

## Eti Gümüş A.Ş. Liç Prosesinde İstatistiksel Proses Kontrolü Uygulaması

H. Vapur & O. Bayat

*Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü. Balcalı 01330 Adana, Türkiye*

F. Akyol

*Eti Gümüş A.Ş., Gümüşköy-Kutahya, Türkiye*

**ÖZET:** İstatistiksel Proses kontrol (İPK) teknikleri belirli periyotlarda veri elde edilen cevher hazırlama tesislerinde üretim kalitesini ve verim artırmada kullanılmaktadır. Böylece zaman kontrolü ve uygulanabilirlik açısından bazı önemli kolaylıklar sağlanmaktadır. Bu çalışmada Eti Gümüş A.Ş. kimyasal çözündürme tesisinden düzenli olarak alınan örneklerin tenor ve Ag kazanma verim değerleri uygulanan prosesin yeterliliğini belirlemek amacıyla incelenmiştir. Her bir parametre için X - R kontrol grafikleri hareketli değişim aralığı yöntemi ile çizilmiştir. Böylece alt ve üst limit değerlerindeki sapmalar belirlenmiştir. Ayrıca spesifikasyon limit değerlerine göre proses yeterlilik indisleri ( $C_p$  ve  $C_{pk}$ ) belirlenmiştir. Özellikle limonit-mangan yapılı cevherin kullanılması tesis verimliliğinde büyük değişimlere neden olmaktadır. Ham cevher miktarları ve tenor değerlerinin uygun harmanlama yöntemleriyle sapmaların önlemek için ayarlanması gerektiği tespit edilmiştir

**ABSTRACT:** Statistical process control (IPC) techniques are used for mineral processing plants in which data are measured for certain periods to increase recovery and quality of production. Thereby, some important advantages are obtained for time control and applicability. In this paper, grade and recovery values of the samples taken out regularly from leaching plant of Eti Gümüş A.Ş were investigated to determine capability of the process. For each parameter, X-R control charts using moving range method were drawn. Thus, deviations of lower and upper limit values were determined. In addition, process capability indices ( $C_p$  and  $C^{\wedge}$ ) also were determined for specification limit values. Particularly utilisation of limonite-manganiferrous ore has been caused variations for productivity of the plant. It was observed that quantity of raw ores and grades should be fixed using suitable homogenization methods to prevent deviations

### 1. GİRİŞ

Kontrol grafikleri tesislerdeki üretilen ürün kalitesini ve normalden aşırı sapma gösteren ve sınır değerleri üzerindeki kontrolsüz durumları belirlemek amacıyla farklı alanlarda kullanılmaktadır. İPK yardımıyla ürünlerdeki istenilen kalite özelliklerine göre anormal değerler belirlenebilir ve bu değerlerin normal sınırlara getirilmesi için gerekli önlemler alınabilir (Milton ve Arnold, 1990). Üretilen bir ürünün satılabilmesi ve kar elde edilebilmesi için uygulanacak kapsamlı çalışmalarda 'mükemmel yedi' olarak isimlendirilen kalite kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar, dal-yaprak yada histogram grafikleri, kontrol tabloları, pareto grafikleri, sebep-sonuç grafikleri, kusur yoğunluğu grafikleri, saçılım grafiğinden ve kontrol grafikleridir (Montgomery, 1997; Breyfogle, 2003).

Eti Gümüş A.Ş. liç tesisi için istatistiksel kalite kontrolü yapılması tesis verimini etkileyen faktörleri belirlemede önemli katkılar sağlayacaktır. Tesiste yıllık 11 ay çalışmakta ve her yıl şubat ayında üretim durdurularak bir ay süreli tamir ve bakım çalışmaları yapılmaktadır. Tüvenan cevher miktarı ise kırıcılar ve değirmenlerin kapasitelerine göre ayarlanmaktadır. Ortalama  $180 \pm 20$  g/ton Ag tenörlü karmaşık yapılı cevher kanşımı harmanlama yapılarak öğütme devresine beslenmektedir. Yılda yaklaşık olarak 800 000 ton/yıl tüvenan cevher zenginleştirilmekle ve yaklaşık 90 ton/yıl saf gümüş metali CCD Merrill-Crowe yöntemi ile üretilerek %99.9 Ag tenoru ile satışa sunulmaktadır (Acarkan, 1997). Açık işletme sahasında farklı metalik mineraller içeren gümüş cevherleşmeleri vardır. Sahada beş ayrı tip gümüş cevheri tespit edilmiştir. Bunların sahadaki rezerv dağılımları; limonit-

