzayda, reflektörlerde, optik aletlerin yapımında, kuyumculuk ve dekorasyon alanlarında telefon röleleri, far reflektörleri ve dolma kalem uçlarında kaplama malzemesi (%9) olarak kullanılmaktadır [12].



**Şekil 2.2 :** Kullanım alanına göre rodyum tüketimi.

Ülkemizde ise PGM'lerin kullanıldığı en önemli sektör kuyumculuktur. Kuyum sektörünün ivmeli bir şekilde gelişmesi sonucu altın alaşımlarının platin, paladyum ve rodyum kaplanarak dekoratif amaçlı beyaz, siyah ve gri gibi çeşitli renklerde ürünler üretilmektedir. Günümüzde parlaklığından dolayı en çok Rh kaplama banyoları tercih edilmektedir. Kaplanan yüzeyde elde edilen gümüşümsü renk gümüş kaplamanın aksine gümüş kaplamadaki kararırma ve renk değişikliklerine karşı son derece dayanıklıdır. Bu nedenle kuyum sektöründe de Rh elementi en fazla kullanılan PGM'ler arasındadır [2,3,6].

1900-1960 yılları arasında sadece kuyumculuk ve kimya sanayiinde çok düşük miktarlarda kullanılan PGM'ler otomotiv sektöründe kullanımının artışı ve petrol sanayiinin gelişimi ile arz ve talep arasında çok ciddi bir fark oluşmuştur. Bu artış yeni maden sahalarının açılmasına, yeni üretim yöntemlerinin geliştirilmesini ve geri kazanım kültürünün gelişmesine zemin sağlamıştır [13]. Üretilen rodyumun önemli bir kısmı otomotiv sektöründe katalitik konvertör yapımında kullanılmaktadır.

PGM'lerin birincil kaynaklardan üretiminden sonra endüstrideki kullanım miktarları ve kullanım alanlarının yüzde dağılımı arz ve talep arasındaki farkı daha iyi göstermektedir. Her geçen gün birincil üretim ile tüketim arasındaki artan fark ancak geri dönüşüm yüzdesinin artışı ile dengelenebilmektedir. Ayrıca, birincil kaynakların her geçen gün azalması veya PGM üretim miktarının sabit kalması gibi kısıtlayıcı

etkenlerden dolayı PGM'lerin üretim miktarı ile tüketim miktarı arasındaki fark, geri dönüşümden elde edilen miktarı belirlemektedir. Arz talep dengesinin sağlanabilmesi için PGM'lerin geri dönüşümü önemli bir yer tutmaktadır.

Ülkemizde rodyumun kullanıldığı en önemli sektör, kuyum sektörüdür. Altın ve gümüş bazlı alaşımlara rodyum kaplanması kolay bir yöntem olduğundan küçük çaplı bir çok işyerinde bu işlem dekoratif amaçlı olarak yapılmaktadır. Sülfatlı ve fosfatlı banyolardan rodyum kaplama yapmanın en önemli nedeni, bu kaplamaların dekoratif amaçlı olarak estetik bir görünüm arz etmesi ve çok talep edilmesidir [2]. Gümüşün aksine rodyum kaplamalar zamanla kararmaz ve gümüşe göre daha beyaz olan rengini muhafaza eder. Bu nedenle kuyumculukta rodyum kullanımı vazgeçilmez bir hal almıştır [14,15]. Günümüzde bilimsel çalışma konuları arasında banyo kaplama banyolarının geri dönüştürülmesi önemli çalışma alanları arasında yer almaktadır. Bu tür atıklardan ticari değere sahip ürünün üretilmesi mühendislik sahasının önemli bir problemi olmaya devam etmektedir. Literatürde Rh geri kazanımı ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, sementasyon [2,3,15,16], kimyasal çöktürme [3,15,17] ve solvent ekstraksiyonu [15,18,19] yöntemleri en çok tercih edilen yöntemlerdir. Geri kazanım yöntemlerinin başında sementasyon gelmektedir. Sementasyon işleminin başarılı olabilmesi çöktürülen metal ile sementatörün elektrot potansiyellerinin farkının 0,3 V'den büyük olması da gerekmektedir. Sementasyon yönteminin basit, ucuz ve ilk yatırım maliyetleri düşük olsa da yan ürün oluşumu ve ciddi elektrokimya altyapısı ve becerisi gerektirme gibi dezavantajları vardır. Kimyasal çöktürme (indirgeme) aslında bir elektrokimyasal bir olaydır. Kimyasal çöktürme yöntemi sementasyona göre daha basit ve kolay uygulanabilir bir yöntemdir. İlk yatırım maliyetleri biraz fazla olsa da herhangi bir yan ürün oluşumu yoktur. Kimyasal çöktürme ile Rh banyolarından Rh metalinin geri kazanımı yeni ve alternatif bir teknik olup küçük ölçekli kaplama tesisleri için idealdir. Bu çalışmada; atık Rh kaplama çözeltilerinden Rh metalinin kazanımına etki eden parametreler incelenmiş olup, elde edilen Rh siyahı çeşitli spektroskopik yöntemlerle karakterize edilmiştir [15,17].

## **2.1 İndirgeme yöntemleri ve kullanılan ajanlar**

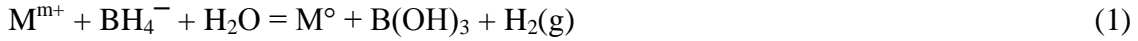
Literatürde metal iyonları için çok çeşitli indirgeme ajanları bulunmaktadır. İndirgeme reaksiyonları da aslında elektrokimyasal bir olaydır. İndirgenler temel itibarıyla

oksidasyona meyillidirler yani kolay oksitlenirler. Oksitlenebilmesi için yani elektron verebilmesi için karşı tarafta bu elektronu alıp redüklenecek bir maddenin olması gerekmektedir, zira hiçbir oksidasyon tek taraflı gerçekleşmemektedir, dengelenebilmesi için karşı tarafın da redüklenmesi gerekmektedir [17]. Soy metaller de sahip oldukları yüksek redüksiyon potansiyelleri gereği indirgenmeye meyillidirler. İndirgeyici birçok ajan ile metalik hale geçebilirler ki, bu temel özellik bu tür metalleri diğer baz metallerden ayıran en önemli özelliktir. Bu indirgeyici ajanlardan en önemlileri şunlardır: sodyum bor hidrür, lityum bor hidrür, lityum alüminyum hidrür ve alkol bazlı sıvılardır [20].

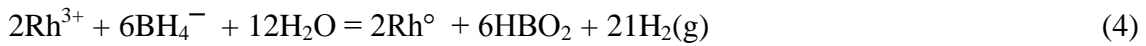
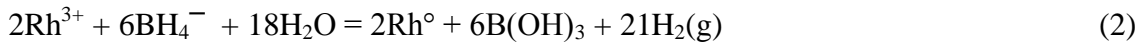
### 2.1.1 Sodyum bor hidrür

Sodyum bor hidrür (NaBH<sub>4</sub>) indirgeyici ajanı, diğer hidrürlere göre daha ılıman bir indirgeyicidir. Mutlak etil alkol içinde stabil ve alkali çözeltilerde kararlı oluşu da bir diğer önemli özelliklerindedir. Çalışma şartları daha basit ve kolay olduğundan genellikle bazik özellik taşıyan çözücülerde kullanılmaktadır [20].

NaBH<sub>4</sub> ile metal iyonları arasında gerçekleşen reaksiyon aşağıda verilmektedir:



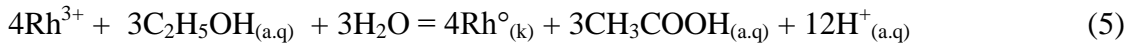
Rh iyonları ile olan reaksiyonunda Rh<sup>3+</sup> iyonlarını metalik Rh'a indirgerken kendisi bazik özellikli bor hidroksite veya metaborata ve hidrojen gazına parçalanmaktadır. Asidik ortamda gerçekleştirilen reaksiyon sonucu açığa çıkan bor hidroksit veya metaborat aynı zamanda çözeltinin de pH değerini bazik bölgeye taşımaktadır. Rodyum iyonları ile gerçekleşen reaksiyonlar ise şu şekilde verilmektedir:



Rh<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> atık banyo çözeltilerinden bor hidrür ile indirgeme işleminin kolaylıkla gerçekleşebileceği teorik bilgilerden anlaşılmaktadır. Bu çöktürme reaksiyonunda itici güç; bor hidrürün yükseltgenmesi ile rodyumun metalik hale geçerek indirgenmesi arasındaki potansiyel farkıdır.

### 2.1.2 Etil alkol

Etil alkol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH); alkol olarak bilinen organik bileşikler sınıfının en önemli üyesidir. Literatürde kromatla olan indirgeme ve yükseltgenme reaksiyonu haricinde indirgeyici ajan olarak kullanımı neredeyse hiç bilinmemektedir [21]. Etil alkol indirgeyici ajanı genellikle elektromotor kuvveti (EMF) değerleri düşük olan metal iyonlarını yüksek sıcaklıkta indirgeyebilmektedir. Bu işlem sırasında etil alkol en üst basamak olan karboksilik aside dönüşerek yükseltgenirken, ortamda bulunan metal iyonlarını indirgenmektedir.



Rh<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> atık banyo çözeltilerinden etil alkol ile indirgeme işlemi gerçekleştirilebileceği teorik bilgilerden anlaşılmaktadır. Bu çöktürme reaksiyonunda; etil alkol'ün yükseltgenmesi ile rodyumun metalik hale geçerek indirgenmesi arasındaki redoks reaksiyondur.

### 2.2 Rodyum bileşikleri

Bu bölümde rodyumun halojenler, oksijen, hidrojen ve diğer elementlerle yaptığı bileşikler verilmiştir. Rodyumun oksidasyon basamağı bileşiklerinde genellikle (+3)'tür [1,21,10].

