



Taguchi Yöntemi Kullanılarak Aladağ (Adana) Krom Cevherinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması

Tuğba TABAZIK

Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
16807002@ogr.dicle.edu.tr, tabazik1988@gmail.com ORCID: 0000-0002-1326-3710

Fatma Deniz ÖZTÜRK*

Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır
deniz.ozturk@dicle.edu.tr ORCID: 0000-0002-3753-7173

Geliş: 11.01.2019, Kabul Tarihi: 19.02.2019

Öz

Krom yaşantımızın birçok alanında yaygın kullanımı olan ve ülkemizde büyük rezerve sahip olan bir mineraldir. Krom serbestleşme tane iriliğine bağlı olarak farklı zenginleştirme yöntemleri ile zenginleştirilebilir. En yaygın zenginleştirme yöntemi, gravite zenginleştirme yöntemlerinden sarsıntılı masa ile zenginleştirilmez. Bu çalışmada; ilk olarak kırma, öğütme ve elek analizleri yapılarak, mineralin serbestleşme tane iriliği tespit edilmiştir. Buna takiben, zenginleştirme yöntemi gravite yöntemi ile zenginleştirme yöntemlerinden sarsıntılı masa olarak belirlenmiş ve bu yöntemle ilgili parametre tespiti yapılmıştır. Sarsıntılı masa için; eğim, genlik, hız ve tane iriliği incelenmiştir. Bu deneyler, istatistiksel bir yöntem olan taguchi metodu kullanılarak yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen bu bulgular ANOVA varyans analizleri ile değerlendirilmiştir. Krom tenörü üzerinde en çok etkiye sahip olan parametre %72,29 oranla tane iriliği olarak belirlenmiştir. Ayrıca, parametreler için optimum seviyeler sırası ile tane iriliği için +0,2 mm, eğim için 2 derece, genlik için 8 mm ve hız için 400 devir/dk olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: krom, zenginleştirme, taguchi yöntemi

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Krom; dünya genelinde bakır, demir ve alüminyum ile birlikte sanayide en çok kullanılan önemli metallere aittir. Krom dünyada ve ülkemizde büyük rezervler halinde bulunmakta ve her yıl önemli miktarlarda krom üretimi gerçekleştirilmektedir. Krom sanayide yaygın kullanım alanına sahiptir ve bunlar; metalürji, refrakter ve kimya sanayidir. Ancak, maden ocağından çıkartılan krom cevherleri, sanayinin istediği koşulları çoğunlukla, ocaktan çıktığı haliyle sağlayamamaktadır. Dolayısıyla, ocaktan çıkartılan krom cevherlerinin sanayinin istediği özelliklere getirilmesi ve satılabilir konsantre haline gelmesi ancak uygun zenginleştirme işlemleri ile gerçekleştirilmektedir. Cevherlerin zenginleştirilmesinde en önemli kriter mineralin serbestleşme tane iriliğinin belirlenmesidir ve daha sonra yan kayaçların özellikleri de belirlenerek yöntem seçimi yapılır. Bazen mineralin özelliğine bağlı olarak birkaç yöntemin kombinasyonu şeklinde uygulamalar da yapılmaktadır (Deniz, 1992; Aydın, 2001; Er, 2011; Öztürk ve ark., 2014; Öztürk ve ark., 2016).

Gravite yöntemleri (jig, sallantılı masa, spiraller, oluklar vs) ekonomik değeri olan mineral ile ekonomik değeri olmayan minerallerin arasındaki yoğunluk farkına bağlı olarak akışkan ortamda (ortam çoğunlukla su) değerli minerali değersiz minerallerden ayırmak için uygulanan bir yöntemdir ve ülkemizde krom mineralini zenginleştirmek için yaygın olarak kullanılan yöntemler arasındadır (Çilingir, 1996; Er, 2011). Ayrıca elle ayıklama gravite yöntemlerinde tane boyutu açısından sınırlayıcı olmakta, ve bu yüzden bu yöntemler sadece parça cevherler ve iri boyutlu tanelerin serbestleşmesi durumunda minerallere uygulama alanı bulabilmektedir. İri tanede serbestleşen bu tip cevherler günümüzde yok denecek kadar az olması nedeni ile klasik gravite yöntemleri ile mineralleri zenginleştirme alanları da azalmaktadır (Er, 2011).

Türkiye’de bol miktarda bulunan peridotlar krom yataklarının içinde bulunan ultrabazik kayaçlardır. Ofiyolit grubuna ait olan peridotitler, Alp orojen kuşağı boyunca

bulunmaktadırlar. Alpin tip krom yataklarının karmaşık yapıları, doku özellikleri ve küçük boyutlu yapıları, belirgin özellikleri arasındadır. Alpin tip krom yataklarında kromitin Cr_2O_3 tenörü stratiform tiptekilere göre daha geniş bir aralıkta fazla değişiklik göstermemektedir. Ülkemizde mevcut krom yatakları belirgin bir dağılım göstermemekte olup ultrabazik kayaçlar içinde yer almaktadır (Ağaçayak, 2004).