mangan %25-35, altere tuf %22-30, silisiye tuf %20-28, pasa %9-13 ve silisiye dolomit %3-5 seviyesindedir (Topkaya, 1980; Bilici ve Akyol, 1999). Cevher çeneli ve konik kırıcılarda kırıldıktan sonra -80 mm'ye indirilmekte ve iki adet seri bağlı bıyalı değirmenlerde  $d_w = 0.074$  mm tane boyutuna kadar ortalama %30 katı oranı ile yaş öğütme yapılmaktadır. Tesiste ortalama olarak  $1.84 \pm 0.11$  kg/ton NaCN,  $0.43 \pm 0.03$  kg/ton Zn tozu tüketilmektedir. Ayrıca  $0.09 \pm 0.02$  kg/ton flokulant,  $4.64 \pm 0.66$  kg/ton kireç,  $0.49 \pm 0.22$  kg/ton perlit tozu ve  $0.22 \pm 0.04$  kg/ton  $Pb(NO_3)_2$  uıktımı vardır. Öğütülen gümüş seri olarak kullanılan 9 adet tankla siyanür lıç ile sıvı taze alınmaktadır. Sıvı fazda bulunan gümüşün ham cevher içerisinde bulunan diğer sülfürlü cevherlerle bileşikler oluşturmasını önlemek amacıyla kurşun nitrat ( $Pb(NO_3)_2$ ) ve pH kontrolü için %20 katı içeren kireç sütü ( $Ca(OH)_2$ ) katılarak koruyucu alkalılık sağlanmaktadır. Ayrıca siyanürleme tanklarına ozülleme verimim artırmak için lıç tanklarının taban kesiminden dakikada ortalama  $150 \text{ L/m}^3$  hava verilmektedir. Katı ve sıvı malzeme dengesi otomatik olarak kontrol edilmektedir. Tankların içinde 48 saatlik çözündürme yapılan gümüşün yaklaşık %55-70'ı çözültü alınmaktadır. Katı-sıvı ayırma işlemi ters akımlı yıkama ile yapıldıktan sonra Ag yuklu çözültü Zn tozu ile basınçlı filtrelerde çöktürülerek kazanılmaktadır.

### 1.1. Cevherinin Kimyasal Yapısı ve Çözündürme Verimine Etkisi

Çizelge 1'de görüldüğü gibi özellikle silisiye tuf, limonit-mangan ve dolomitik yapıli cevherlerde Fe, Mn, S, Zn ve Sb içerikli minerallerin fazla olması siyanür ihtiyacını artırmakta ve ozülleme (lıç) verimini düşürmektedir. Ag içeriğinin de yüksek olması nedeniyle verimi en yüksek cevherin çeşidinin pasa tipli cevher olduğı görülmektedir. Besleme mali gümüş tenor içeriğı cevher tipine göre değişmektedir.

Kullanılan pasa türü cevher 507 g/ton gümüş içerirken limonit-mangan ve dolomitik cevherlerde ortalama gümüş tenoru 100 g/ton civarına düşmektedir. Cevher içinde siyanürü tüketen özellikle Fe, Sb, Cd, As v.b. gibi siyanisit etkisine neden olan metallerin oranının artması gümüş kazanma verimini düşürmektedir. Böylece atık içerisindeki siyanür miktarının yüksek konsantrasyon değerlerinde olmasına neden olmaktadır. Ayrıca cevherin refrakter bir yapıda olması gümüş kazanım verimini ve çözültü içerisindeki siyanür kullanımını da etkilemektedir. Bu durum ise ton cevher başına harcanan NaCN miktarlarında değişimlere ve sapmalara neden olmaktadır (Vapur, 2004). Ayrıca üretilen cevherin yüksek nem içeriğine sahip olması üretim kapasitesini etkileyerek kırma öğütme aşamasında kırıcılar ve değirmenlerde verimsizliklere neden olmaktadır. Tesiste bu amaçla özellikle yaz aylarında ham cevheri serme-kurutma işlemleri yapılmaktadır. Cevherin nem içeriğı %15-30'dan %6-7 seviyesine düşürüldükten sonra stok sahasında depolanmakta ve cevher stoğı kuru kalması için su geçirmeyen ince bir sıst tabakası ile kaplanmaktadır. Akçakoca ve diğ. (2004) yaptıkları çalışmada işletmede, üretim ve stoklama aşamasında yüksek nemli cevherin nem oranının düşürülmesini incelemişlerdir. Cevherin kurutulması nem oranının düşürülmesi gerektiğini ve tesis verimine olumlu etkisi olacağını göstermişlerdir.

### 2. MATERYAL ve METOD

Bu çalışmada Eti Gümüş A.Ş. lıç tesisi için 55 aylık süre boyunca ölçümü yapılan aylık tüvenan cevher üretilen konsantre ürün ve tenor verileri kullanılarak istatistiksel proses kontrolü yapılmıştır. Sınır değerlerinin X ve R kontrol grafikleri için ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir. X kontrol grafikleri ortalama değerlerden sapmayı gösterirken, R kontrol grafikleri ise homojenlikten ayrılma değerlerim belirlemek için kullanılmaktadır. Kontrol grafiklerinin çizilmesinde 3 adet sınır değen

Çizelge 1 Eu Gümüş A Ş Cevhe Tipleri ve Kimyasal Bileşimi (Vapur, 2004)

Cevher Tipi	Ag g/ton	Au g/ton	Zn	Fe	Cu	Cd	Sb (%)	SiO <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	As	Mn (%)	CaO (%)	Pb (%)	Ni (%)	S
Limonit-Mangan	153	0.003	0.95	25	0.01	0.48	1.19	42.90	10.40	3.27	0.74	148	1.72	0.004	1.92
Allere Tuf	70	0.003	0.21	14	0.02	1.07	0.01	65.90	13.00	0.09	0.45	0.72	0.57	0.003	0.12
Silisyen Tuf	243	0.002	1.72	43	0.01	0.87	0.29	47.40	19.40	0.62	1.66	0.52	148	0.006	2.89
Dolomit	80	0.002	3.66	1.1	0.01	0.02	0.18	13.50	17.20	0.74	1.60	1.22	0.62	0.007	2.70
Pasa	507	0.004	2.64	2.3	0.02	0.02	0.17	44.80	25.60	0.98	1.65	0.78	2.61	0.004	3.76