#### Florürler

RhF<sub>3</sub>: Rodyum (III) florür

RhF<sub>4</sub>: Rodyum (IV) florür

RhF<sub>6</sub>: Rodyum (VI) florür

#### Klorürler

RhCl<sub>3</sub>: Rodyum (III) klorür

#### Bromürler

RhBr<sub>3</sub>: Rodyum (III) bromür

#### İyodürler

RhI<sub>3</sub>: Rodyum (III) iyodür

#### Oksitler

RhO<sub>2</sub>: Rodyum (IV) oksit

Rh<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Rodyum (III) oksit

**Sülfidler**

$\text{RhS}_2$ : Rodyum (IV) sülfid

$\text{Rh}_2\text{S}_3$ : Rodyum (III) sülfid

**Sülfatlar**

$\text{Rh}_2(\text{SO}_4)_3$ : Rodyum (III) sülfat

**Selenidler**

$\text{RhSe}_2$ : Rodyum (IV) selenid

**Tellürler**

$\text{RhTe}_2$ : Rodyum (IV) tellür

**Karboniller**

$\text{Rh}_2(\text{CO})_8$ : Rodyum (0) karbonil

$\text{Rh}_4(\text{CO})_{12}$ : Rodyum (0) karbonil

$\text{Rh}_6(\text{CO})_{16}$ : Rodyum (0) karbonil

### 3. KAPLAMACILIK YÖNTEMLERİ

Bir nesnenin (metal, plastik, polimer v.b.) üzerini istenilen bir metal ile kaplamak ve/veya sıvamak amacıyla yapılan işleme kaplama ve bu işlemin yapıldığı zanaata ise kaplamacılık adı verilmektedir. Kaplama yapımındaki temel amaç, malzemeyi korozyona karşı korumak ve güzel bir görünüm vermektir [22]. Örneğin, cıvata ve somun gibi küçük parçaların elektrolizle galvanizlenmesine yalnızca koruma amacıyla başvurulmaktadır. Ayrıca, metal yüzeye sertlik vermek ya da yüzeyi sürtünme, elektrik, manyetik ve ışık etkilerine karşı dayanıklı kılmak için de elektrolizle kaplama yönteminden yararlanılmaktadır. Süsleme ya da koruma nedeniyle yapılan kaplama kalınlıkları, genellikle 0,025 mm (25 mikron) civarındadır. Günümüzde en çok uygulama alanı bulan kaplama tekniği, elektrik akımı yardımıyla yapılan elektroliz işlemidir. Elektrik akımı yardımıyla, bir sıvı içinde çözülmüş kimyasal bileşiklerin ayrıştırılması işlemidir. Bu değişiklik, maddenin elektron vermesinden (yükseltgenme); ya da almasından (indirgenme) kaynaklanmaktadır [14]. Kaplamanın ana metale iyi yapışması için, iki metalin atomları arasında sıkı bir bağ olması gerekmektedir. Bu nedenle, ana metalin yüzeyinde, ısıl işlem ya da genel üretim sırasında oluşabilecek oksit tabakası, yağ ya da birikintiler bulunmamalıdır. Dolayısıyla kaplanacak parçalar, kaplamadan önce uygun biçimde hazırlanmalıdır. Oksit tabakası ya da pas söz konusuysa, seyreltik hidroklorik ya da sülfürik asitle muamele edilmesi gerekmektedir [6].

Elektrolizle kaplama çözeltisinin en önemli özelliklerinden biri, anottan farklı uzaklıklarda olan katot yüzeyleri üstünde, aynı kalınlıkta bir metal kaplama oluşturmasıdır (atım gücü). İyi bir atım gücü, karmaşık yapıya sahip bir parçanın iç yüzeylerinde de yeterli oranda bir kaplama kalınlığı sağlanmaktadır. Bu; özellikle, kaplanacak parçanın korozyona karşı korunması gereken durumlarda önemlidir. Yalın metal iyonunun, yüksüz bir molekülle birleşmesi sonucu oluşan birleşik metal iyonlu çözeltilerin atım gücü, genellikle yalın metal tuzlarının çözeltilerinden daha iyidir. Bu tür çözeltiler, ağır metaller ile bazı tuzların sudaki çözeltilerinden oluşmaktadır. İstenen özellikleri (parlaklık, sertlik, işlenebilirlik, düzgünlük, iç yüzeylerde yeterli kalınlık verici) sağlamak için bu çözeltilere çeşitli maddeler (genellikle organik bileşikler) katılmaktadır. Elektrolizle kaplanan başlıca alaşım, çeliktir. Ancak, demir içermeyen

metal ve alaşımlar da çeşitli türden metallerle kaplanmaktadır. Elektrokimyasal dizide manganın altında yer alan metallerin çoğu, kaplama çözeltileriyle başka metallerin üstüne kaplanabilmektedir. Elektrokimyasal ya da elektromotor dizi (EMF serisi), metallerin oksidasyon/redüksiyon potansiyellerini gösteren hiyerarşik dizilim listesidir. Bu listedeki bir metal iyon halindeyken kendisinden daha alta bulunan başka bir metal ile yer değiştirmektedir, yani kendisi metalik duruma indirgenirken o metal de elektron vermek suretiyle iyonik hale geçmektedir. Bu işleme semantasyon adı verilmektedir. Sodyum, potasyum ve lityum gibi çok aktif metaller su ile bile reaksiyona girerek hidrojen gazı açığa çıkarırlarken altın, platin, gümüş gibi soy metaller ise hidroklorik asit, sülfürik gibi kuvvetli asitler ile reaksiyon vermemektedir. Endüstride, elektroliz yoluyla kaplanan metaller genellikle krom ve nikeldir. Ancak kadmiyum, kobalt, bakır, altın, iridyum, demir, kurşun, paladyum, platin, rodyum, gümüş, kalay ve çinko da kullanılacak metaller arasındadır. Özel amaçlar için, iki ya da daha çok metal, alaşım kaplamaları biçiminde, aynı anda bu işlemde geçirilebilir. Mesela bakır-çinko (pirinç), bakır-kalay (bronz), kurşun-kalay, kurşun-kalay-bakır, kalay-nikel ve nikel-kobalt bu şekilde işlenebilmektedir [23].

### **3.1 Metal Kaplama İşlemleri**

#### **3.1.1 Püskürtme**

Toz veya tel halinde uygun metal veya metal alaşımları bir tabancada eritilerek kaplanacak yüzeye püskürtülür. Püskürtme yoluyla kaplamada en çok kullanılan iki metal, çinko ve alüminyumdur. Metal püskürtme daha çok sıvı tanklarının, çelik yapıların yerinde kaplanması için kullanılmaktadır.

#### **3.1.2 Sıcak daldırma**

Kaplanacak metalin yüzeyi, temizlendikten sonra erimiş haldeki metale daldırılarak difüzyon (yayınma) yoluyla kaplanması sağlanmaktadır. Bu amaçla kaplayıcı metal olarak çinko, kalay, kurşun ve alüminyum kullanılmaktadır. Çelik, sıvı çinkoya daldırılarak galvanize edilmektedir. Çinko yerine kalay da kullanılabilir. İnce demir saçlar kalaya daldırılarak teneke elde edilebilmektedir. İşlem sırasında yüzeylerin oksitlenmesini önlemek için uygun flakslar, hidrojen veya soy gazlar kullanılarak yüzeylerin hava ile teması kesilmektedir.



### **3.1.3 Sementasyon veya difüzyon**

Kaplanacak metal, kaplamada kullanılacak metalin tozu içine konularak ısıtılır. Ortamda oksitlenmeyi, hava ile teması önleyici maddeler, soy gazlar bulundurulur. Mesela bir metalin alüminyum difüzyonu ile kaplanması demek olan kalorisasyon işleminde metal parça, içinde alüminyum tozu bulunan bir döner tambur içerisine yerleştirilir. Demirin sementasyonunda sıcaklık 850°-950°C olur. Demirin, çinko ile bu yoldan kaplanmasına şerardizasyon (shererdization) denir. Krom ile kaplama yapılırsa buna kromizasyon denir.

### **3.1.4 Gaz kaplama**

Kaplama için kullanılacak metalin gaz halindeki bileşiği, genellikle metal karbonil, kaplanacak cisimde iken cisim ısıtılır. Sıcak yüzeyde gaz halindeki bileşikten metal atomu ayrılarak yüzeyde toplanır. Bu usulle daha çok nikel kaplama, bazen de krom ve demir kaplama yapılabilmektedir.

### **3.1.5 Vakumda yoğunlaştırma**

Bu metotla döküm metaller ve plastikler de metalle kaplanır. Kaplama için kullanılacak metal, vakumda tungsten ısıtıcı ile ısıtılarak buharlaştırılır. Kaplanacak parçanın yüzeyi, temizlenmiş, düzeltilmiş ve cilalanmış olarak metal buharı bulunan hücre içerisinde döndürülerek tutulmaktadır. Metal buharı soğuk parçanın yüzeyinde yoğunlaşmaktadır. Alüminyum, altın, gümüş ve buharlaştırılabilen diğer metaller bu amaçla kullanılmaktadır. Bu tür kaplamalar aşınmaya dayanıklı olmadığından, ayrıca bir lak ile kaplanmaktadır.

### **3.1.6 Kimyasal indirgeme**

Suda çözünen gümüş, altın ve bakır tuzlarının kuvvetli indirgeyici etkisi ile sulu ortamda indirgenmesi yoluyla cam (ayna yapımında olduğu gibi), plastikler ve metaller kaplanabilmektedir.

### **3.1.7 Kimyasal yer değiştirme**

Çeşitli maddelerin üzerleri, çözeltiden yer değiştirme yolu ile bakır, altın, gümüş ve kalay ile kaplanabilir. Kaplama kalınlığı çok incedir ( $2,5 \times 10^{-6}$  mm kadar).

### **3.1.8 Elektroliz**

Kaplanacak metal veya yüzeyi iletken hale getirilmiş plastik parça, kaplama için kullanılacak metalin tuzunun çözeltisi içerisinde katoda bağlanarak, metal katyonlarının, elektrik akımı geçirilerek kaplanacak yüzey üzerinde birikmesi ile gerçekleştirilir. Günümüzde rutenyum, rodyum, altın, gümüş, paladyum, platin, bakır, çinko, kadmiyum, kalay, kurşun, krom ve nikel sıklıkla kullanılan kaplama metallere aittir.

### **3.1.9 Konveksiyon (dönüştürme)**

Metal yüzey, yeni bir bileşiğe dönüştürülmesi yolu ile dış etkilere dayanıklı hale getirilebilmektedir. Yüzeyde kimyasal veya elektrolitik yoldan fosfat, oksit, kromat veya sülfür meydana getirilir. Fosfat kaplama daha çok demir, çelik, çinko ve alüminyuma; oksit kaplama alüminyum, bakır ve çeliğe; kromat kaplama çinkoya, kadmiyuma, alüminyuma, bakıra, gümüşe ve magnezyuma; sülfür kaplamalar bakır, bakır alaşımları ve gümüşe uygulanmaktadır.

