

Gama absorpsiyon tekniği ile kıymetli metallerin analizi ve değerlendirilmesi

Arzu KURTOĞLU*, A. Beril TUĞRUL

İTÜ Enerji Enstitüsü, Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, nükleer bir teknik olan gama absorpsiyon tekniği, kıymetli metallere gümüş, platin ve altın analizine ilişkin olarak kullanılmıştır. Numuneler; gümüş için dört, platin için dört ve altın için beş farklı ayarda temin edilmiştir. Gama radyoizotop kaynağı olarak gümüş için Am-241, platin ve altın için Ba-133 radyoizotopları kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlarla kalibrasyon eğrileri çizilebilmiştir. Bu çalışmanın özgünlüğü çerçevesinde çalışılan numunelerin kütle zayıflatma katsayıları deneysel olarak tayin edilmiştir. Deneysel sonuçlar WinXCom programından elde edilen sayısal sonuçlarla mukayese edilmiş ve birbirleri ile ileri derecede uyum sağladığı gösterilmiştir. Bu şekilde, gama absorpsiyon tekniğinin kütle zayıflatma katsayılarının deneysel olarak tayininde kullanılabileceği önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gama absorpsiyon tekniği, gümüş, altın, platin, kütle zayıflatma katsayısı.

Analysis of the three main precious metals by using gamma absorption technique and determination of mass attenuation coefficient

Abstract

Silver, platinum and gold are described as precious metals; they are most popular jewelry and preferable metals in modern society. In this study, a nuclear technique as namely "Gamma Absorption Technique" is used for the analysis of the three main precious metals. Samples have been supplied for four different silver alloys, four different platinum alloys and five different gold alloys. Am-241 has been used for Ag analysis and Ba-133 gamma radioisotopes has been used for Pt and Au analysis as gamma sources. Experiment device consist of a gamma source, collimator, NaI (Tl) detector, multi-channel analyzer with shielding materials. Experiments repeated at least five times and average net counting rate is calculated. Calibration curves could be drawn as a result of the experiments. These curves were examined by unknown samples and it was shown the reliability of the curves. The mass attenuation coefficients of alloys were measured. Theoretical mass attenuation coefficient values were obtained using the WinXCom program. The comparison of the experimental results with the theoretical values was in a good and acceptable agreement. Precious metals analysis can be observed and mass attenuation coefficients were determined at near energy of elements K absorption edge. So, it can be offered that the gamma absorption technique can be used for the determination of the mass attenuation coefficients.

Keywords: Gamma absorption technique, silver, platinum, gold, mass attenuation coefficient

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Arzu KURTOĞLU. arzukurtoglu@hotmail.com; Tel: (212) 284 42 89.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Enerji Enstitüsü'nde tamamlanmış olan "Gama absorpsiyon tekniği ile başlıca üç kıymetli metalin analizi, kütle zayıflatma katsayılarının tayini ve irdelenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 06.09.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 18.10.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Kıymetli metal olarak nitelenen gümüş, platin ve altın, hem yatırım aracı hem de güncel kullanımlarda tercih edilen yaygın kullanımı olan metallere aittir. Bu özel metallerin analizleri farklı alanlar için önem taşımaktadır. Altın ve gümüş analizinde genellikle kimyasal yöntemler tercih edilmektedir.

Filiz ve cevherlerde ateş analizi (fire assay), metalürjik alaşımlarda küpelyasyon, siyanür liçi (cyanide leach), aqua regia (kral suyu) çözündürmesi kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS), plazma atomik emisyon spektroskopisi (ICP-AES), plazma kütle spektroskopisi (ICP-MS), X-ışınları flüoresans (XRF) tekniği ve nötron aktivasyon analizi (NAA) yöntemleri ile de analiz yapılabilmektedir. Platin analizi için spektroskopik teknikler tercih edilmektedir. Altın, gümüş ve platin analizi için kullanılan tekniklerin çoğu tahribatlı testler kapsamına girmektedir.

Endüstride, gama radyoizotop kaynakları kullanılarak uygulanan ve rutin hale gelmiş, malzemeden bilgi almaya yönelik teknikler “gama teknikleri” olarak nitelenmektedir (Lilley, 2001). Malzemeye ait pek çok fiziksel parametre, malzeme akışı ve ürün özellikleri, gama teknikleri kullanılarak ve uygun teknik ekipmanlar seçilerek belirlenebilmektedir. Radyoizotop kaynak kullanılarak radyasyonun madde üzerindeki etkilerinden hareketle kalitatif ve kantitatif malzeme özelliklerinin belirlenmesi, nükleer tekniklerin uygulama temelini oluşturmaktadır (Földiak, 1986).

Malzeme hakkında istenilen bilgilere ulaşmak için kullanılan teknolojik işleme ilişkin gerekli temel unsurlar, radyasyonun deteksiyonu ve sayısal değerlendirilmesi olarak ele alınabilir. Endüstride yaygın kullanım imkanı bulan enerjistik fotonların madde ile etkileşimini konu alan çalışmalar, tıbbi radyasyon dozimetri, endüstri, radyasyon zırhlaması uygulamalarında önemle yer alan çalışma alanlarıdır.

Çeşitli metaller ve organik bileşikler için radyasyonun absorpsiyonu geniş bir çalışma alanı bulmuş, saf elementler için geniş bir veri tabanı oluşturulmuştur (Hubbell, 1994; Murty, 2000).

Malzeme içinde gama ışınlarının girişim ve difüzyonunu karakterize eden en önemli büyüklük kütle zayıflatma katsayısı olmaktadır (İçelli vd, 2005). Kütle zayıflatma katsayısının, çeşitli malzemeler için doğru saptanmış değerleri, endüstri, biyoloji, tarım ve tıp çalışmaları için büyük önem taşımaktadır (Abdel-Rahman vd, 2000; Chitralakha vd., 2005).