kullanılmaktadır. Bunlar; Alt kontrol sınır değeri (AKL), üst kontrol sınır değeri (ÜKL) ve orta değer çizgisidir (OL). Kullanılan parametreler; R: değişim aralığı(range),  $\bar{X}$ : verilerin ortalaması, R: aralık değerlerinin ortalaması ve  $\bar{X}$  eşitlik ortalamalar toplamının ortalamaların sayısına bölünmesidir. Değişim aralığı (range) hesaplanırken alt grup sayısı az olduğu için hareketli değişim (moving range) yöntemi kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{1}{n} \sum X \quad (D)$$

$$MR_2 = X_1 - X_2 \text{ ve } MR_n = X_{n-1} - X_n \quad (2)$$

R kontrol grafik değerlerini belirlemek içinde kullanılan R değeri ise değişim aralıklarının ortalamasıdır ve aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır.

$$\overline{MR} = \frac{MR_1 + MR_2 + MR_3 + \dots + MR_n}{n} \quad (3)$$

Ayrıca kalite kontrolü grafikleri sınır değerlerini belirlemek için  $D_1$ ,  $D_4$  ve  $d_2$  değerlerinin bilinmesi gereklidir. Bu değerler Çizelge 2'de verilmiştir. X grafiği için orta değer  $\bar{X}$  ve R grafiği için orta değer ise MR değeridir. X ve R kalite kontrol grafikleri ali ve üst sınır değerlerini belirlemek için aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

$$AKL_x = \bar{X} - 3 \frac{MR}{d_2}, \quad ÜKL_x = \bar{X} + 3 \frac{MR}{d_2} \quad (4)$$

$$AKL_R = D_1 \overline{MR}, \quad ÜKL_R = D_4 \overline{MR} \quad (5)$$

### 2.1. Proses Yeterlilik İndisleri

Proses yeterliliğinin belirlenmesi için  $C_p$  ve  $C_{pk}$  olarak isimlendirilen yeterlilik İndislerinin belirlenmesi gereklidir. Burada;

$$C_p = \frac{\Sigma \text{Tolerans}}{6\sigma} = \frac{\bar{USL}_x - ASL_x}{6\sigma} \quad (6)$$

$$C_{pk(1)} = \frac{\bar{USL}_x - \bar{X}}{3\sigma} \text{ ya da } C_{pk(2)} = \frac{\bar{X} - ASL_x}{3\sigma} \quad (7)$$

formüleriyle hesaplanır ve  $C_{pk}$  olarak en küçük değer alınır. Standart sapma değerini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\sigma = \frac{MR}{d_2} \quad (8)$$

Yeterlilik indisleri hesaplandıktan sonra yorum yapılmalıdır, (i):  $C_p$  ve  $C_{pk} > 1.33$  ise proses yeterlidir, (ii):  $1.33 > C_p$  ve  $C_{pk} > 1.00$  ise yeterlilik orta seviyededir ve kabul edilir. Ancak gerekli

düzenleme ve iyileştirmelere ihtiyaç vardır, (iii):  $C_p$  ve  $C_{pk} < 1.00$  ise proses yetersizdir. Tesiste kullanılan ekipmanlarda ve kullanılan işletme yöntemlerinde zorunlu olarak geniş çaplı yeniliklere ihtiyaç vardır. Kontrol grafikleri çizilirken ölçümlerin zaman aralıkları, ölçüm sayısı seçilen kontrol grafiğine uygun olacak biçimde belirlenmelidir. Alt grup sayısı belirlenirken tesisin çalışma koşulları göz önünde bulundurularak en uygun biçimde belirlenmelidir. Verilerin tesisten alınması sırasında yapılabilecek hatalar göz önünde bulundurulmalı ve yanlış veri girişi engellenmelidir. Üretim kalite ve miktarındaki sapmalar ve hatalar işçilerin dikkatsizliği, iklim şartları, çevherin yapısı, uygulanan yöntem ve donanımların performansı v.b. gibi birçok faktöre bağlıdır. Grafiklerin çizilmesinden sonra belirlenen limit değerlerine göre normal olmayan sapma değerlerinin nedenleri araştırılarak tesisteki farklı üretim birimi personeliyle araştırılmalıdır (Milton ve Arnold, 1990; Grant ve Leavenworth, 1996; Montgomery, 1997; Breyfogle, 2003; Besterfield, 2004).

Çizelge 2. Kontrol grafikleri için katsayı değerleri

n	$D_3$	$D_4$	$d_2$
2	0	3.267	1,128
3	0	2.574	1,693
4	0	2.282	2,059
5	0	2.115	2,326

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Eti Gümüş A.Ş. tesisinden kurulu bulunan kimyasal analiz laboratuvarında yapılan ölçüm sonuçlarına kullanılarak toplam 55 aylık verilere göre belirlenen parametreler için istatistiksel kalite kontrolü analizleri yapılmıştır. Her bir veri iki kez tekrarlı olarak hesaplandığı düşünülürse (n=2) Çizelge 2'ye göre  $D_3=0.00$ ,  $D_4=3.236$ ,  $d_1=1.128$  değerleri kullanılmıştır. Tesisle ölçümü yapılan parametreler için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