## **3.2 Soy metallerin kaplama çözeltileri**

Çeşitli ev eşyaları, kapı kolları, otomobil tamponları ve jant kapakları gibi eşyaların dekoratif amaçlarla üzerlerine yapılan kaplamaların çoğunlukla parlak olması istenir. Geçmişte bu parlak kaplama, kaplamanın belirli aşamalarında mekanik cilalamayla gerçekleştiriliyordu. Ancak, her işlemden önce metalin yağdan temizlenmesini gerekli kıldığından, mekanik cilalama hem çok zaman almakta hem de pahalıya mal olmaktadır [6]. Bu nedenle, ayna gibi parlak bir yüzey bırakacak biçimde metal kaplama gittikçe çok kullanılmaktadır.

### **3.2.1 Gümüş kaplama**

Gümüş dekoratif amaçlar için en yaygın kullanıma sahip metallerden biri olmakla birlikte, paslanmaması ve yemeklere tadını vermemesinden dolayı çatal-bıçak ve yemek takımlarında kullanılan standart metaldir. Elektrikli kaplanan gümüş, uçak rulmanlarında, sayısız radarın ve elektronik parçaların kaplanmasında kullanılmaktadır. Gümüş kaplama ayrıca, yansıtma amaçlı olarak da yapılır. Gümüş, çeşitli gümüş tuzları ve ilave bileşikler içeren birkaç banyo kullanılarak kaplanırken, ticari amaçlı kullanılan gümüş kaplama banyoları sadece siyanür banyolarıdır. Gümüş kaplama için

kullanılabilecek bileşikler verebilecek birkaç tane daha gümüş tuzu varsa da, bugüne kadar bunların hiçbiri kendilerini ticari olarak kanıtlayamamışlardır.

### **3.2.2 Altın kaplama**

Geçmişte altın, çoğunlukla dekoratif amaçlı kaplama metali olarak kullanılmıştır. Zira diğer metallerle asla karşılaştırılmayacak ölçüde estetik ve zengin bir renk skalasına sahiptir. Daha çok mücevherata, taklit takılar, yenilikçi ürünler ve benzeri nesnelere son kaplama olarak kullanılmaktadır. Günümüzde altın, süsleme amaçlarından çok, sınaî amaçlar doğrultusunda kaplama için kullanılır duruma gelmiştir. Bazı radar teçhizatında, elektrik kontaklarında, elektronik sanayi ve uzay teknolojisinde altın, kararma ve donuklaşma direnci, kolaylıkla lehimlenebilirliği, yüksek elektriksel iletkenliği ve kızılötesi (sıcaklık) yansıtıcı karakteristikleri sebebiyle giderek daha da yaygınlaşan bir kullanım alanı bulmaktadır.

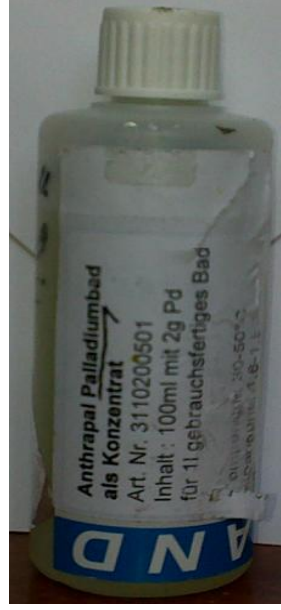
Altın kaplama işlemi için kullanılmaya elverişli pek çok altın kaplama banyosu bulunmasına rağmen altın siyanür tuzları en çok tercih edilenidir. Altın alaşımı kullanılarak cazip renkler elde etmek mümkündür. Mesela gümüşle birlikte kaplandığında yeşil renk, bakırla pembe renk ve nikelle beyaz altın elde edilmektedir. Altının pahalı olmasından dolayı, genellikle siyanür bazlı seyreltik çözeltileri kullanılmaktadır. Kalın altın kaplamalar için, derişik altın siyanür çözeltileri kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de ticari altın kaplama çözeltileri verilmiştir.



Şekil 3.1 : Ticari Altın kaplama çözeltileri.

### 3.2.3 Paladyum kaplama

İkinci Dünya Savaşı öncesinde paladyum, kaplama olarak çok yaygın kullanılmıyordu. Çünkü beyaz metal olmasına rağmen bu beyazlık gümüşün ya da rodyumunkine yakın bile değildir. Dahası, havada kararmamasına rağmen bazı asitler tarafından bozulmaya karşı hassastır. Savaş boyunca, nikel ve rodyum çok az bulunur olduğundan, paladyum kaplama yeni bir dal olarak kuyumculukta altın kaplama öncesinde ve bazı durumlarda rodyum kaplama öncesinde astar olarak kullanıma girdi. Savaştan sonra nikel ve rodyumun tekrar üretilmesi sonucu paladyum kaplama sahneden çekildi. Son yıllarda, baskı devre kartlarında lehimin gerekli olduğu yerlerde üstteki altın kaplama ile alttaki ana metal (genellikle bakır) arasındaki difüzyonu engellemek için ara tabaka olarak denenmiştir. Nikel kaplamanın ara tabaka olarak daha uygun ve ucuz olduğu görülmüştür. Şekil 3.2’de ticari paladyum siyanür banyosu verilmiştir.



Şekil 3.2 : Ticari Paladyum siyanür banyosu.

### 3.2.4 Platin kaplama

Platin, kaplama metali olarak küçük ölçüde kuyumculukta ve oldukça yaygın olarak da kimyasal donanımların korunması amacıyla kullanılmaktadır. Günümüzde elektriksel temas noktalarının ve aşındırıcı elektrolitlerin içine konulduğunda erimemeleri için anotların kaplanmasında önerilmekte ve kullanılmaktaysa da, platinin kullanımı oldukça sınırlıdır. Bazı kaplama çözeltilerinde anot malzemesi olarak platinize edilmiş yani üzeri platin ile kaplanmış titanyum kullanılmaktadır. Bunun başlıca sebebi titanyumun fiyatının platine nazaran çok ucuz olmasıdır.

### 3.2.5 Rodyum kaplama

Rodyum beyaz renkte, parlak sonlandırılabilir özellikli olan bir metaldir. Tüm literatürlerde zor aşınan bir metal olarak bilinmektedir. İletkenliği platinden ve paladyumdan daha iyi olmasına rağmen gümüşün 3'te biri kadardır. Rodyum ticari amaçla 1930'larda beyaz altının üzerine uygulanan flaş (kısa süreli) rodyum kaplamanın numunenin kararmasını önlediği ortaya çıktığında kaplanmaya başlanmıştır.

Kullanım alanları zamanla genişleyerek günümüzde kostüm süslemeciliğinde, som altın kuyumculuğunda ve hatta elmaslar üzerine yerleştirildiğinde daha yansıtıcı bir görüntü verdiği için yansıtıcı kaplama olarak yaygınlaşmıştır (Şekil 3.3). Rodyum ayrıca uzun süre aynı yüksek yansıtma özelliğini sürdürdüğü için, ayna ve ışıkdaklardan reflektör

kaplamaya kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Gümüşün %90 ya da daha fazla orandaki yansıtıcı özelliğiyle karşılaştırıldığında %84 oranında yansıtma oranına sahip olmasına karşın, gümüşün aşamalı olarak kararması ve yansıtıcı özelliğini kaybetmesi rodyum kullanımını gerekli kılmaktadır [2].

Rodyumun son 20 yılda öne çıkan bir başka geniş çaplı kullanımı da özellikle, iyi iletken özelliği, kararma yapmaması ve yüksek ergime noktasına sahip olmasından dolayı baskı devre üzerindeki elektriksel kontak yerlerinin kaplanmasıdır [14].



**Şekil 3.3 :** Ticari Rodyum kaplama banyo çözeltileri.

Yukarıdaki şekilden görüleceği üzere günümüzde birçok firma rodyum kaplama çözeltileri hazırlayıp satmaktadır. Rodyum platin ailesinden metallerin en pahalısı olmasına rağmen, özellikle 1 cm<sup>2</sup> yüzeyin nano kalınlıkta kaplanması sadece birkaç cent'e mal olacak kadar ince olabilen parlak (flaş) kaplamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Altın alaşımları, gümüş, platin ve paladyum hariç diğer bütün metallerde parlak nikel ya da cilalanmış nikel astar kaplanmış olmalıdır [6].

Rodyum, klorür ve nitrat gibi basit tuzlarla kaplanabilmesine rağmen, bu tip banyolardan elde edilen kaplama pürüzlü ve süngerimsi olduğu için tatmin edici değildir ve parlaklığı düşüktür. Rodyum kaplama günümüzde çoğunlukla rodyum kaplama konsantreleri olarak satılan rodyum fosfat ve rodyum sülfat bileşikleriyle yapılmaktadır [2,3,6].

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında, gerekli hammadde, reaktif ve teçhizat temin edilmiş, deneyler sırasında kullanılan malzemeler, cihazlar ve aletler, deneylerin yapılışı ve analiz yöntemleri ile ilgili deney parametreleri detayları ile aşağıda verilmektedir. Deneylere başlamadan önce laboratuvar güvenlik şartları kontrol edilmiş gerekli eksiklikler giderilmiştir. Daha sonra deney setleri tasarlanmış, her bir deney seti sonunda sonuçlar kontrol edilmiş ve bir sonraki deney seti için gerekli eklemeler ve/veya çıkartmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda, ticari bir değeri olan atık rodyum kaplama çözeltileri kullanılmıştır. Atık rodyum sülfat banyo çözeltileri (Modern Metod Ayar Evi ve Savaş Cila katkılarıyla) Şekil-5'den görüleceği üzere temin edilmiştir.



**Şekil 4.1** : Temin edilen atık rodyum kaplama çözeltileri ve filtreleme işlemi.

Atık kaplama çözeltileri homojen olarak karıştırıldıktan sonra Marmara Üniversitesi Metalurji-Malzeme Mühendisliği laboratuvarında 20 litrelik bidonlarda depolanmıştır. Deneylerde kullanılacak çözeltinin bileşimi (mg/L) cinsinden Tablo 4.1'de verilmiştir.