Bu çalışmada, yüksek atom numaralı kıymetli metallere aittir altın, gümüş ve platinin en yaygın kullanılan alaşımlarının, K tabakası absorpsiyon süresizliği civarındaki enerji değerlerindeki fotoelektrik etkileşimlerinin incelenerek, gama absorpsiyon tekniği ile analizlerinin yapılması ve alaşımların kütle zayıflatma katsayılarının hesaplanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı altın, gümüş ve platin alaşımları için numuneler hazırlanarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

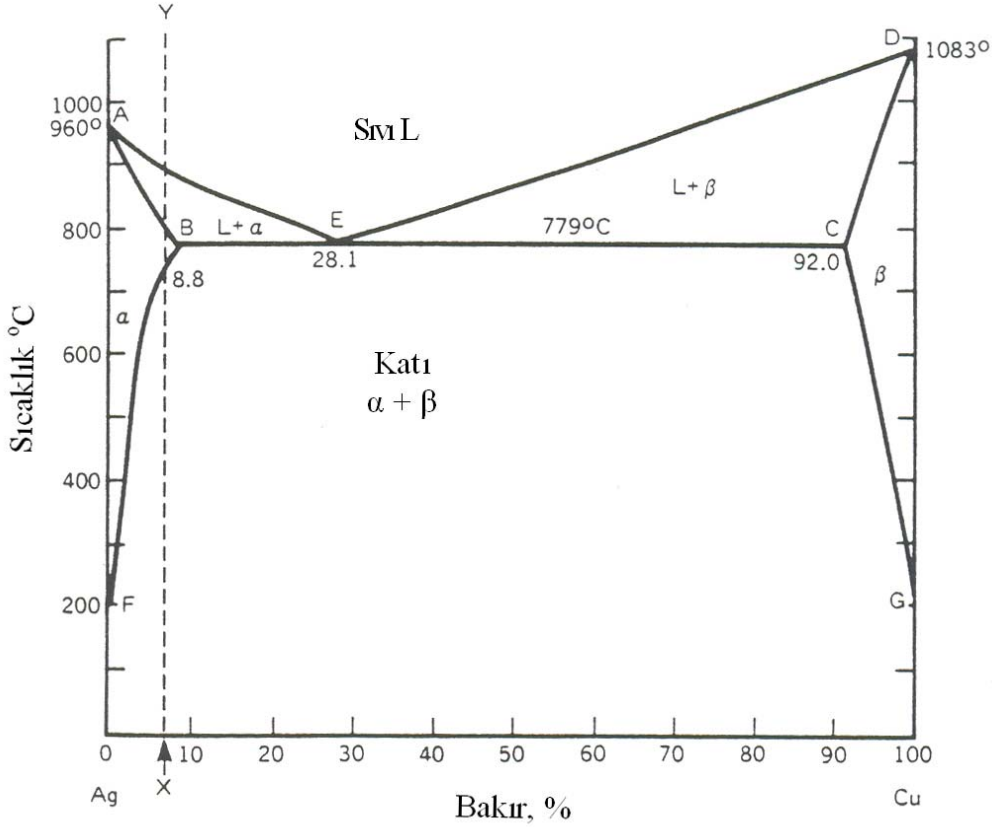
Kıymetli metaller

Periyodik cetvelin 5. ve 6. periyodunda yer alan, gümüş, platin, altın, paladyum, iridyum, rod-yum, rutenyum ve osmiyum en geniş haliyle “kıymetli metaller” olarak adlandırılmaktadır. Bununla beraber gümüş, platin ve altın kıymetli metaller arasında ön plana çıkmaktadırlar. Özellikle altın ve gümüş insanoğlu tarafından binlerce yıldır değerli maden olarak görülmüş ve kullanılmışlardır. Bu metallerin kıymetli metal olarak adlandırılmasının en büyük nedeni olarak, çevresel etkilere karşı gösterdikleri olağanüstü dirençtir.

Kıymetli metaller doğada birleşik yapmamış halde, maden damarlarındaki kayalarda yada nehir ve dere yataklarının çökeltilerinde ve taşınan alüvyonlu kumlarda bulunmaktadır (Grimwade, 1985). Modern uygarlıklar için kıymetli metaller paha biçilmez değerdedir. Kuyumculuğun temel metalleri olmalarının yanı sıra, para piyasaları için de katalizör görevi gören metaller durumundadırlar (Metals Handbook Committee, 1990).

Gümüş ve alaşımları

Gümüş (Ag), en çok miktarda bulunan kıymetli metaldir. İlk çağlardan bu yana alım-satım aracı olarak kullanılmış, dekoratif sanatlar, kuyumculuk gibi alanlara ilham kaynağı olmuştur.



Şekil 1. Ag-Cu Faz Diyagramı (Metals Handbook Committee, 1990)

47 atom numaralı gümüş, en beyaz ve en parlak metaldir. Dövülebilir, genleşebilir, yumuşak haddelenebilir ve kıymetli metaller sınıfındadır. Doğal halde saf olarak, sülfür ve klor ile bileşik halinde bulunmaktadır. Gümüş soy gazlar ile tepkimeye giren en reaktif metaldir.

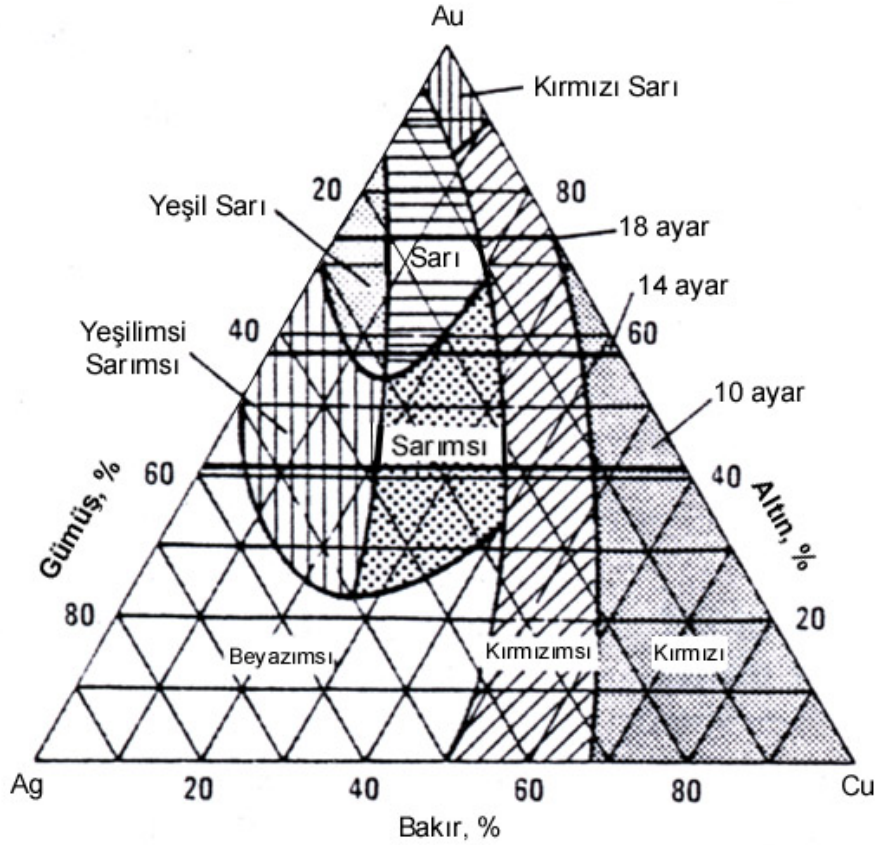
Gümüş oldukça yumuşak bir metal olduğu için aşınmaya karşı direnci zayıftır. Bu bakımdan, endüstriyel alanda gümüşü saf haliyle kullanmak elverişli değildir. Bu nedenle kullanımlarda gümüş alaşımları tercih edilmektedir. Alaşıma giren diğer metaller saf gümüşün parlaklığını azaltsalar da, mukavemetini, sertliğini ve aşınmaya karşı direncini arttırmaktadırlar (Brady, 1997). Gümüş-Bakır (Ag-Cu) alaşımları, binlerce yıldır en yaygın olarak kullanılan gümüş alaşımıdır. Bakır, gümüşün sertliğini arttırmakla birlikte, ergime noktasını, elektriksel ve ısı iletkenliğini biraz düşürmektedir. Bu durum Şekil 1'deki Ag-Cu faz diyagramından da anlaşılabilir. Gümüş-Bakır alaşımları için belirlenmiş ve tüm dünyaca kabul edilmiş olan standartlar vardır.