• Tesis verimi için (%);

$$\bar{X} = \frac{3155.78}{55} \approx 57.38, \quad MR = \frac{219.5}{55} = 3.99$$

$$ÜKL_x = 57.38 + [3(3.99/1.128)] = 67.98$$

$$AKL_x = 57.38 - [3(3.99/1.128)] = 46.76$$

$$ÜKL_R = 3.267 \times 3.99 = 13.04, \quad AKL_R = 0.00 \times 3.99 = 0.00$$

$$\sigma = \frac{3.99}{1.128} = 3.54 \text{ ve } 6\sigma = 21.24, \quad 3\sigma = 10.62 \text{ ise,}$$

$$ÜSL_x = 70.00 \text{ ve } ASL_x = 45.00 \text{ ise}$$

$$C_p = (70 - 45)/21.24 = 1.18, \quad C_{pk(1)} = 1.19, \quad C_{pk(2)} = 1.16$$

• Ham cevher üretimi için (ton/ay);

$$\bar{X} = \frac{3926924}{55} = 71398.62, \quad \overline{MR} = \frac{772386}{55} = 14043.38$$

$$\dot{U}KL_X = 71398.62 + [3(14043.38/1.128)] = 108748.03$$

$$AKL_X = 71398.62 - [3(14043.38/1.128)] = 34049.21$$

$$\dot{U}KL_R = 3.267 \times 14043.38 = 45897.72,$$

$$AKL_R = 0.00 \times 3.99 = 0.00$$

$$\sigma = \frac{14043.38}{1.128} = 12449.8 \text{ ve}$$

$$6\sigma = 74698.8, \quad 3\sigma = 37349.4 \text{ ise,}$$

$$\dot{U}SL_X = 91000 \text{ ve } ASL_X = 50000 \text{ ise}$$

$$C_p = (91000 - 50000) / 74698.8 = 0.55, \quad C_{pk(1)} = 0.52,$$

$$C_{pk(2)} = 0.57$$

- Ham cevher tenörü için (g/ton);

$$\bar{X} = \frac{1093842}{55} = 198.88, \quad \overline{MR} = \frac{651}{55} = 11.84$$

$$\dot{U}KL_X = 198.88 + [3(11.84/1.128)] = 230.37$$

$$AKL_X = 198.88 - [3(11.84/1.128)] = 167.39$$

$$\dot{U}KL_R = 3.267 \times 11.84 = 38.68, \quad AKL_R = 0.00 \times 11.84 = 0.00$$

$$\sigma = \frac{11.84}{1.128} = 10.50 \text{ ve } 6\sigma = 63.0, \quad 3\sigma = 31.50 \text{ ise,}$$

$$\dot{U}SL_X = 230 \text{ ve } ASL_X = 170 \text{ ise}$$

$$C_p = (230 - 170) / 63 = 0.95, \quad C_{pk(1)} = 0.99, \quad C_{pk(2)} = 0.92$$

- Konsantr Ag tenörü için (%);

$$\bar{X} = \frac{3371.25}{55} = 61.30, \quad \overline{MR} = \frac{438.67}{55} = 7.98$$

$$\dot{U}KL_X = 61.30 + [3(7.98/1.128)] = 82.52$$

$$AKL_X = 61.30 - [3(7.98/1.128)] = 40.08$$

$$\dot{U}KL_R = 3.267 \times 7.98 = 26.07, \quad AKL_R = 0.00 \times 7.98 = 0.00$$

$$\sigma = \frac{7.98}{1.128} = 7.07 \text{ ve } 6\sigma = 42.44, \quad 3\sigma = 21.22 \text{ ise,}$$

$$\dot{U}SL_X = 75 \text{ ve } ASL_X = 45 \text{ ise}$$

$$C_p = (75 - 45) / 42.44 = 0.71, \quad C_{pk(1)} = 0.65, \quad C_{pk(2)} = 0.76$$

- Konsantr Ag metal içeriği (kg/ay);

$$\bar{X} = \frac{452225}{55} = 8222.27, \quad \overline{MR} = \frac{109437}{55} = 1989.76$$

$$\dot{U}KL_X = 8222.27 + [3(1989.76/1.128)] = 13514.13$$

$$AKL_X = 8222.27 - [3(1989.76/1.128)] = 2930.36$$

$$\dot{U}KL_R = 3.267 \times 1989.76 = 6500.54,$$

$$AKL_R = 0.00 \times 7.98 = 0.00$$

$$\sigma = \frac{1989.76}{1.128} = 1763.97 \text{ ve}$$

$$6\sigma = 10583.83, \quad 3\sigma = 5291.91 \text{ ise,}$$

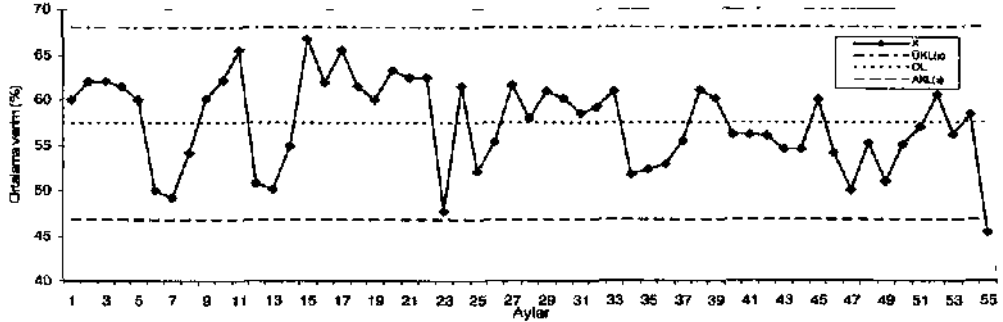
$$\dot{U}SL_X = 12000 \text{ ve } ASL_X = 6000 \text{ ise}$$