**Tablo 4.1 :** Atık rodyum kaplama çözeltisinin bileşimi.

<b>Elementler</b>	<b>Konsantrasyon (mg/L)</b>
Rh	527,8
Co	0,106
Ni	0,33
Cu	0,86
Zn	1,46
Sr	0,24
Pb	N\A*
Mg	4,43
Al	1,25
Si	159,57
Ca	32,61
Mn	0,029
Fe	1,40
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	36745
Çözeltinin pH değeri	0,80
*Tayin edilemedi.	

#### 4.1 DeneYlerinin Yapılışı

Rodyum geri kazanım deneylerinde, sodyum bor hidrür (NaBH<sub>4</sub>) ve etil alkol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) çöktürücü ajanları kullanılmıştır. Deney tartımları Mettler Toledo marka PG503-S model terazide, deneyler ise Kerman TSBSC 28 marka sıcaklık kontrollü çalkalamalı su banyosunda gerçekleştirilmiştir. Numunelerin, analiz verilerinin sağlıklı değerlendirilmesi ve deney hatasının gözlenebilmesi açısından numuneler şahitli bir şekilde (aynı numuneden iki tane hazırlanıp sonucun kıyaslanması ve ortalamalarının alınması) plastik falkon tüpler kullanılarak hazırlanmıştır. Şahit numunelerden elde edilen sonuçlar birbirinden çok farklı ise ilgili deney tekrar edilmiş, benzer sonuçlar alınmış ise ortalamaları kullanılmıştır. Ortam koşullarının kontrolünün sağlanması için çalkalamalı banyoya numunelerin yerleştirilmesinden sonra belirlenen parametrelere göre çöktürme deneyleri yürütülmüş, çalkalamalı banyo işleminden sonra katı-sıvı ayırımı yapılan numunelerin; pH ölçümleri WTI 350 pH metre ile rodyum iyon konsantrasyonları ise Analytic Jena Contra A300 Atomik absorpsiyon spektrometresi ile tespit edilmiştir.

Yüzde geri kazanım verimleri aşağıda verilen formülle hesaplanmıştır:

$$\% \text{ Geri kazanım verimi} = ((C_o - C_i) / C_o) * 100 \quad (1)$$



Burada;  $C_0$  başlangıç rodyum iyon konsantrasyonu,  $C_t$  ise deney sonrası çözeltide kalan rodyum iyon konsantrasyonunu ifade etmektedir.

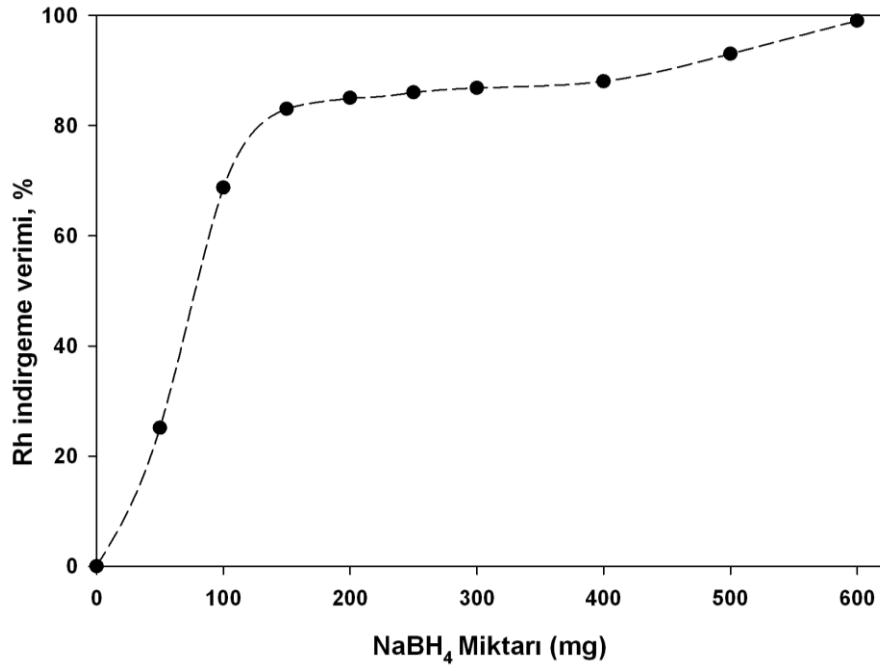
Deney parametreleri olarak, süre, sıcaklık ve indirgeyici ajan miktarı seçilmiştir. Atık çözelti içerisinde bulunan katyonlar arasında Rh (III) diğer metallere göre daha soy olduğu bilinmektedir. Bu sebepten dolayı en iyi koşulların belirlenmesinde Rh'un çöktürülme (indirgeme) verimi optimize edilmiştir. Deney parametrelerinde rutin olarak rodyum iyon konsantrasyonları takip edilmiş, elde edilen optimum şartlarda üretilen rodyum metali çeşitli yöntemlerle karakterize edilmiştir.

## **4.2 Bulgular ve Tartışma**

Malzeme ve yöntem bölümünde belirtilen prosedür tüm deney serilerinde farklı sıcaklık ve değişen çöktürücü miktarlarında tekrarlı olarak uygulanmış ve bu değerlerin ortalamaları alınarak ilgili tablolar ve grafikler oluşturulmuştur.

### **4.2.1 Sodyum bor hidrür indirgeyici miktarının etkisi**

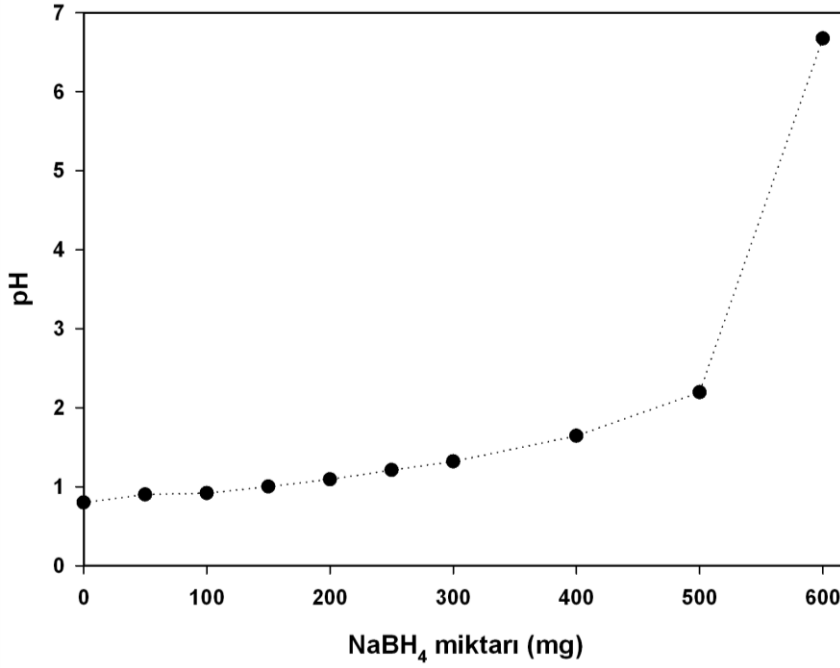
Bu deney serisinde; Rh (III) iyonlarının sülfatlı ortamda oda sıcaklığında ( $25^{\circ}\text{C}$ ) çeşitli miktarlardaki sodyum bor hidrür indirgeyici ajanı ile (50-600 mg) indirgeme gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığında elde edilen deney sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir.



**Şekil 4.2 :** NaBH<sub>4</sub> miktarının rodyumun indirgeme yüzdesine etkisi.  
(25 mL, 25°C, 100 devir/dak., 60 dak.).

Bir saat süreyle yapılan indirgeme işlemlerinden elde edilen verilerden, artan indirgeyici ajan miktarı ile indirgeme veriminde de bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Ortamda bulunan Rh iyonlarına göre çok daha fazla çöktürücü ajan kullanılması termodinamik açıdan mümkün olan reaksiyonu kinetik olarak da hızlandırmaktadır. Normal şartlarda stokiometrik miktarda çöktürücü çözeltide bulunan tüm Rh iyonlarının tamamını çöktürülmesi beklenmektedir, fakat çöktürme süresi tamamen kinetik faktörlere bağlıdır; ayrıca indirgeyici ajanın bir kısmı asit tarafından da tüketilmektedir. NaBH<sub>4</sub> miktarının artırılması, ortamda bulunan Rh iyonları ile temas etme şansını artırarak çok hızlı ve yüksek bir verim ile çökmeye sebep olmaktadır [12].

Şekil 4.3'de artan indirgeyici ajan miktarı ile pH değişimi yer almaktadır. Grafikten de görüldüğü üzere sodyum bor hidrür miktarındaki artışla birlikte çözeltinin pH değeri yükselmektedir. Ortamda bulunan serbest sülfürik asit tarafından tüketilen bor hidrür çözeltinin pH değerini, asidik bölgeden bazik bölgeye doğru taşıma eğilimindedir.