Günümüzde "Standart Gümüş" denildiğinde Sterling Standardına uygun bir gümüş alaşımı olduğu anlaşılmaktadır. Sterling Standardı, alaşım oranı minimum %92.5 Ag ve %7.5 Cu içeren alaşımı tarif etmektedir (Grimwade, 1985). Ag-Cu faz diyagramında görülen X-Y çizgisi Sterling Standardına aittir. Bu standart ülkemizde 925 ayar gümüş olarak tanımlanmaktadır.

Ülkemiz kuyumculuk ve eşya sektöründe yaygın olarak kullanılan diğer gümüş ayar değerleri 800 ayar, 900 ayar ve 975 ayardır.

Platin ve alaşımları

Atom ağırlığı 78 ve beyazımsı gri renkli bir metaldir. En önemli özelliği korozyon direncinin yüksek olmasıdır. Hemen hemen hiç oksitlenmez. Platin (Pt), dövülebilir, haddelenebilir ve işlenebilir bir yapıdadır. Farklı sıcaklıklarda kimyasallara karşı gösterdiği direnç ve benzersiz katalitik özellikleri ile karakterize edilmektedir. Saf platin, kullanım için çok yumuşak olduğundan,



Şekil 2. Au-Ag-Cu faz diyagramı (Metals Handbook Committee, 1990)

genellikle platin grubu diğer metallerle yaptığı alaşımları, sertlikleri yüksek olduğu için tercih edilmektedir. Platin alaşımları çok çeşitlilik göstermektedir. Pt-%5 Cu, Pt-%5 Ir, Pt-%4.5 Pd, Pt-%5 Ru ve Pt-%4.5 Co kullanımı yaygın olan platin alaşımlarıdır. Pt-%4.5 Co sertliği en yüksek alaşımdır. Son zamanlarda minimum %95 Pt içeren farklı alaşım kompozisyonları geliştirilmiş bulunmaktadır. Dünya kuyumculuğuna bakıldığında, farklı ülkelerin, platinle ilgili farklı standartlar oluşturdukları görülmektedir. Avrupa ülkeleri 950 standardının altına inmezken, Japonya 850, 900, 950 ve %0.5 toleransla 1000 standartlarını, Almanya ise Japonya'ya ek olarak 800 standardını kabul etmektedir (Maerz, 2000). Ülkemizde platin için kayıtlı herhangi bir standart bulunmamaktadır.

Altın ve alaşımları

Altın (Au); parlak, sarı renkli, yumuşak ve dövülebilir bir metaldir. Kolay şekil alabilen, elektriği ve ısıyı iyi ileten altın, iyonlaşma kolaylığı nedeniyle diğer elementlerle kolay ala-

şım yapabilmektedir. Altın özellikle kuyumculuk sektöründe kullanımı yaygın olan bir kıymetli metal durumundadır. Saf altın, kuyum üretimi için yumuşaktır. Kullanımda kararmaya karşı direnci, mukavemetinin yüksek olması, korozyon direncinin yüksek olması, işlenebilir ve sünek olması bakımından altının alaşımları tercih edilmektedir. Özellikle gümüş ve bakırla yaptığı alaşımlar önem taşımaktadır. Şekil 2'deki Au-Ag-Cu faz diyagramından görüldüğü gibi, altın alaşımlarında yer alan elementlerin, alaşımın rengine farklı etkileri söz konusudur. Kuyumculukta kullanılan altınların renkleri açık sarıdan, koyu sarıya, kırmızı, yeşil ve beyaz olarak farklı renklere sahip olabilmektedir.

Beyaz altının, Au-Ag-Cu faz diyagramından anlaşılacağı üzere sadece 8 ve 9 karat altınlar için üretimi mümkün olmaktadır. Yüksek ayarlı beyaz altın üretimi için, platin, paladyum ve nikel kullanılmaktadır (Grimwade, 2000). Altın alaşımlarında farklı metaller kullanmak, farklı, ilginç renklerin elde edilmesini sağlamaktadır. Örneğin; alaşıma kadmiyum eklenmesi soluk ye-

şil bir görüntüye sebep olurken, Au-Al alaşımı koyu mor bir renk almaktadır. Au-In alaşımı parlak buz renginde, Au-%4.72 K alaşımı zeytin yeşili, Au-%9 K alaşımı ise mor renklidir. Ancak, bütün bu alaşımlar yarı iletken ve çok kırılmalı olduklarından kuyum amaçlı kullanımları mümkün olmamaktadır (Grimwade, 1985).

Alaşım ağırlığının 1/24 'ü saf altın olan alaşım 1 karat (Ct) olarak tanımlanmaktadır. Saf altın 24 karat yani 24 ayardır. 22 karat ($^{22}/_{24}$), 18 karat ($^{18}/_{24}$) ve 14 karat ($^{14}/_{24}$) en yaygın kullanılan altın ayarları olup, standartlarla da belirlenmiştir. Uluslararası kabul edilmiş çeşitli altın ayarları mevcuttur. Bunların yanı sıra, her ülkede kabul edilen özel ayarlar da mevcuttur. Kuyumculukta altın için kullanılan ayar (karat) tanımlamaları Tablo 1'de verilmiştir (Metals Handbook Committee, 1990).