Dünya genelinde kromun en yaygın kullanımı, paslanmaz çelik üretiminin yapıldığı metalürji sanayi ve daha az kullanımı olan ise kimya ve refrakter sanayidir. Ticari olarak kullanılan krom ise tüvenan konsantre kromun işlenmesiyle elde edilen ferrokromdur (Papp, 1994; Hacıoğlu, 2010).

Kromit, metal ve kimyasal maddeler için ve refrakterlerde kullanım için ana kaynaktır. Bazı fiziksel ve kimyasal özelliklere dayanarak, cevher olarak farklı kullanıcılar için sınıflandırılır. Dünya üzerinde bulunan krom yatakları ve zenginleştirme yöntemleri bazı araştırmacılar tarafından konu edinilmiştir (Kumar ve ark. 2009; Murthy ve ark., 2011; Tripathy ve ark., 2013; Panda ve ark., 2014; Öztürk ve ark., 2014; Öztürk ve ark., 2016; Tripathy ve ark., 2016)

Deneysel çalışmalarda istatistiksel yöntemlerin kullanılması, deneysel çalışmalarda yapılan hataların azaltılması ve çalışma sürekliliği sağlanması açısından önemlidir (Ayhan, 1996; Ayhan, 2003). Taguchi metodu mühendislik analizlerinde yaygın olarak kullanılmakta olan ve güçlü bir yöntemdir. Bu yöntem, ortogonal dizileri kullanarak test sayısını önemli ölçüde azaltır ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini en aza indirir. Ayrıca, imalat sürecinde optimum kesme parametrelerini belirlemek için basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sağlar (Palanikumar, 2011).

Krom yatakları, çok düşük tenörlü cevherlerden oluşabildikleri gibi yüksek tenörlü cevherlerde olabilmektedir. Cr_2O_3 içeriği %40’ın altında olan cevherler düşük kalite, %40-46 arasında olanlar, 2. kalite ve %46’nın üzerinde olanlar 1. kalite

olarak tanımlanmaktadır. Yüksek tenörlü cevherler zenginleştirilmeden sanayide yer bulabilmektedir. Ancak düşük tenörlü cevherler özgül ağırlığa bağlı (sarsıntılı masa, jig, humphrey spiral vs.), magnetic seperation ve flotation method gibi yöntemlerle zenginleştirilmektedir. En çok kullanılan yöntem ise mineraller arasındaki yoğunluk farkından dolayı iyi sonuç veren sarsıntılı masadır. Bu çalışmada Adana-Aladağ cevherininin taguchi ortgonal deney tasarımına göre sarsıntılı masa deneyleri yapılarak anova analizi ile sonuçların değerlendirilmesi yapılması amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Deneylerde kullanılan krom, Adana-Aladağ' dan temin edilmiştir. Temsili şekilde alınan krom örneği laboratuvar tipi çeneli kırıcı kullanılarak kırılmıştır. Daha sonra çubuklu değirmen ile öğütülerek uygun tane boyutuna getirilmiş ve elek analizleri yapılmıştır. Tane irilik dağılımlarını belirlemek için yapılan elek analizlerinde 0.850 mm, 0.600 mm, 0.500 mm, 0.425 mm, 0.300 mm, 0.212 mm, 0.1 mm, 0.075 mm elek açıklıklarında elekler kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Aladağ krom cevherininin elek dağılımı

ELEK (MM)	AĞIRLIK (%)	CR ₂ O ₃ (%)	DAĞILIM (%)
+0,850	16,55	15,95	14,60
-0,8+0,6	18,24	18,37	18,53
-0,6+0,5	4,22	20,57	4,80
-0,5+0,425	4,52	21,07	5,27
-0,425+0,3	3,51	22,85	4,44
-0,3+0,212	14,06	22,86	17,77
-0,212+0,1	16,51	19,05	17,39
-0,1+0,075	20,08	14,05	15,60
-0,075+0,0	2,30	12,64	1,61
TOPLAM	100	18.0841	100

Elek analizleri sonrasında, numuneler mikroskopta incelenmiş,

- + 0.850 – 0.600 mm elek fraksiyonunda bütün tanelerin bağlı, serbest tanelerin olmadığı gözlemlenmiştir.