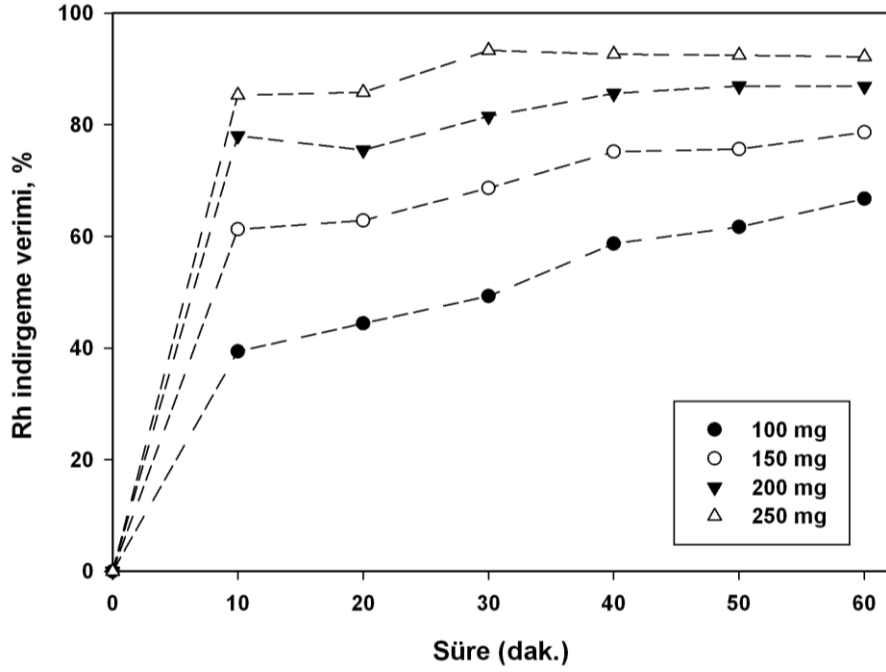


**Şekil 4.3 :** NaBH<sub>4</sub> miktarına karşı değişen pH değerleri.  
(25 mL, 25°C, 100 devir/dak., 60 dak.).

Artan sodyum bor hidrür miktarı ile çözelti içerisinde oluşan metaborat veya bor hidroksit çözeltinin pH değerini 1 den 7'e yükseltmektedir. Dolayısıyla açıkça görülmektedir ki, rodyumu redüklemenin yanı sıra sodyum bor hidrürün önemli bir kısmı serbest asiti nötralize etmede harcanmıştır. Asiliği fazla olan çözeltilerin önce önce pH ayarlanması yapıp ardından redüklenme işleminin yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

#### **4.2.2 Sodyum bor hidrür ile indirgemedeki sürenin etkisi**

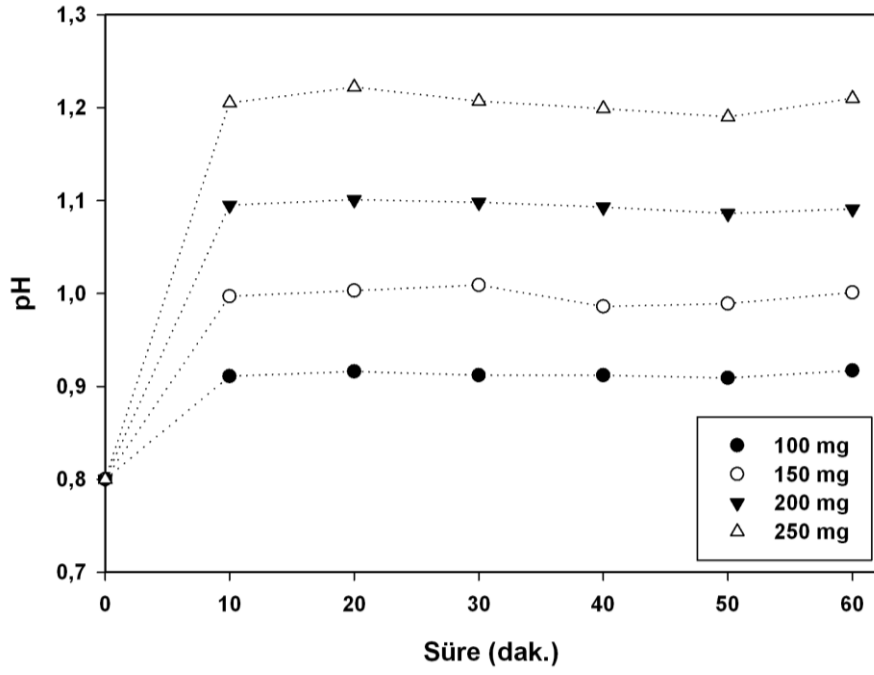
Bu deney serisinde, reaksiyon süresinin rodyum indirgeme yüzdesine etkisi incelenmiştir. Rh iyonları sabit sıcaklıkta, 25 mL rodyum çözeltisinin 100 devir/dak da çalkalanmasını kapsayan deney grubunda, süre ve değişen sodyum bor hidrür miktarına bağlı olarak indirgeme verimi Şekil 4.4'de incelenmiştir.



**Şekil 4.4 :** Değişen süre ve NaBH<sub>4</sub> miktarının rodyum indirgeme verimine etkisi. (25 mL, 25°C, 100 devir/dak.)

100 mg indirgeyici ile 10 dakikada Rh indirgeme verimi % 40 civarında elde edilirken reaksiyon süresi 60 dakikaya çıkarıldığında Rh indirgeme verimi % 60 üzerine çıkmaktadır. Şekilden de görüleceği üzere indirgeyici miktarının artışı ile reaksiyon süresi arasında ters bir etki olduğu tespit edilmiştir. 250 mg indirgeyici kullanıldığında 10 ile 60 dakika reaksiyon sürelerinde verim sadece % 5 civarında değişmektedir. Sürenin az miktarda indirgeyici kullanımlarında daha etkili bir parametre olduğu görülmüştür. Ayrıca, NaBH<sub>4</sub>'ün çözeltiliye ilave edilmesi ile reaksiyon hemen gerçekleşmekte, fakat anlık gerçekleşen bu reaksiyonun dengeye ulaşması biraz zaman almaktadır. Bu sürenin yaklaşık olarak eklenen indirgeyici miktarına da bağlı olarak 40 dakika ve üzerinde dengeye ulaştığı ilgili şekilden anlaşılmaktadır [12,13].

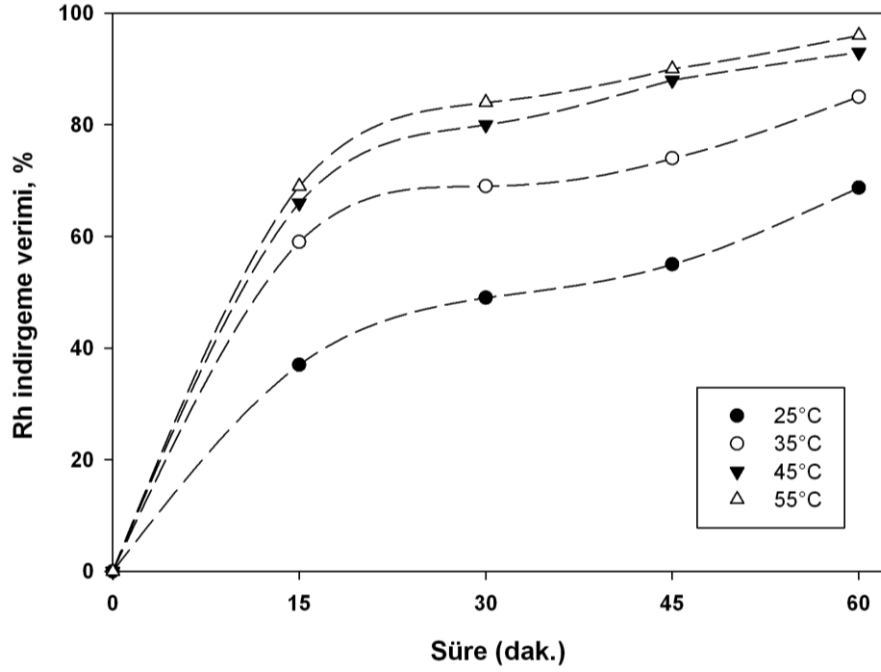
Şekil 4.5'de değişen süre ve NaBH<sub>4</sub> miktarın çözeltinin pH değeri üzerine olan etkisi verilmiştir. İndirgeyicinin çözeltiliye eklenmesi ile ulaşılan pH değerinin 10 dakikadan sonra önemli bir değişiklik göstermediği gözlenmiştir.



Şekil 4.5 : Değişen süre ve NaBH<sub>4</sub> miktarının pH değişimine etkisi.  
(25 mL, 25°C, 100 devir/dak.)

#### 4.2.3 Sodyum bor hidrür ile indirgemedeki sıcaklığın etkisi

Reaksiyon sıcaklığının Rh indirgeme verimine etkisini incelemek amacıyla 25-55°C sıcaklıkları arasında deneyler yapılmıştır. Şekil 4.6'dan görüleceği üzere reaksiyon sıcaklığının artışı Rh indirgeme verimi üzerinde olumlu bir etkisi olduğu ispatlanmıştır.

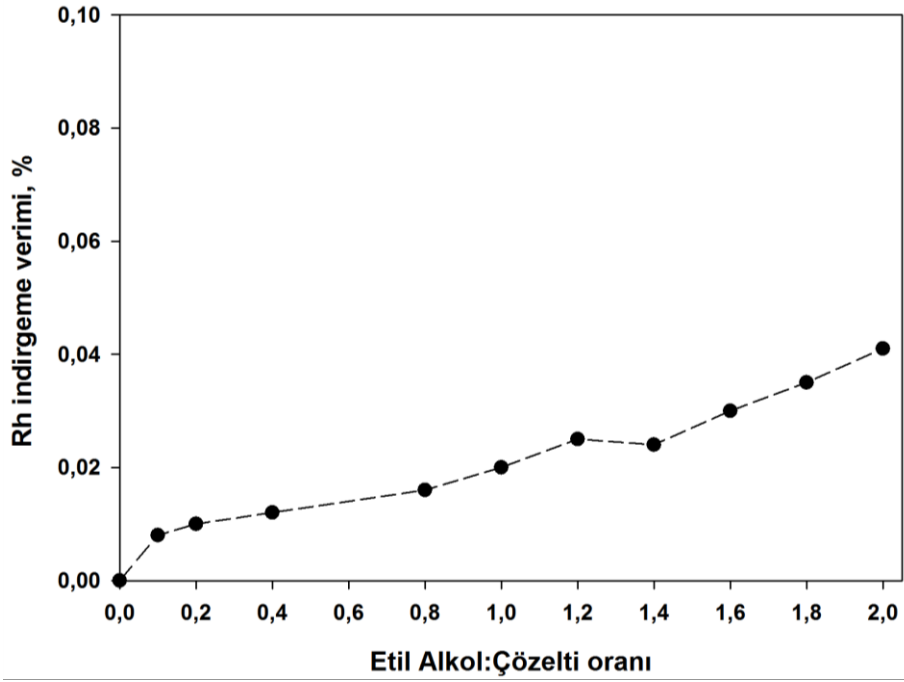


**Şekil 4.6 :** Süreye bağlı olarak reaksiyon sıcaklığının rodyum indirgeme verimine etkisi. (25 mL, 100 devir/dak., 100 mg NaBH<sub>4</sub>)

Genel olarak termodinamik olarak kendiliğinden gerçekleşen reaksiyonlarda sıcaklığın olumlu etkisi gözlemlenmektedir. Sıcaklığın olumlu etkisinin daha belirgin olduğunu gösterebilmek için indirgeyici miktarı 100 mg seçilmiştir. Oda sıcaklığında 60 dakika reaksiyon süresinde % 60 civarında verim elde edilirken sıcaklığın sadece 10°C arttırılması ile benzer verim 15 dakikada elde edilebilmektedir. Artan sıcaklık ile azalan reaksiyon süresi doğru orantılı olarak değişim arz etmektedir [13]. Şekilden görüleceği üzere sıcaklığın 25°C den 55°C ye yükseltilmesi ile 60 dakikada 100 mg indirgeyici ile verim %90 ve üzerinde elde edilmektedir.