Tablo 1. Altında ayar tanımları

Ayar	Ağırlıkça Altın Oranı
24 Ayar	24/24 %100 Au (%99.95 min)
22 Ayar	22/24 %91.66 Au
21 Ayar	21/24 %87.5 Au
20 Ayar	20/24 %83.33 Au
18 Ayar	18/24 %75 Au
15 Ayar	15/24 %62.2 Au
14 Ayar	14/24 %58.33 Au
12 Ayar	12/24 %50 Au
10 Ayar	10/24 %41.67 Au
9 Ayar	9/24 %37.5 Au
8 Ayar	8/24 %33.33 Au

Gama absorpsiyon tekniği

Gama ışınlarının madde ile etkileşimleri sonucu soğurulması temeline dayanan gama absorpsiyon tekniği, tesis ve proses araştırmalarında kullanılan bir nükleer tekniktir (Charlton, 1986). Bazı elementlerin belirli gama enerjileri değerlerine ait absorplanma özellikleri farklılıklar gösterebilmektedir.

Bu farklılıklardan yola çıkılarak gama absorpsiyon tekniği ile analiz yöntemi geliştirilmiştir ve "belirli elementler" için başarı ile uygulanmaktadır. Gama absorpsiyon tekniği ile analizde öne çıkan malzeme özelliği "kütle zayıflatma katsayısı"dır.

Kütle zayıflatma katsayısı ile gama enerjileri arasında bir grafik çizilirse, belirli gama enerjileri için keskin süreksizliklerin gözlemlendiği bir eğri elde edilmektedir. "Absorpsiyon Süreksizliği" (Absorption Edges) olarak tanımlanan süreksizlik, absorban atomun K, L vb. elektron kabuklarının bağlanma enerjilerine karşılık gelmektedir. Bu çalışmada kullanılan kıymetli metallerin absorpsiyon süreksizliği değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kıymetli metallerin absorpsiyon süreksizliği değerleri

Element	Ag (Z= 47)	Pt (Z= 78)	Au (Z=79)
Absorpsiyon Süreksizlikleri	keV	keV	keV
K	25.5140	78.3948	80.7249
L-I	3.8058	13.8799	14.3528
L-II	3.5237	13.2726	13.7336
L-III	3.3511	11.5637	11.9187
M1	---	3.2960	3.4249
M2	---	3.0265	3.1478
M3	---	2.6454	2.7430
M4	---	2.2019	2.2911
M5	---	2.1216	2.2057

Bir elementin absorpsiyon süreksizliğinin görüldüğü enerji değerlerine yakın enerjili radyoizotop kaynak kullanılarak, gama radyasyonuna maruz bırakılan malzemelerin gama absorpsiyon tekniği prensibi ile alınan radyasyon ölçümleri önemli farklılıklar gösterecektir. Bilinen miktarlarda element içeren malzemeler kullanılarak çıkarılan kalibrasyon eğrilerinden hareketle, sadece gama ışını şiddeti ölçümlenerek, malzemedeki söz konusu elementin miktarı tayin edilebilir. Bu uygulama gama absorpsiyon tekniği ile analiz yönteminin fiziksel temelini oluşturmaktadır (Radcliffe vd., 1980).

Gama absorpsiyon tekniği ile analiz uygulamaları, absorpsiyon süreksizliğinin baskın olarak görüldüğü yüksek atom numaralı elementlerin analizi için daha başarılı sonuçlar vermektedir.

Bileşik, karışım ve alaşımların kütle zayıflatma katsayıları ise;

$$\left(\frac{\mu_L}{\rho}\right) = \sum_i w_i \left(\frac{\mu_L}{\rho}\right)_i \quad (1)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada w_i i. bileşenin ağırlık oranı, $(\mu_L/\rho)_i$ ise, i. bileşenin kütle zayıflatma katsayısıdır (Knoll, 1989). Bu çalışma çerçevesinde, gama absorpsiyon tekniği ile kıymetli metallerin ve alaşımlarının analizi için kullanılmasına yönelik olarak, gama ışınlarının malzeme içinde zayıflatılması:

$$I = I_0 \exp \left[- \sum_{i=1}^M w_i \left(\frac{\mu_L}{\rho}\right)_i \rho_i x \right] \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada; I , malzemeyi kateden radyasyonun şiddeti, I_0 radyasyonun malzemeyi katetmeden önceki şiddeti, M alaşımdaki bileşen sayısı, w_i i. bileşenin alaşımdaki ağırlık oranı, $(\mu_L/\rho)_i$ i. bileşenin kütle zayıflatma katsayısı, ρ_i i. bileşenin yoğunluğu ve x malzeme kalınlığını temsil etmektedir. Denklem 2'den hareketle kütle zayıflatma katsayısı;

$$\left(\frac{\mu_L}{\rho}\right) = \frac{1}{\rho x} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (3)$$

olarak ifade edilebilmektedir. Burada; ρ malzemenin yoğunluğunu temsil etmektedir. Deneysel olarak hesaplamalardan doğabilecek hatalar ise;

$$\delta \left(\frac{\mu_L}{\rho} \right) = \left(- \frac{1}{\rho x} \right) \left\{ \left[\left(\frac{I \delta I_0 - I_0 \delta I}{I I_0} \right) + x \delta \rho \ln \frac{I}{I_0} \right] \right\} \quad (4)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir (Singh vd., 1996).

Deneysel çalışmalar

Literatür ve piyasa araştırmaları ile bu çalışmada analizi amaçlanan kıymetli metallere gümüş, platin ve altının genel kullanım açısından öne çıkan ayar ve alaşımları tespit edilmiştir. Bu araştırmalar sonucu elde edilen veriler değerlendirilerek numuneler hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılan numunelerin alaşım oranları ve

yoğunlukları gümüş için Tablo 3'te, platin için Tablo 4'te ve altın için Tablo 5'te verilmiştir. Kıymetli metal alaşımlarının yoğunlukları, alaşıma giren saf metallerin yoğunluklarından hareketle;

$$\frac{1}{\rho} = \sum_i \left(\frac{w_i}{\rho_i} \right) \quad (5)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir (Payling, 1997).