- + 0.500 mm elek fraksiyonunda bazı kuvars tanelerinde serbestlik söz konusu olduğu halde, krom taneciklerinin serbest olmadığı gözlemlenmiştir.
- + 0.425 mm elek fraksiyonunda %30 civarında kuvars taneciklerinin serbest olduğu, krom taneciklerinde ise serbestliğinin çok az olduğu gözlemlenmiştir.
- + 0.300 mm elek fraksiyonunda %50 civarında kuvars taneciklerinin serbest olduğu ve çok miktarda da serbest krom tanelerin varlığı gözlemlenmiştir.
- + 0.200 mm elek fraksiyonunda %80-90 oranında serbestlik olduğu gözlemlenmiştir.
- + 0.1 mm ve + 0.075 mm elek fraksiyonlarında ise tamamen serbest kuvars ve krom tanecikleri gözlemlenmiştir.

Yöntem

Serbestleşme boyutuna bağlı olarak sallantılı masada kullanılmak üzere hazırlanan numuneler (+0,2 ve +0,1) 1000 gram şeklinde sınıflandırıldıktan sonra, numune azaltma yöntemleri ile azaltılarak poşetlenmiştir. Bu örnekler laboratuvar tipi Wilfley sallantılı masa da eğim (2-3°), genlik (7-8 mm), hız (350-400 d/d), tane iriliği (+0,1 ve +0,2 mm) olacak şekilde testlere tabi tutulmuştur. Bu parametrelerin sallantılı masaya etkisini belirlemek için taguchi yöntemi kullanılarak etkili parametreler belirlenmiş, her bir değer için minimum ve maksimum değerler belirlenerek 24 deney yapılmıştır.

Deneylerin Tasarımı

Taguchi yöntemi, Dr. Taguchi tarafından geliştirilen en az deney yapma esasına dayalı bir yöntemdir (Ay ve ark., 2010). Bu çalışmada 4 parametre 2 seviye kullanılmıştır. Önemli parametreler A (eğim), B (genlik), C (hız), D (tane iriliği). Her bir etmenin iki seviyesi bulunmaktadır (Tablo 2). Bu parametreler zenginleştirme işleminde önemli olan başlıca parametrelerdir. Bu parametrelere göre L8 ortogonal dizisi seçilmiş ve tasarıma göre

düzenlenen deney tasarım tablosu Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 2. Kontrol edilebilen faktörler ve seviyeleri

FAKTÖR NO	SEMBOLLER	FAKTÖRLER	SEVİYE 1	SEVİYE 2
1	A	EĞİM (DERECE)	2	3
2	B	GENLİK (MM)	7	8
3	C	HIZ (DEVİR/DK)	350	400
4	D	TANE İRİLİĞİ (MM)	+0,1	+0,2

Tablo 3. Taguchi’ye göre hazırlanan deney tasarımı

Deney No	Eğim (derece)	Genlik (mm)	Hız (Devir/dk)	Tane İriliği (mm)
1	2	7	350	+0,1
2	2	7	400	+0,2
3	2	8	350	+0,2
4	2	8	400	+0,1
5	3	7	350	+0,2
6	3	7	400	+0,1
7	3	8	350	+0,1
8	3	8	400	+0,2

Bulgular ve Tartışma

S/N, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) olan oranı olarak tanımlanmaktadır. Ölçülmek istenen gerçek değer sinyal değeri, ölçülen değer içindeki istenmeyen paya ise gürültü değeri denmektedir. Ayrıca, gürültü faktörleri, ürünün belirlenen hedeften sapmasına neden olan değişkenler olarak da bilinmektedir. Bu sebepten dolayı, gürültünün sistem üzerindeki etkisinin mümkün olduğunca azaltılması gerekmektedir. S/N oranı bulunurken, bazı kabuller yapılmaktadır. Bunlardan en popüler olanları, en küçük en iyi, nominal en iyi, en büyük en iyi kabulleridir. Bu üç tıp kabulde de asıl mantık, S/N oranını büyütürken, sinyalin artırılırken gürültüyü minimize etmektir. Böylece, S/N oranı artırılabilir (Kasman, 2009).

S: Standart sapma

N: Ortalama

Y: Gözlenmiş değer

n: Gözlem sayısı (bir denemedeki test sayısı)

• En Küçük – En İyi

Bu tür problemlerde, kalite değişkeni Y’nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanmaktadır:

$$S/N = -10 \times \log\left(\sum \frac{Y^2}{n}\right) \quad (2.1)$$

S/N: en küçük değer en iyi durumu için sinyal/gürültü oranı

• En Büyük – En İyi

Bu durumda Y’nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/ gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$S/N = -10 \times \log\left(\sum \frac{1/Y^2}{n}\right) \quad (2.2)$$

S/N: en büyük değer en iyi durumu için sinyal/gürültü oranı

• Hedef Değer – En İyi

Bu tür problemlerde, Y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda;

$$S/N = -10 \times \log\left(\sum \frac{Y^2}{S^2}\right) \quad (2.3)$$

S/N: hedef değer en iyi durumu için sinyal/gürültü oranı

Her üç problemde de, amaç Sinyal/Gürültü oranını maksimize etmektir (Taylan, 2009).