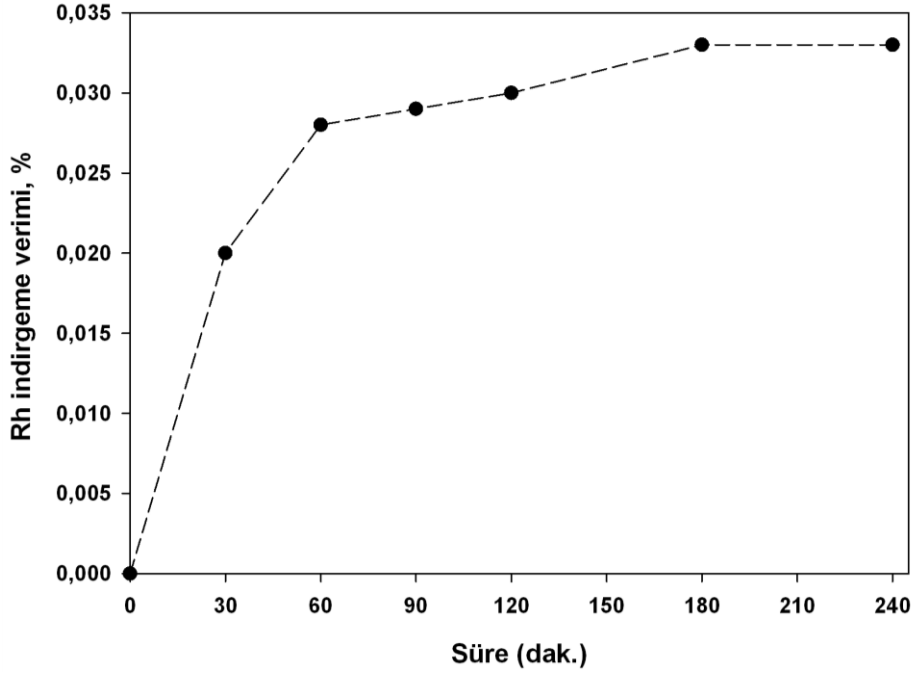
#### 4.2.4 Etil alkol indirgeyici miktarının ve reaksiyon süresinin etkisi

Bu deney serisinde Rh iyonlarının sülfatlı ortamda oda sıcaklığında (25°C) çeşitli miktarlardaki (2,5-50 mL) etil alkol ile indirgenmesi gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığında elde edilen deney sonuçları Şekil 4.7’de verilmiştir.



**Şekil 4.7 :** Etil alkol miktarının rodyumun geri kazanım verimine etkisi.  
(25 mL, 25°C, 100 devir/dak., 60 dk.)

Bir saat süreyle yapılan indirgeme işlemlerinden elde edilen verilerden, artan etil alkol çözeltisi miktarı ile rodyum geri kazanım veriminde de kayda değer bir artış olmadığı gözlemlenmiştir. Deney süresinin etkisini incelemek amacıyla 30-240 dakika arasında deneyler gerçekleştirilmiştir. Rodyum iyonları oda sıcaklığında, 1:5 Etil alkol: çözelti oranında (5 mL etil alkol-25 mL atık çözelti), 100 devir/dak. çalkalama hızında yürütülen deney serisinde, sürenin geri kazanım verimine etkisi Şekil 4.8’de verilmiştir.



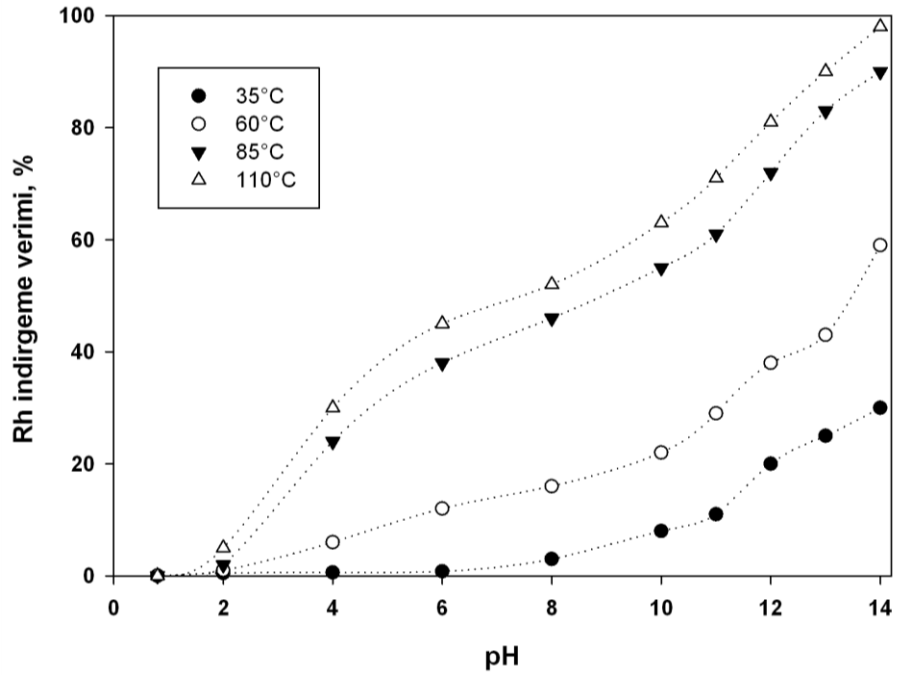
**Şekil 4.8 :** Sürenin rodyumun geri kazanım verimine etkisi.  
(Etil alkol:Çöz. Oranı: 1:5, 25°C,100 devir/dak.)

İndirgeme deneylerinde sürenin bu şartlar altında önemli bir parametre olmadığı anlaşılmıştır. Asidik ortamda etil alkol ile indirgemedede başarılı bir sonuç alınamadığı için çözeltinin pH değeri bazik bölgeye taşınarak reaksiyon kinetiğinin artırılması yoluna gidilmiştir.

#### **4.2.5 Etil alkol indirgeyicisinde pH ve sıcaklığın etkisi**

Etil alkol ile çöktürmenin en önemli parametreleri olan pH ve sıcaklık, bu deney grubunda rodyum geri kazanımına etkisi yönünden incelenmiştir. Bu amaçla çözeltinin değişen pH değerlerine karşı 35°C, 60°C, 85°C ve 110°C sıcaklık deneyleri yapılmıştır. İlgili grafik Şekil 4.9'da verilmiştir.





**Şekil 4.9 :** Çözelti pH değerlerinin farklı sıcaklıklarda rodyum geri kazanım verimine etkisi. (25 mL, 1:5 Eth:Çöz. oranı 100 devir/dak., 60 dk.)

Yukarıdaki grafikten de anlaşılacağı üzere çözeltinin pH'sini sadece bazık yaparak yüksek verimle çöktürme yapmak mümkün değildir, aynı zamanda reaksiyon sıcaklığının da çöktürmede çok önemli bir parametre olduğu anlaşılmaktadır. pH=14'te, 60°C'de %50 geri kazanım verimi elde edilirken aynı verim 85°C'de pH=11 civarında elde edilmektedir. Çözeltinin pH değerinin hafif asidik veya nötral bölgeye taşınması ile Rh indirgeme verimleri artmaktadır. Verimin artışındaki önemli parametre olan çözelti pH'si olduğu kadar sıcaklığın da önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Bu prosesten elde edilen verilere göre optimum çökme verimi (% 99) pH=14'de 110°C sıcaklığında, 60 dakika reaksiyon süresinde 5:1 etil alkol:çözelti oranı kullanıldığında elde edilmektedir.

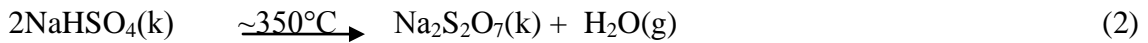
#### 4.2.6 Üretilen tozların karakterizasyonu

Çöktürme deneyleri sonucu elde edilen Rh siyahının kimyasal analiz sonucu Tablo 2'de verilmiştir.

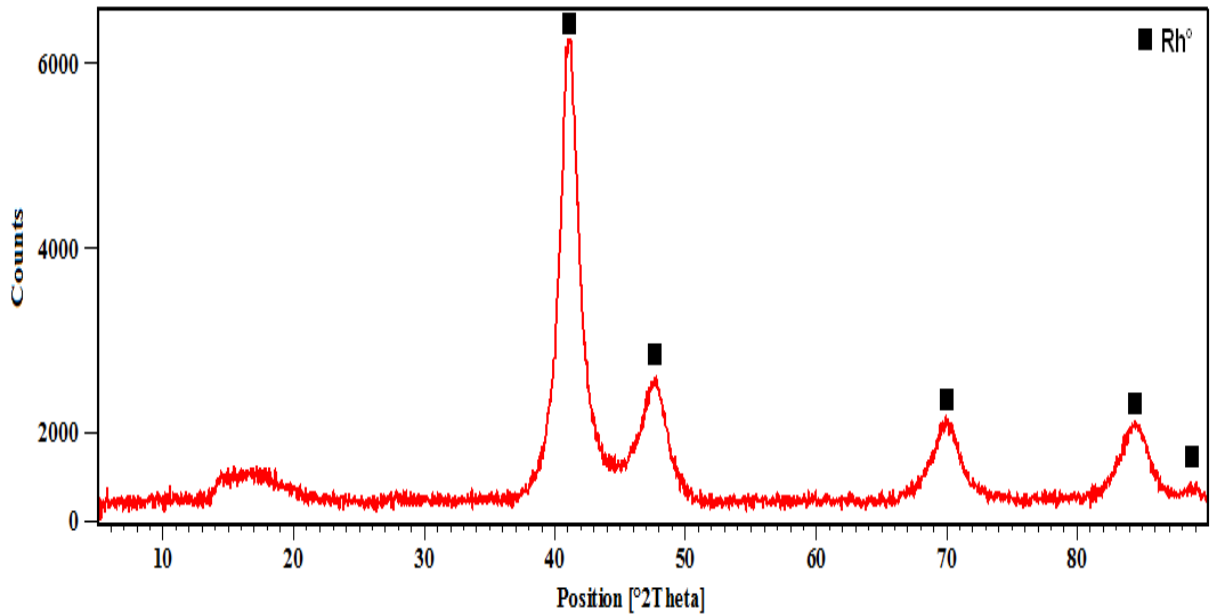
**Tablo 4.2 :** Çöktürme sonrası elde edilen Rh siyahının kimyasal analizi