Tablo 3. Deneylerde kullanılan gümüş numuneleri

Gümüş numuneleri	Alaşımdaki elementlerin ağırlıkça oranları		Yoğunluk ρ (g/cm ³)
	Ag (%)	Cu (%)	
800 ayar Ag	80	20	10.13
900 ayar Ag	90	10	10.31
925 ayar Ag	92.5	7.5	10.35
1000 ayar Ag	100	0	10.49

Tablo 4. Deneylerde kullanılan platin numuneleri

Platin numuneleri	Alaşımdaki elementlerin ağırlıkça oranları			Yoğunluk ρ (g/cm ³)
	Pt (%)	Pd (%)	Cu (%)	
Pt850-Pd100-Cu50	85	10	5	18.67
Pt900-Pd70-Cu30	90	7	3	19.55
Pt950-Pd50	95	5	0	20.64
Saf Platin	100	0	0	21.45

Alaşım ayarları için kıymetli metallerin oranları dikkate alınmış, faz diyagramları kullanılarak alaşımdaki metallerin oranları hesaplanmıştır. Bütün numuneler 5 gram olarak dökülmüş, silindirden geçirilerek şeritler halinde inceltilmiştir. Altın ve gümüş numunelerinin kalınlıkları 150 ± 2 μ m kalınlığında, platin numuneleri 100 ± 2 μ m kalınlığında hazırlanmıştır. Altın ve gümüş için şeritler kesilerek her alaşım için 1

cm²'lik 8 ayrı parça elde edilmiştir. Platin için 8-10 ayrı parça elde edilmiştir. Elde edilen bu parçalar, deneyler sırasında üst üste konarak 150 µm ile 1100 µm arasında kalınlık aralığı için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, gama absorpsiyon tekniği ile kıymetli metallerin ve alaşımlarının kütle zayıflatma katsayıları da deneysel olarak ölçümlenmiştir. Bu amaçla, her alaşım için ayrı bir özel numune hazırlanmıştır. Gama absorpsiyon tekniği ile kıymetli metallerin analizinde kullanılacak radyoizotop kaynaklarının, kıymetli metallerin absorpsiyon süresizliği enerjisinde gama fotonu yayınlıyor olması gerekmektedir. İlgilenilen kıymetli metallere gümüşün 25.51 keV enerjide, platinin 78.39 keV enerjide ve altının 80.72 keV enerjide absorpsiyon süresizlikleri görülmektedir (Hubbell, Seltzer, 1995). Altın ve platinin analizinde, bu metallerin absorpsiyon süresizliklerine karşılık gelen yakın enerji değerlerinde foton yayınlayan radyoizotop kaynak Ba-133 kullanılmıştır. Gümüş analizi için absorpsiyon süresizliği değerine karşılık gelen gama enerjisinde ışınım yapan radyoizotop olarak ise Am-241 tercih edilmiştir.

Tablo 5. Deneylerde kullanılan altın numuneleri

Altın numuneleri	Alaşımdaki elementlerin ağırlıkça oranları			Yoğunluk ρ (g/cm ³)
	Au (%)	Cu (%)	Ag (%)	
8 ayar sarı altın	33.3	28	38.7	11.68
14 ayar sarı altın	58.3	27.7	14	13.39
18 ayar sarı altın	75	8	17	15.62
22 ayar sarı altın	91.6	0	8.4	18.04
24 ayar altın	100	0	0	19.32

Radyasyonla ölçüm sistemlerinin tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli unsurlardan biri deney geometrisidir. Sistem geometrisinden doğabilecek hataları önlemek için bu çalışmada deney geometrisi sabit tutulmuştur. Dar demet geometrisini sağlamak ve aynı zamanda çevresel saçılmaları da engellemek için, detektörün kurşun zırhı haricinde, kaynak ile detektör arasında özel kurşun bir kollimatör kullanılmıştır. Döküm halinde imal edilen kollimatörün ortası delik silindirik olup iç yarıçapı 0.8 cm'dir. Deney düzeneği, gama radyoizotop kaynağı, kollimatör,

NaI(Tl) sintilasyon detektörü, çok kanallı analizör ve zırh elemanlarından oluşmaktadır. Sayımlar en az beş kez tekrarlanmış ve ortam sayımı çıkarılarak net sayımlara ulaşılmıştır.