$$C_p = (12000 - 6000) / 10583.83 = 0.57, \quad C_{pk(1)} = 0.71,$$

$$C_{pk(2)} = 0.41$$

Yapılan bu hesaplamalara göre genel tesis verimi için yeterlilik katsayıları  $C_p$ ,  $C_{p(1)}$  ve  $C_{p(2)}$  (1.18, 1.19, 1.16) değerleri >1.00 olduğu için proses yeterlidir ve tesis düşük verimde çalışmaktadır. İncelenen diğer parametreler de (ham cevher üretimi, konsantr Ag tenoru ve konsantr Ag metal içeriği) ise proses yeterlilik indisleri < 1.00 olduğu için yetersizlik saptanmıştır. Ham cevher tenoru indis değerleri ise 1.00'a yakın olduğu için kabul edilebilir.

Tesis genel verimi için X ve R kontrol grafikleri Şekil 1 ve 2'de verilmiştir. Ortalama tesis verimi



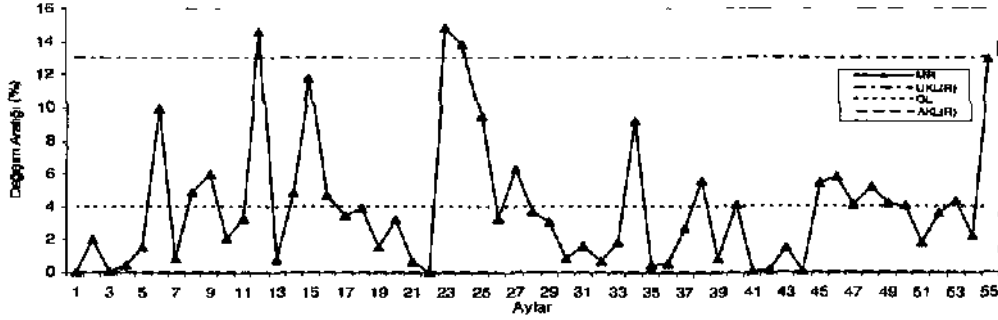
Şekil 1. Liç tesisi verimi için X kontrol grafiği

(%57.38) oldukça düşüktür. Bu nedenle tesis veriminin %65'in üzerine çıkarmak gerekir. Değişim (moving range) aralıklarında da önemli dalgalanmalar vardır. Kontrol limit değerleri 12, 24, 25 ve 55'inci aylarda sınır değerleri aşılmıştır. Şekil 3 ve 4'te ise ham cevher üretimi için kalite

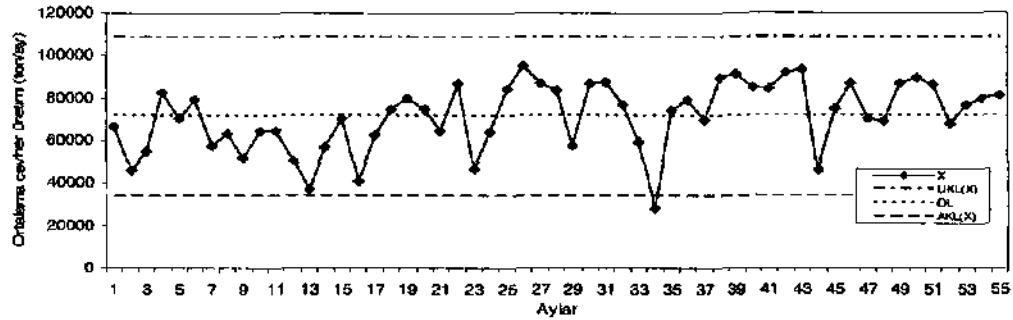
kontrol grafikleri çizilmiştir. Tesiste işlenen aylık ham cevher miktarlarında da önemli dalgalanmalar ve büyük dağılım farkları olmuştur. Buna neden olarak işletmedeki sert iklim şartları ve kırma - öğütme devrelerindeki çıkan arıza ve bant sistemindeki duraksamalar neden olmaktadır. Ham

cevher tenoru için yapılan incelemede dağılım sonuçları Şekil 5-6'da verilmiştir. Cevherin tenoru için özellikle ilk II aylık dönemde R kontrol grafiğindeki ölçüm verileri arasındaki dalgalanma çok yüksektir. Ortalama değerlerde de dalgalanma vardır. Bu nedenle harmanlama çalışmaları

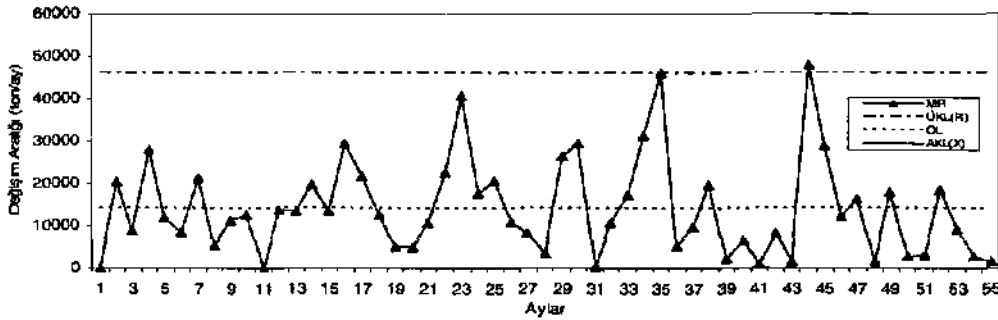
yeniden gözden geçirilip yüksek ve düşük cevherler belirli oranlarda karıştırılmalıdır ve Çizelge 1'de gösterilen düşük ve yüksek Ag lenörlü cevherler arasında uygun bir karışım sağlanmalıdır.