%	NaBH <sub>4</sub> çöktürme ürünü	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH çöktürme ürünü
Rh	99,95±0,08	99,93±0,09

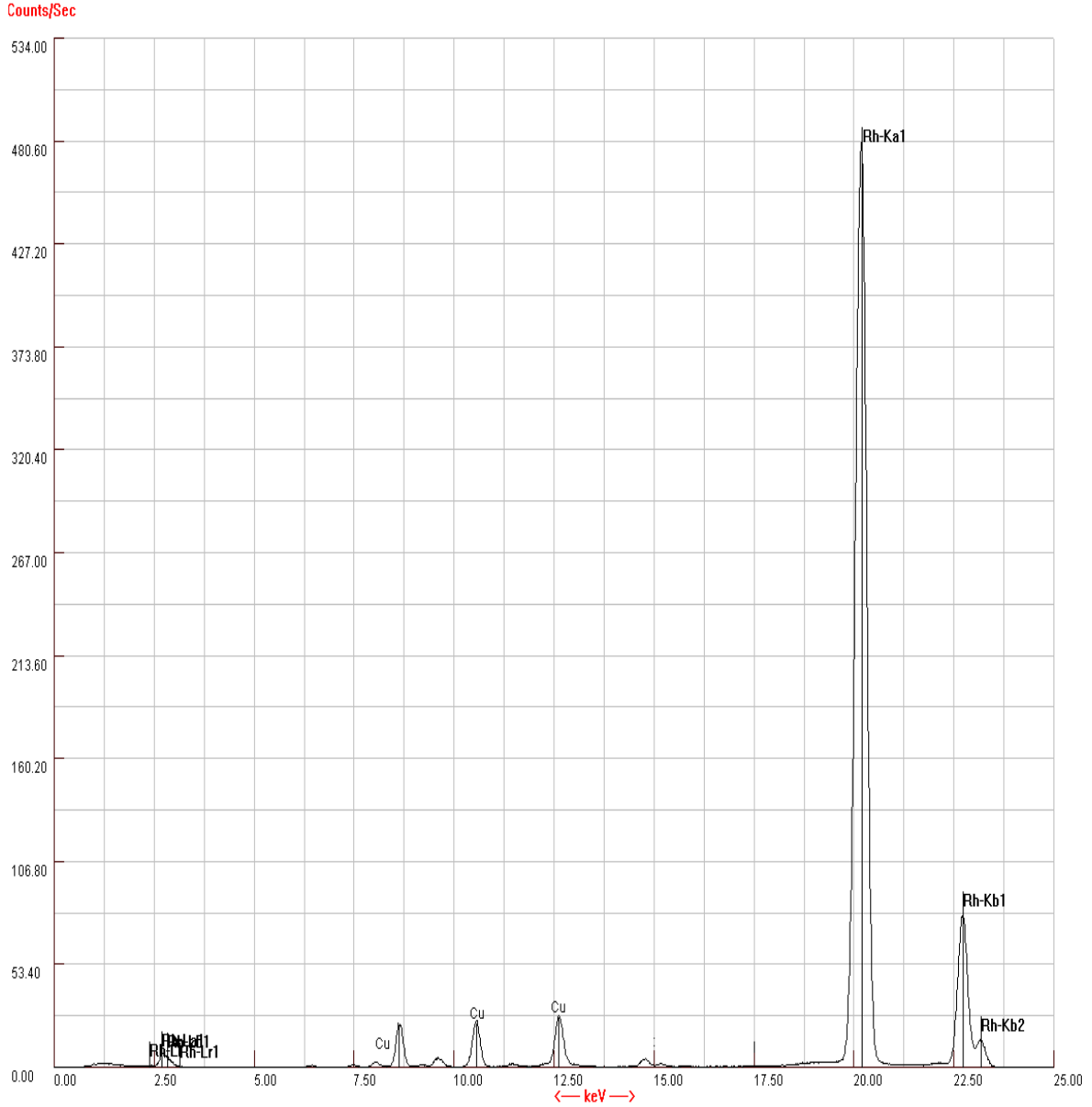
Deneysel sonucu elde edilen iki farklı Rh siyahı kuvars kroze içerisinde 1/40 oranında KHSO<sub>4</sub> ile ilk önce 350°C de 30 dakika daha sonra 650°C de 1 saat eritiş işlemi uygulanmıştır. Eritiş işlemi sırasında gerçekleşen reaksiyon aşağıda verilmiştir [2].



Fırından çıkarılan kuvars kroze oda sıcaklığına soğutulduktan sonra eritiş katısı sıcak su ile çözeltiye alınmış ve AAS cihazı ile Rh iyon konsantrasyonu tespit edilmiştir. Ayrıca elde edilen Rh siyahının X-ışınları difraktometresi (XRD) ve X-ışınları floresans (XRF) cihazları da kullanılarak karakterize edilmiştir. Şekil 4.10'da rodyum siyahının XRD ve Şekil 4.11'de XRF paterni verilmiştir.