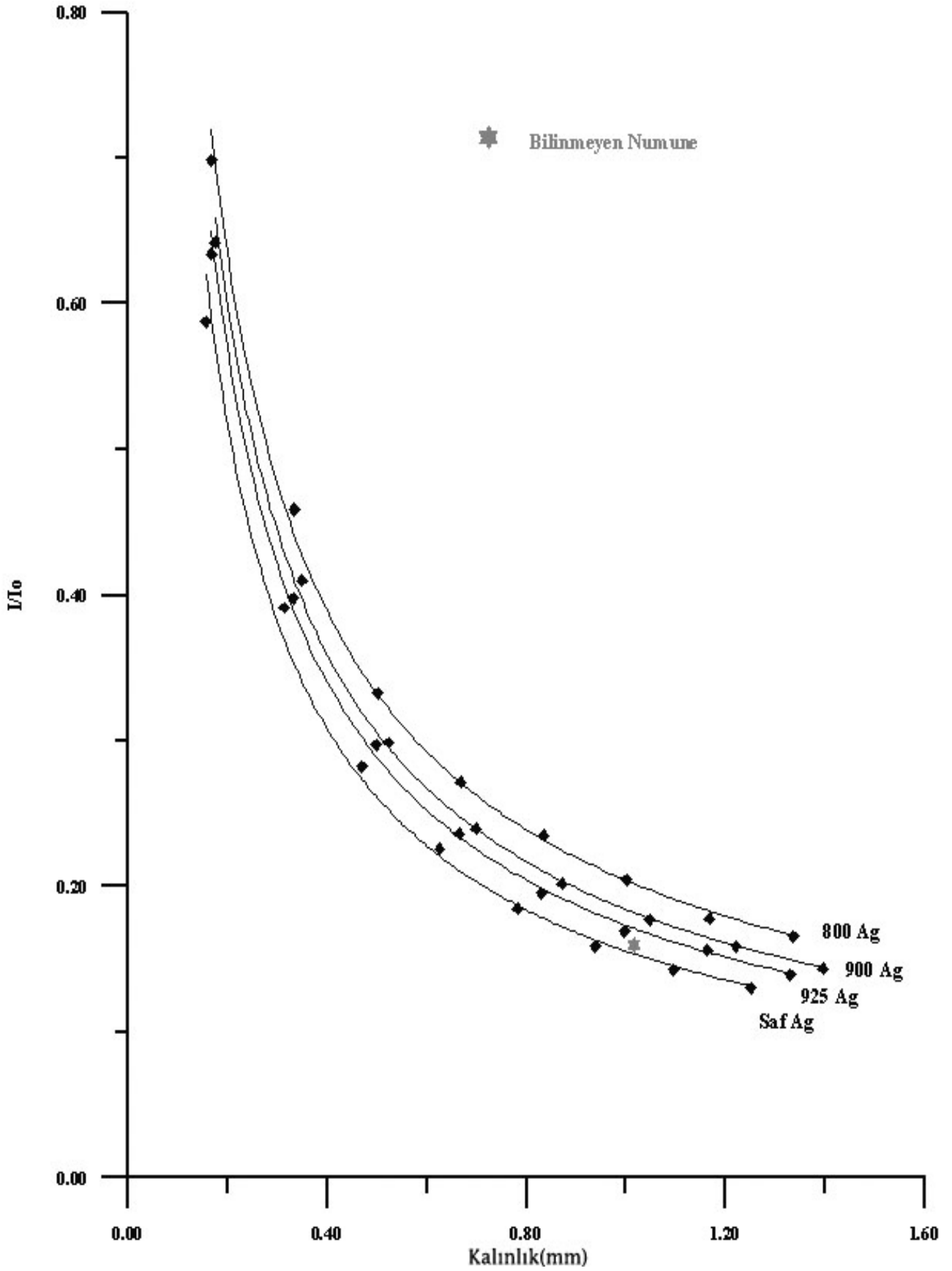
Deney sonuçları

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlardan hareketle, kaynak sayımına oranlanarak ulaşılan bağıl sayımlar bağlamında değerlendirme yapılmıştır. Gümüş, platin ve altın için kalibrasyon eğrileri çizilebilmiştir. Çizilen bu kalibrasyon eğrilerinin sınanması amacı ile bilinmeyen numunelerle çalışılmış ve ayarları tayin edilebilmiştir.

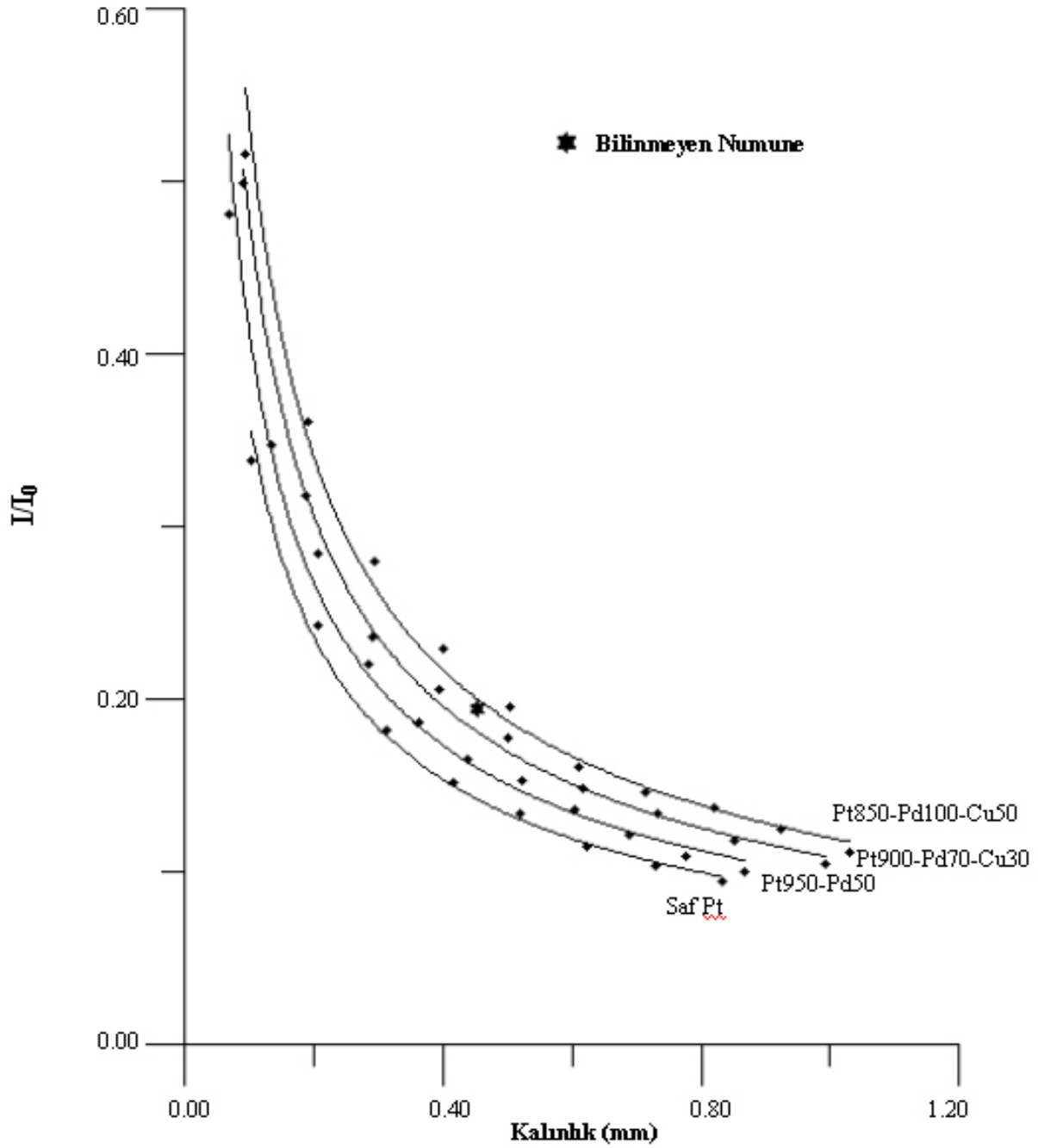
Gümüş için bilinmeyen numuneye ilişkin elde edilen sonuçların grafik olarak yeri Şekil 3'te, platin için bilinmeyen numuneye ilişkin elde edilen sonuçların grafik olarak yeri Şekil 4'te ve altın için bilinmeyen numuneye ilişkin elde edilen sonuçların grafik olarak yeri Şekil 5'te görülmektedir. Bilinmeyen numunelerin atomik absorpsiyon spektroskopisi ile de tayinleri yapıldığında gümüş numunenin 975 ayar ve altın numunenin 14 ayar olduğu tespit edilmiştir. Platin numunenin ise %85 Pt-%15 Pd alaşımı olduğu tespit edilmiştir.

Kütle zayıflatma katsayılarının deneysel olarak tayini

Bu çalışmada, gümüş, platin ve altının K tabakası absorpsiyon süresizliği civarındaki enerji değerlerindeki kütle zayıflatma katsayılarının deneysel olarak tayini amaçlanmıştır. Malzemelere ilişkin kütle zayıflatma katsayılarının tayini, çoğu kez sorunlar arz etmektedir. Bu çalışmada, araştırmanın farklı bir özgünlüğünü oluşturması bakımından çalışılan üç kıymetli metal olan gümüş, platin, altın ve alaşımlarının kütle zayıflatma katsayıları Denklem 3 çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayıları; bir sayısal çalışma bağlamında değerlendirilmiştir. Bu amaçla, halen dünyada "güvenilir" olarak nitelenen kütle zayıflatma katsayısı hesaplamasında kullanılan WinXCom Bilgisayar Programı ile çalışılması yoluna gidilmiştir (Gerward, 2004).