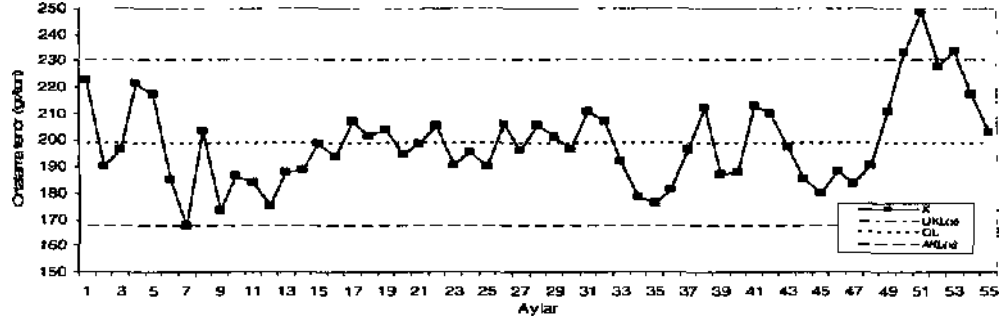
Şekil 2. Lıç tesisi verimi için R kontrol grafiğı (MR, Moving Range)



Şekil 3. Ham cevher üretimi için X kontrol grafiğı



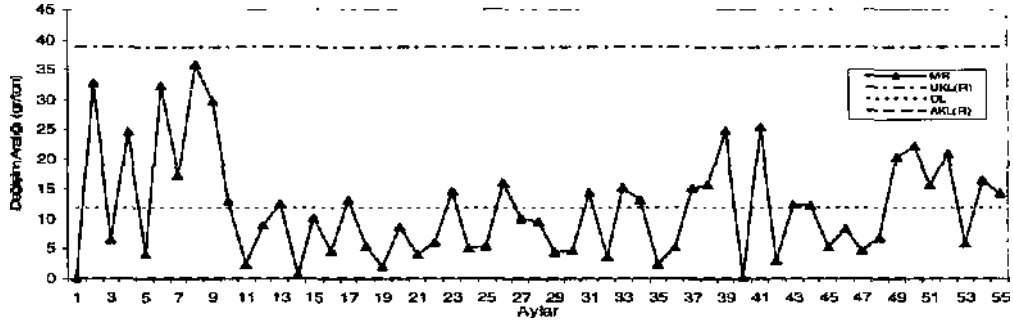
Şekil 4. Ham cevher üretimi için R kontrol grafiğı



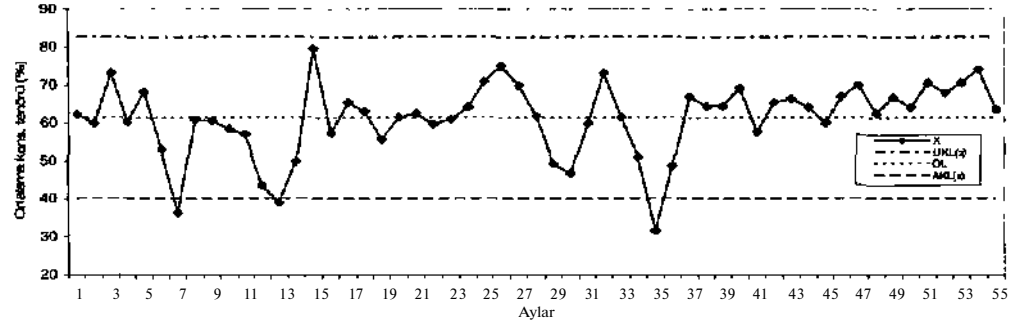
Şekil 5. Ham cevher Ag tenörü (g/ton) için X kontrol grafiği

Çünkü incelenen tüm parametreler arasında da etkileşim söz konusudur. Cevher tenöründeki farklılaşmalar tesis veriminde ve konsantre metal içeriğinde de değişimlere neden olmaktadır. Şekil 7-8'de ise tesiste elde edilen kaba konsantredeki gümüş tenör değişimleri X-R kontrol grafiklerinde sırasıyla gösterilmiştir. Kaba konsantre gümüş tenörleri ortalama olarak 7, 13 ve 35'inci aylarda

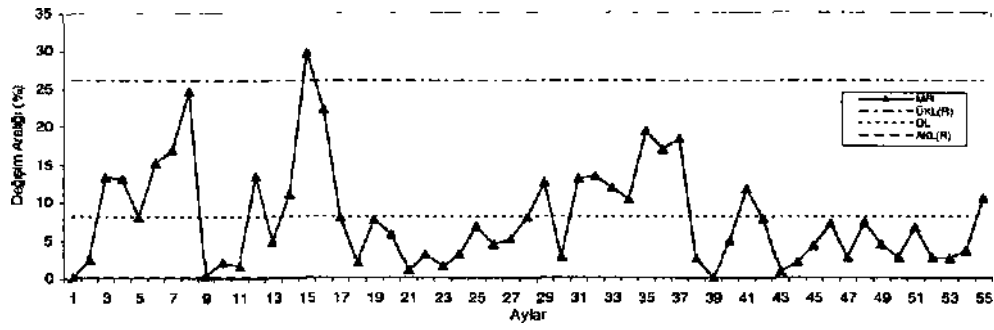
sınır değerlerinin altına düşmüştür. Değişim aralıklarında da önemli dalgalanmalar vardır. Kimyasal çözündürme (leaching) tesisinden çıkan kaba gümüş konsantresi içerisindeki gümüş metal ağırlıkları için çizilen X-R grafikleri Şekil 9-10'da verilmiştir. Şekil 9'da ve Şekil 10'da görüldüğü gibi elde edilen