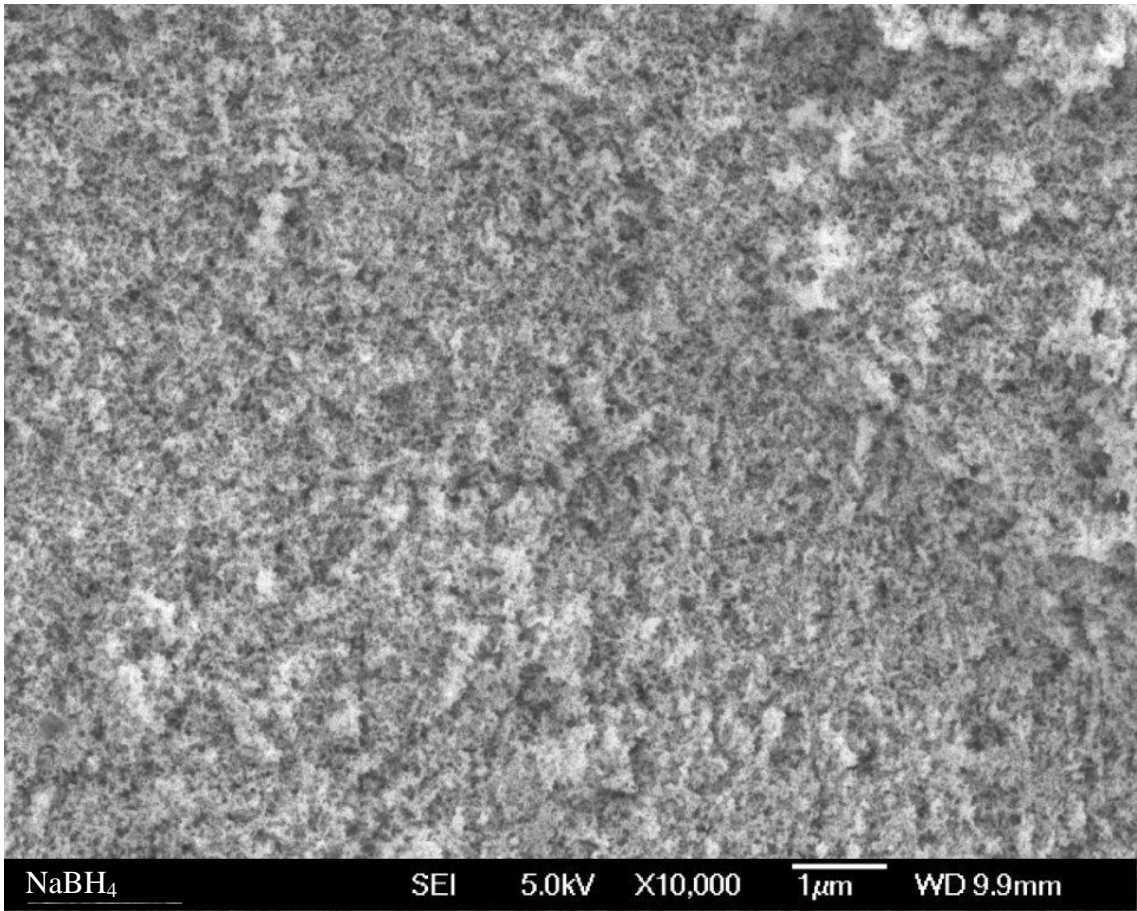


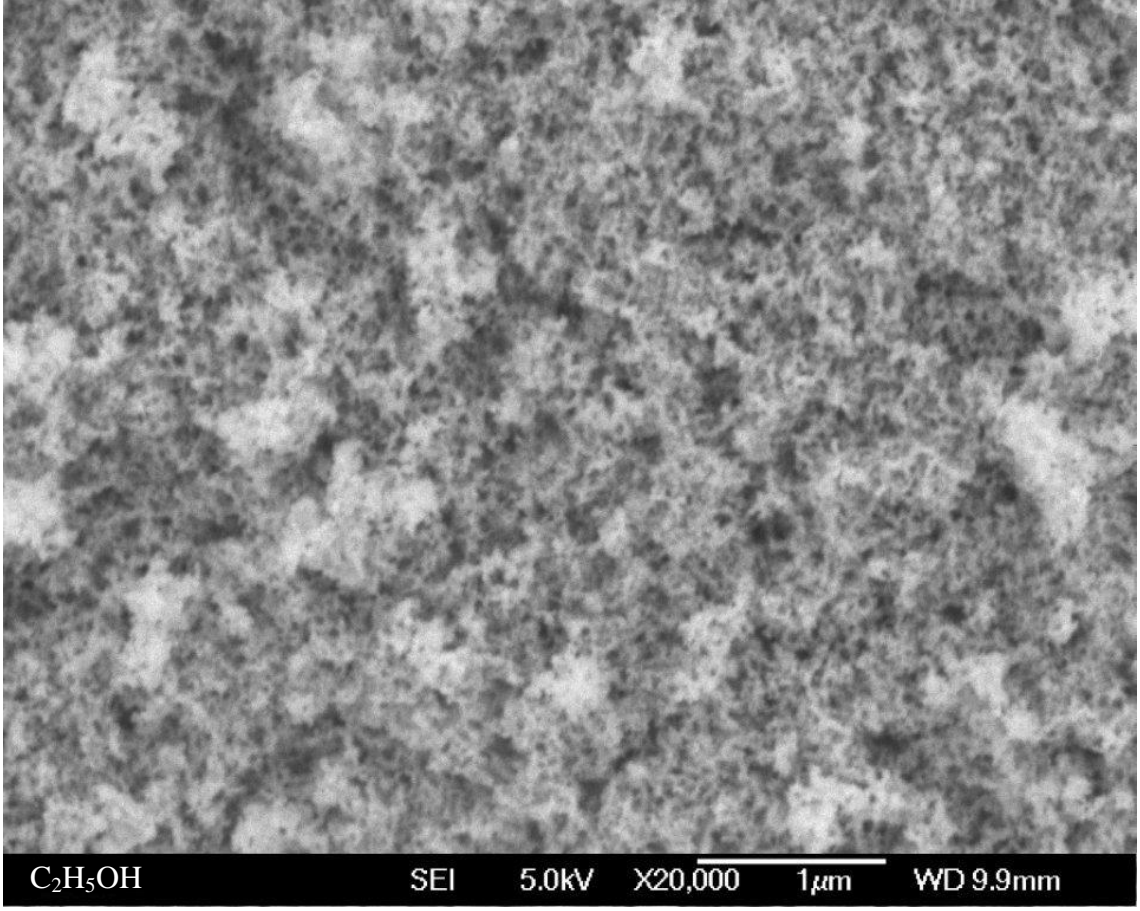
**Şekil 4.10 :** Rodyum siyahının XRD paterni.



**Şekil 4.11 :** Rodyum siyahının XRF paterni.

Elde edilen rodyum siyahının morfolojik yapısı taramalı elektron mikroskopu (SEM) yardımıyla tespit edilmiştir. Rodyum siyahının SEM görüntüsü Şekil 4.12’de verilmiştir. Metalik Rh tozuna ait SEM görüntüsünde partiküller birbirlerinde ayrı olmamakla birlikte iç içe geçmiş dendritik yumaklar halinde görülmektedir. Bu yumaklaşmanın sebebi partiküller arasındaki manyetik ve van der waals kuvvetlerinden kaynaklandığı literatürde verilen çalışmalarla uyuşmaktadır [24].





Şekil 4.12 : Rodyum siyahının Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüsü.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gün geçtikçe dünya genelinde azalan yeryüzü kaynaklarına karşın artan talebin karşılanabilmesi için atıkların değerlendirilmesi ve geri kazanımı zorunluluk haline gelmiştir. Bu çalışmada, litrede yaklaşık olarak 0,527 gr rodyum (527 ppm  $Rh^{3+}$ ) içeren atık kaplama çözeltilerinden hidrometalurjik yöntemlerle geri kazanım şartları araştırılmıştır. Çalışmada Rh atık banyolarından Rh geri kazanımına etki eden parametrelerin etkisi araştırılmış ve deneyler sonucunda elde edilen Rh siyahı karakterize edilmiştir. Kimyasal indirgeme işlemi, sodyum bor hidrür ve etil alkol kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bilimsel literatürde geri kazanım teknikleri arasında çok az yer bulan etil alkol ile çöktürme metodu uygulanmıştır. Bulunan sonuçlara göre ise sodyum bor hidrür ile çöktürmede sıcaklığın çok önemli olduğu ve stokiometrik miktarın biraz fazlasında, 55°C'de Rh geri kazanım verimi % 99 ve üzerinde gerçekleşmektedir. Diğer taraftan, etil alkol ile çöktürme işleminde çözeltinin pH değerinin ve sıcaklığın çok önemli bir parametre olduğu belirlenmiş ve yüksek pH değerlerinde (pH = 14 civarı) ve yaklaşık 100°C üzerinde % 99 ve üzerinde çöktürme verimi elde edilmiştir. Termodinamik olarak bir reaksiyonun olup olmayacağını bilmesi pratikte çok büyük bir önem arz etmemektedir. Uygulama açısından kinetiğinin bilinmesi daha önemlidir. Termodinamik olarak etanol ya da etil alkol rodyumu çöktürmektedir, ama oda sıcaklığında ve asidik ortamda yapılan deneylerde neredeyse hiç çökme gözlenmemiştir. Bu nedenle çözeltinin pH seviyesi bazik bölgeye taşınmıştır ki, rodyumun amfoter karakterli bir metal olmasından yani hem asidik hem de bazik bölgede çözünebilen bir metal olması özelliğinden yararlanılarak çöktürme deneyleri tekrarlanmıştır. Bazik bölgede dahi istenilen verimler elde edilememiştir. Bu aşamadan sonra kinetiği hızlandırmak amacıyla sıcaklık uygulanmıştır. Yapılan pH ayarlaması ve yüksek sıcaklık (110°C) sonucunda %99'un üzerinde bir verimle çöktürme başarıyla sağlanmıştır.

Çöktürme deneylerinden sonra elde edilen Rh siyahları XRD, XRF ve SEM cihazları ile karakterize edilmiştir. Ayrıca,  $KHSO_4$  eritisi ile çözeltiye alınan Rh siyahı spektroskopik yöntemle analiz edilerek Rh içeriği belirlenmiştir. Etil alkol ve sodyum bor hidrür ile çöktürülerek elde edilen Rh siyahının analiz sonuçları ürünün %99+

saflıkta olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, deney sonuçlarının bilimsel literatüre de büyük katkısı olacağı ümit edilmektedir.





## KAYNAKLAR

- [1] Amstrong, C.J., Copphin R.G., *Radiochemistry of Rhodium*, United States Atomic Energy Commission press, (1965).
- [2] Aktas, S. (2011). Rhodium recovery from rhodium-containing waste rinsing water via cementation using zinc powder. *Hydrometallurgy*, 106(1), 71-75.
- [3] Güven, A. (2002). Atık Rodyum Kaplama Çözeltilerinden Rodyum Geri Kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- [4] James J.L. *Coating Materials for Electronic Applications: Polymers, Processes, Reliability, Testing*, 1<sup>th</sup> edition, Springer press, (2004).
- [5] Patnaik, P., *Handbook of inorganic chemicals*, McGraw-Hill press, (2001).
- [6] Yavuz, E., Atık Rodyum Kaplama Çözeltilerinden Metal Sementasyonu ile Rodyum Kazanımı, (Yüksek Lisans Tezi), İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).
- [7] Lide, D.R., *The Handbook of Chemistry and Physics*, 85<sup>th</sup> Edition, CRC press, (2004).
- [8] Aktas, S., Morcali, M. H. (2011). Platinum recovery from dilute platinum solutions using activated carbon. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21 (11), 2554-2558.
- [9] Tastekin, M., Nitrik Asit Tesislerinin Asit Tanklarında Toplanan Tozlardaki Platin, Rodyum ve Paladyumun Geri Kazanılması, (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1994).
- [10] Friend, N.J., *Text-Book of Inorganic Chemistry*, 2<sup>th</sup> edition, Charles griffin and Company (1922).
- [11] USGS Mineral Commodity Specialist Platinum-Group Metals Statistics and Information. (2014). USGS den Erişim Tarihi: 01.05.2014, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/platinum/index.html#myb>
- [12] Johnson Matthey Platinum Today Johnson Matthey den Erişim Tarihi: 01.03.2014, <http://www.platinum.matthey.com/publications/market-data-tables>
- [13] Rao, C. R. M., Reddi, G. S. (2000). Platinum group metals (pgm); occurrence, use and recent trends in their determination. *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, 19 (9), 565-586.
- [14] Morissey, R.J., Rhodium Plating, *Plating and Surface Finishing*, August, 71, (1997).

- [15] Benguerel, E., Demopoulos, G.P., Haris, G.B., Speciation and separation of rhodium (III) from chloride solutions: a critical review, *Hydrometallurgy*, 135-52, (1996).
- [16] Aktas, S. (2012). Cementation of rhodium from waste chloride solutions using copper powder. *Int. J. Miner. Process.*, 114, 100-105.
- [17] Julsing, H.G., McCrindle, R.I. (2001). The use of sodium formate for the recovery of precious metals from acidic base metal effluents, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 76(4), 349-354.
- [18] Levitin, G., Schmuckler, G. (2003). Solvent extraction of rhodium chloride from aqueous solutions and its separation from palladium and platinum. *React. Funct. Polym.*, 54(1), 149-154.
- [19] Shafiqul Alam, M., Inoue, K. (1997). Extraction of rhodium from other platinum group metals with Kelex 100 from chloride media containing tin. *Hydrometallurgy*, 46(3), 373-382.
- [20] Öksüz, Ş., Sodyum Borhidrür İle Çeşitli İndirgenme Reaksiyonları, (Yüksek Lisans Tezi), İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).
- [21] Svehla, G. (1996). Vogel's Qualitative Inorganic Analysis. 7. baskı, Longman press, New York.
- [22] Benhman, R.R., Rhodium Plating to Specification, *Platinum Metals Rev.*, 5, 13-8, (1961).
- [23] James J.L. *Coating Materials for Electronic Applications: Polymers, Processes, Reliability, Testing*, 1<sup>th</sup> edition, Springer press, (2004).
- [24] Lu, J., Dreisinger, D.B., Cooper, W.C. (1997). Cobalt precipitation by reduction with sodium borohydride. *Hydrometallurgy*, 45(3), 305-322.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Serap MORCALI

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Bern/İsviçre, 1981

**E-Posta:** syurudu@yahoo.com

**Lisans:** Kimya

**Yüksek Lisans:** Çevre Bilimleri

**Mesleki Deneyim:** 2006-2011 yılları arasında uluslararası firmalarda iş kariyeri yapmıştır. 2011 yılında yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

**Morcali, S., Aktaş, S.** 2014: Atık Rodyum Kaplama Çözeltilerinden Rodyum Geri Kazanımı. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 26, (3), 56-70, DOI: <http://dx.doi.org/10.7240/MJS.2014268154>.