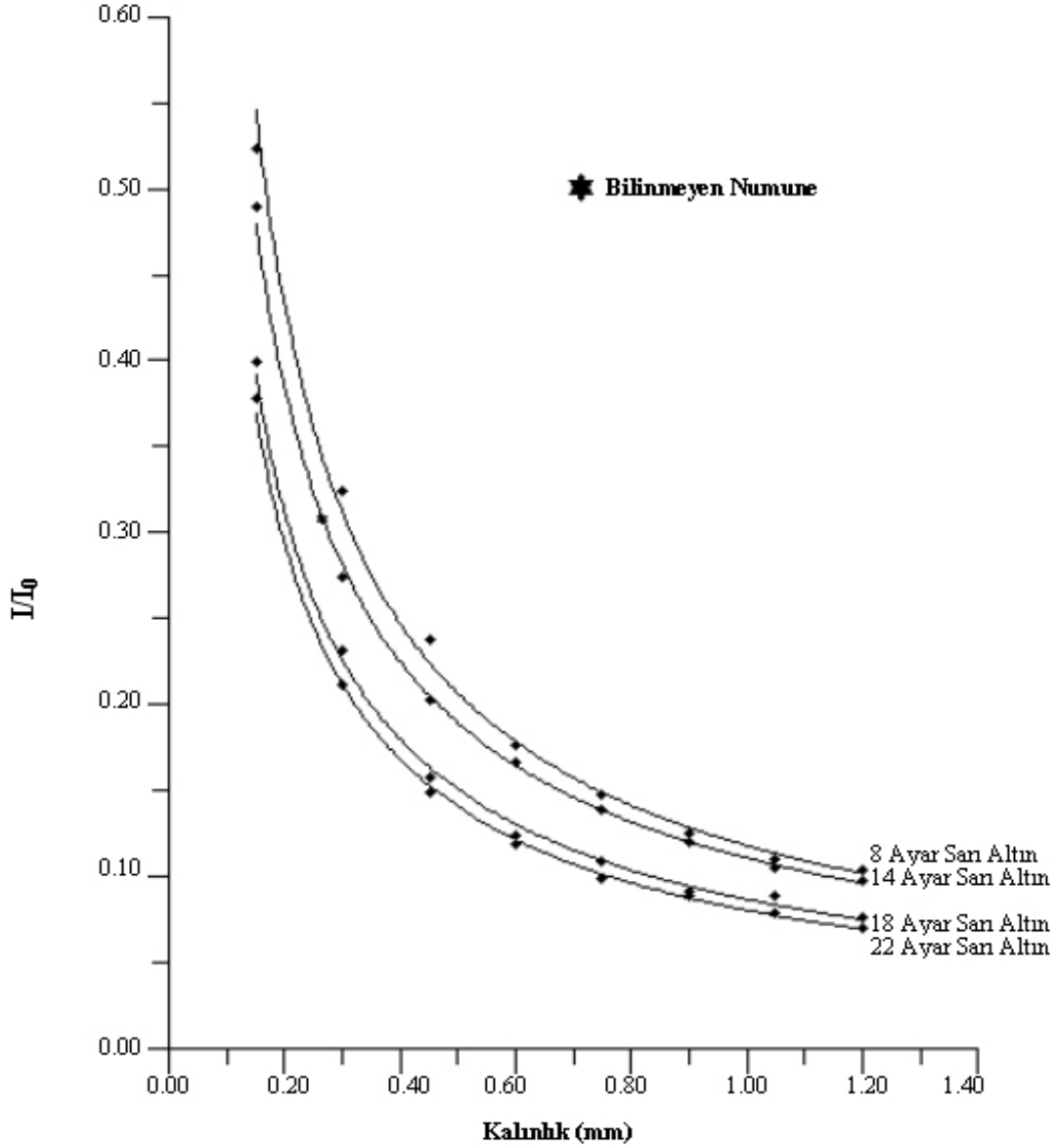
Şekil 3. Gümüş ve alaşımları için elde edilen deney sonuçları ve sınanması



Şekil 4. Platin ve alaşımları için elde edilen deney sonuçları ve sınanması

WinXCom Bilgisayar Programı, çalışılan üç kıymetli metal ve alaşımlarına uygulanmış ve kütle zayıflatma katsayıları, süreksizlik enerjilerine ilişkin olarak bulunmuştur. Deneysel olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayıları ile WinXCom Bilgisayar programı ile sayısal olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları mukayeseli olarak irdelenmiştir. Gümüş ve alaşımları için hazırlanan

mukayese tablosu Tablo 6'da, platin ve alaşımları için hazırlanan mukayese tablosu Tablo 7'de, altın ve alaşımları için hazırlanan mukayese tablosu Tablo 8'de görülmektedir. Bu sonuçlardan sonra, deneysel olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayıları ve WinXCom Bilgisayar programı ile sayısal olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları arasında fark irdelenmesine gidilmiştir.



Şekil 5. Altın ve alaşımları için elde edilen deney sonuçları ve sınılanması

Tablo 6. Gümüş ve gümüş alaşımları için tayin edilen kütle zayıflatma katsayısı değerleri ve WinXCom ile elde edilen değerler

Gümüş Alaşımları	Kaynak	Enerji (keV)	Tayin Edilen Kütle Zayıflatma Katsayısı (cm^2/g)	WinXCom İle Elde Edilen Kütle Zayıflatma Katsayısı (cm^2/g)	Fark	Fark (%)
800 Ayar Ag	Am-241	26.34	43.42	44.03	-0.61	-1.39
900 Ayar Ag	Am-241	26.34	46.96	47.56	-0.60	-1.26
925 Ayar Ag	Am-241	26.34	47.95	48.45	-0.50	-1.03
Saf Ag	Am-241	26.34	51.90	51.10	0.80	1.57
					Ortalama Fark (%)	-0.53
					Ortalama Mutlak Fark (%)	1.31

Tablo 7. Platin ve platin alaşımları için tayin edilen kütle zayıflatma katsayısı değerleri ve WinXCom ile elde edilen değerler