Şekil 6. Hara cevher tenörü için R kontrol grafiği



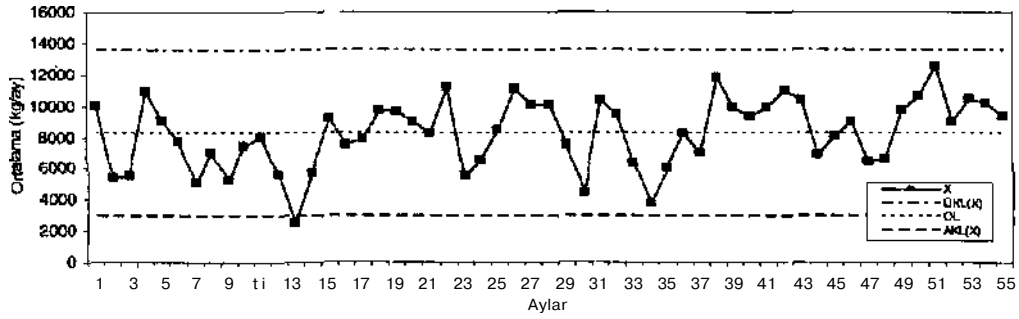
Şekil 7. Konsantre %Ag tenörü değişimi X kontrol grafiği



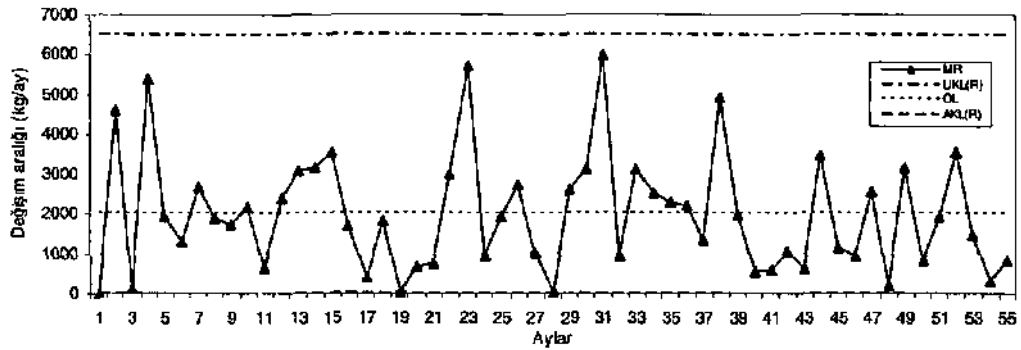
Şekil 8. Konsantrde %Ag tenora değişimi R kontrol grafiği

konsantrdeki gümüş metal iğeriklerinde de önemli dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Özellikle değişim aralığındaki (moving range) değerlerinde 2, 5, 23, 28, 31 ve 39'uncu aylardaki metal miktarlarında değişim farklılıklarında yükselmeler görülmüştür.

Ayrıca hesaplanan spesifikasyon indis değerlerinin 1.00'in altında olması da Zn tozu ile çöktürme ünitesinde yenileme çalışmalarının gerekliliğini göstermiştir,



Şekil 9. Konsantrde Ag metal ięerięi (kg) X kontrol grafiği



Şekil 10. Konsantrde Ag metal (kg) ięerięi R kontrol grafiği

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma göstermiştir ki işletmede elde edilen verim istenilen değerinde değildir. Bu nedenle karlılık oranını yükseltmek ve yeterlilik indisleri değerlerinin 1.33'ün üzerine çıkarılması gerekir. İncelenen parametrelerde (cevher üretim miktarı ve cevher tenörü, konsantr Ag tenoru ve konsantr Ag metal içeriği) proses yeterlilik indisleri < 1.00 olduğu içm tesiste çalışan kırıcılar, değirmenler, üç tankları, izabe öncesinde çinko ile çöktürme birimleri ve tıknarlar atık barajına olabilecek metal kaçakları kontrol edilmelidir. Kullanılan donanımların yenileme ile bakımdan geçirilmesi gerekli görülmektedir. Özellikle pasa turu cevherin yüksek lenorlu olması ile limonit-mangan ve dolomitik cevherlerin gümüş lenörlerinin düşük olması ve çözeltiye alma verimlerinin nispeten düşüklüğü nedeniyle (Bayat ve diğ., 2003) ortalama 198.88 g/ton Ag tenörlü luvenan cevherin iç işleminden geçirildikten sonra ortalama 87 g/ton Ag içeren kısmı artık barajına kazanılmadan gönderilmektedir. Tuvenan cevher tenoru için yeterlilik indis değeri ise yaklaşık 1.00'e yakın olduğu için yeter kabul edilebilir. Ancak en uygun harmanlama yöntemlerinin kullanılması ile tuvenan cevher tenöründeki yükselme ve alçalmalar önlenmelidir. Ayrıca, iç işleminde en uygun reaktif miktarlarının da yeniden belirlenmesi tesis verimini artırmak için faydalı olacaktır. Kimyasal çözündürme verimini artırmak amacıyla kırma ve öğütme aşamasından sonra halen işletmede uygulanmayan kavurma, basınç altında oksitleme, basınç altında klorlu oksitleme veya biyolojik oksitleme yöntemlerinin kullanılması tesis verimini artırmada önemli katkılar sağlayabilir. Böylelikle normalde siyanürlü çözeltiye geçmesi zor olan Limonit-Manganlı gümüş cevherlerinden iç verim artışı sağlanacaktır. Tesiste siyanür üç çözeltisinden Ag'nin kazanılmasında mevcut prosese (Merrill-Crowe) alternatif olarak solvent ekstraksiyon veya karbon adsorplama proseslerinin (Grosse ve diğ., 2003; Mambote ve diğ., 2000; Chen ve diğ., 1986; MacKenzie ve diğ., 1995; Lasko ve Hum, 1999) uygulanması da bazı avantajlar sağlayacaktır. Tesiste halihazırda değirmen çıkışı öğütülmüş cevher tane boyutu  $d_{90} = 0.074$  mm'dir. Newmont Mining Corporation (2004) yaptıkları çalışmada Kalgoorlie altın madeninde çok ince öğütme başarı ile uygulamaktadır ve %90 oranında genel tesis kazanma verimine ulaşmıştır. Cevherin daha ince tane boyutuna öğütülmesi ve ortalama tane boyutunun  $d_{90} < 0.050$  mm'ye indirilmesi siyanür iç tesisi gümüş kazanma verimini artırabilir. Ham