Platin Alaşımları	Kaynak	Enerji (keV)	Tayin Edilen Kütle Zayıflatma Katsayısı (cm ² /g)	WinXCom İle Elde Edilen Kütle Zayıflatma Katsayısı (cm ² /g)	Fark	Fark (%)
Pt850-Pd100-Cu50	Ba-133	79.62	7.91	7.84	0.07	0.89
Pt900-Pd70-Cu30	Ba-133	79.62	8.04	8.19	-0.15	-1.83
Pt950-Pd50	Ba-133	79.62	8.64	8.56	0.08	0.93
Saf Pt	Ba-133	79.62	8.97	8.88	0.09	1.01
Ortalama Fark (%)						0.25
Ortalama Mutlak Fark (%)						1.17

Tablo 8. Altın ve altın alaşımları için tayin edilen kütle zayıflatma katsayısı değerleri ve WinXCom ile elde edilen değerler

Altın Alaşımları	Kaynak	Enerji (keV)	Tayin Edilen Kütle Zayıflatma Katsayısı (cm ² /g)	WinXCom İle Elde Edilen Kütle Zayıflatma Katsayısı (cm ² /g)	Fark	Fark (%)
8 Ayar Sarı Altın	Ba-133	80.99	4.18	4.14	0.04	0.97
14 Ayar Sarı Altın	Ba-133	80.99	5.70	5.71	-0.01	-0.18
18 Ayar Sarı Altın	Ba-133	80.99	6.84	7.12	-0.28	-3.93
22 Ayar Sarı Altın	Ba-133	80.99	8.56	8.30	0.26	3.13
Saf Altın	Ba-133	80.99	8.81	8.83	-0.02	-0.23
Ortalama Fark (%)						-0.05
Ortalama Mutlak Fark (%)						1.69

Sonuçlar

Gama absorpsiyon tekniği ile üç kıymetli metale ilişkin gerçekleştirilen analiz ve kütle zayıflatma katsayılarının tayinini amaçlayan deneylerden elde edilen verilerin irdelenmesiyle aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Gümüş, platin ve altın için gama absorpsiyon tekniği ile analiz yapılarak ayar tayinine ilişkin kalibrasyon eğrileri çıkarılabildiği görülmüştür.
2. Gümüş ve alaşımları için yapılan fark irdelenmesinde en büyük fark ve ortalama mutlak fark % 1.5'in altında kalmıştır. Ortalama fark ise binde 5 dolayında olmuştur.
3. Platin ve alaşımları için yapılan fark irdelenmesinde en büyük fark % 2'nin altında ve ortalama mutlak fark % 1.5'in altında kalmıştır. Ortalama fark ise binde 5'in altında olmuştur.
4. Altın ve alaşımları için yapılan fark irdelenmesinde en büyük fark % 4'ün ve ortalama mutlak fark % 2'nin altında kalmıştır. Ortalama fark ise onbinde 5 dolayında olmuştur.
5. Üç kıymetli metal için deneysel olarak tayin edilen kütle zayıflatma katsayıları ve WinXCom Bilgisayar programı ile sayısal olarak hesaplanan kütle zayıflatma katsayıları arasında farkların beraberce irdelenmesi yapıldığında, ortalama mutlak farkların

%2'nin altında kaldığı, ortalama farkın ise %1'in altında kaldığı görülmektedir.

6. Gama absorpsiyon tekniğinin kütle zayıflatma katsayılarının tayini amaçlı kullanılabileceği önerilebilir.

Kaynaklar

- Abdel-Rahman, M.A., Badawi, E.A., Abdel-Hady, Y.L., Kamel, N., (2000). Effect of sample thickness on the measured mass attenuation coefficients of some compounds and elements for 59.54, 661.6 and 1332.5 keV γ -Rays, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, **447**, 432-436.
- Brady, G.S, Clauser, J.H, Vaccari, J.A., (1997). *Materials Handbook: An encyclopedia for managers, technical professionals, purchasing and production managers, technicians, supervisors and foremen*, 14. Edition, McGraw-Hill, New York, 425-1017.
- Charlton, J.S., (1986). *Radioisotope techniques for problem solving in industrial process plants*, Gulf Publishing Comp., Houston, 204-245.
- Chitralekha, B. R. Kerur, M. T. Lagare, R. Nathuram ve D. N. Sharma, (2005). Mass attenuation coefficients of saccharides for low-energy X-rays, *Radiation Physics and Chemistry*, **72**, 1-5.
- Földiák, G., (1986). *Industrial application of radioisotopes*, Elsevier, Amsterdam, 232-239.
- Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K.B., Levring, H., (2004). WinXCom- a program for calculating X-ray attenuation coefficients, *Radiation Physics and Chemistry*, **71**, 653-654.
- Grimwade, M., (1985). *Introduction to precious metals*, Butterworth & CO, London, 47-65.
- Grimwade, M., (2000). A plain man's guide to alloy phase diagrams: their use in jewellery manufacture-Part 2, *Gold Technology*, **30**, 8-15, World Gold Council.
- Hubbell, J. H., (1994). Bibliography of photon total cross-section measurements, *National Institute of Standards and Technology Interagency Reports* 5437.
- Hubbell, J. H., Seltzer, S.M., (1995). Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements Z=1 to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest, *National Institute of Standards and Technology Interagency Reports* 5632.
- İçelli O., Erzenoğlu S., Karahan, İ.H., Çankaya, G., (2005). Effective atomic numbers for CoCuNi alloys using transmission experiments, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, **91**, 485-491.
- Lilley, J.S., (2001). *Nuclear Physics: Principles and application*, John Wiley & Sons, Chichester, 205-212.
- Knoll, G.F., (1989). *Radiation detection and measurement*, 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, 54-57.
- Kurtoğlu, A., Tuğrul, A.B., (2003). Gold analysis by using gamma absorption techniques, *Applied Radiation and Isotopes*, **58**, 5-8.
- Maerz, J.J., (2000). Platinum alloy applications for jewelry, *Platinum Guild International*, **6**, 1-12, New York, USA.
- Metals Handbook Committee, (1990). *Metals Handbook*, Volume 13, 10th editions, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 704-707.
- Murty, V.R.K., Winkoun, D.P., Devan, K.R.S., (2000). On discrepancies in atomic photo effect cross sections in the low photon energy region, *Applied Radiation and Isotopes*, **53**, 949-952.
- Payling, R., Jones, D.G., Bengston, A., 1997. *Glow discharge optical emission spectrometry*, John Wiley & Sons, Chichester, 287-291.
- Radcliffe, C.D., Angle, B., Macias, E.S., Gaspar, P.P., (1980). Gold analysis by differential absorption of γ -Rays, *Archaeometry*, **22**, 47-55.
- Singh, K., Kaur, R., Kumar, V., (1996). Study of effective atomic numbers and mass attenuation coefficients in some compounds, *Radiation Physics and Chemistry*, **47**, 535-541.