cevher açık işletmeden çıkarılıp kurutulduktan sonra stok sahasında yığın halinde depolanmaktadır. Ancak farklı cevher türlerinin harmanlanmasında ve homojenleştirme işleminde yetersizlikler görülmektedir. İstatistiksel proses kontrolü yöntemleriyle verilerin analizi, olabilecek anormal veri sapmalarının nedenlerini araştırmada ve bulmada kolaylıklar sağlayacaktır.

#### KAYNAKLAR

- Akçakoca, H. Akdaş, H., Uysal, O., 2004 Etibank 100. yıl Gümüş Madeni İşletmesi'nde nem kontrolü ve cevher stoklanması. Madencilik. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi, 43(3): 39-46
- Acarcan N., 1997. Altın ve gümüş üretiminde modern yöntem: siyanür prosesi. Alim Madencilik ve Çevre, Yurt Madencilik Geliştirme Vakfı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası ve Anadolu Madencileri Demeği. 63-77.
- Bayat, O., Vapur, H., Akyol, F., Poole, C., 2003 Effects of oxidising agents on dissolution of Gumuskoy silver ore in cyanide solution, Minerals Engineering, 16: 395-398
- Besterfeld, D.H., 2004. Quality control, 7<sup>th</sup>ed Pearson Prentice Hall, 173-233.
- Bırcı, U., Akyol, F., 1999; Hidrojen Peroksidin refrakter tip gümüş cevherlerinin siyanür iç verimi üzerindeki etkisi. Madencilik, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi. 38(1): 3-11
- Breytogle, F.W., 2003. Implementing six sigma, 2<sup>nd</sup> ed John Wiley & Sons Inc. Canada, 219-230
- Chen, J., Deng, T., Zhu, G., Zhao, J., 1996 Leaching and recovery of gold in thiosulfate based system—a research summary at ICM Trans. Indian Inst Met. 49 (6), 841- 849
- Grant, E.L., Leavenworth, R. S., 1996. Statistical quality control, 7<sup>th</sup>ed. McGraw-Hill Co., USA 35-116.
- Grosse, A. C., Dicoski, G. W., Shaw, M. J., Haddad, P. R., 2003 Leaching and recovery of gold using ammoniacal thiosulfate leach liquors (a review), Hydrometallurgy 69: 1-21
- Lasko, C.L., Hurst, M.P., 1999 An investigation into the use of chitosan for the removal of soluble silver from industrial wastewater. Environ. Sci. Technol. 33 (20), 3622-3626
- MacKenzie, J.M.W., Vimig, M.J., Johns, M.W., 1995. Henkel Aurix(R) resin—an update Randol Gold Forum '95 Perth. West Australia
- Mambote, R. C. M., Reuter, M. A., Krijgsman, P., Schulung, R. D., 2000. Hydrothermal Metallurgy An Overview of Basic Concepts and Applications. Minerals Engineering. 13 (8-9), 803-822.
- Milton, J.S., Arnold, J.C., 1990. Introduction to probability and statistics, McGraw Hill-3<sup>rd</sup> Edition, 683-691.



- Montgomery, D. C, 1997; Introduction to statistical quality control, 3<sup>rd</sup> ed. John Willey & Sons Inc., Canada. 179-186.
- Newmont Mining Corporation, 2004. Kalgoorlie (Australia), [www.newmont.com/en/operating/australia/kalgoorlie/index.asp](http://www.newmont.com/en/operating/australia/kalgoorlie/index.asp).
- Topkaya, A. Y., 1980; Kütahya Güniüşköy Ag-Pb-Zn-BaSO<sub>4</sub> complex cevherlerinden gümüş ve diğer ürünlerin elde edilebilirliğinin araştırılması. Ara rapor. Eti Gümüş A.Ş. İşletmesi (arşivi).
- Vapur H., 2004. Gümüş tesisi atıklarından siyanürün geri kazanımının araştırılması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi. No: 798.. 85-94.