Hesaplanan S/N ve ortalama sonuçları Tablo 4’ de verilmiştir. Ortalama ve S/N faktörlerinin her biri için seviye değerleri hesaplanarak maksimum ve minimum değerlerden etkin sıralar tayin edilmiştir (Tablo 5 ve Tablo 6). Taguchi

tasarımında en çok kullanılan S/N oranıdır. S/N oranının kullanılmasındaki temel amaç maksimize olan S/N gürültü oranını minimize etmektedir. Çeşitli S/N bulma oranları vardır. Bu deneyde S/N oranı en küçük en iyi olan formül (2.1) kullanılarak yapılmıştır. Bu sonuçlardan ortaya çıkan değerlerle ilgili bilgi verebilmek için varyans tablosu oluşturulmuştur (Tablo 7) ve (Tablo 8).

fazla olduğunu, küçük olması ise o faktörün etkisinin az olduğunu gösterir.

A (eğim) ve D (tane iriliği) faktörlerinin önemli olduğu gözlenmektedir. C (hız) faktörünün deneye olan etkisinin çok düşük olduğu ve seviye farklılıklarının çok fazla bir etki sağlamadığı söylenebilir (Tablo 5 ve Tablo 6).

Parametre Seviyelerinin Hesaplanması

Tablo 5 ve Tablo 6 incelendiğinde seviyeler arasındaki farklılığın büyümesi etki derecesinin

Tablo 4. Deney sonuçlarına göre ortalama S/N değerleri (en küçük en iyi)

Deney No	Eğim (derece)	Genlik (mm)	Hız (devir/dk)	Tane İriliği (mm)	Ölçüm1	Ölçüm2	Ölçüm3	Ortalama	S/N
1	2	7	350	+0,1	46,86	48,98	48,01	47,95	-33,62
2	2	7	400	+0,2	51,85	50,80	52,24	51,63	-34,26
3	2	8	350	+0,2	52,47	51,12	52,80	52,13	-34,34
4	2	8	400	+0,1	49,24	49,52	48,16	48,97	-33,80
5	3	7	350	+0,2	52,34	49,26	51,22	50,93	-34,14
6	3	7	400	+0,1	44,20	47,11	44,97	45,42	-33,14
7	3	8	350	+0,1	44,92	47,80	45,79	46,17	-33,29
8	3	8	400	+0,2	52,40	53,32	52,99	52,90	-34,47

Tablo 5. Parametre Seviyelerinin ve Etkinlik Derecelerinin, Ortalama İstatistiğine Göre Hesaplanması

SEVİYELER	A(EĞİM)	B (GENLİK)	C(HIZ)	D(TANE İRİLİĞİ)
1	50,17	48,98	49,29	47,13
2	48,85	50,04	49,73	51,90
DELTA(MAX-MİN)	1,32	1,06	0,44	4,77
SIRALAMA	2	3	4	1

Tablo 6. Parametre Seviyelerinin S/N İstatistiğine Göre Hesaplanış Tablosu

SEVİYELER	A(EĞİM)	B(GENLİK)	C(HIZ)	D(TANE İRİLİĞİ)
1	-34	-33,79	-33,85	-33,46
2	-33,76	-33,97	-33,92	-34,30
DELTA(MAX-MİN)	-0,24	-0,18	-0,007	-0,84
SIRALAMA	2	3	4	1

Tablo 7. Ortalama Değerlerine Göre Elde Edilen Veriler İle Oluşturulan Varyans Analizi

Kolon	Faktör	Serbestlik Derecesi (f)	Kareler toplamı (s)	Varyans (V)	Hesaplanan F değerleri	Düz kareler toplamı (S')	Katkı yüzdesi (P) (%)
1	A	1	10,34	10,34	6,19	8,67	4,65
2	B	1	6,73	6,73	4,03	5,06	2,71
3	C	1	1,15	1,15	0,69	-0,52	-0,28
4	D	1	136,47	136,47	81,72	134,8	72,29
Diğer/e		19	31,77	1,67	1	38,45	20,62
Toplam		23	186,46				100

Varyans Analizi

Varyans analizi sonuçların güven düzeylerini belirlemek için yapılmaktadır. Sonuçlardaki değişkenliği en aza indirmek için her iki durumunda varyans tabloları oluşturulmuştur (Tablo 7 ve Tablo 8).

Varyans analizi sonucunda ulaşılan veriler toplu olarak Tablo 7 ve Tablo 8’ de gösterilmiştir. Tablodaki bu veriler yardımıyla zenginleştirme gerçekleştirilirken hangi faktörlerin ve bu faktörlerin etkilerinin yüzde olarak hangi miktarda olduğu belirlenmiştir. Etkili faktörler F testiyle, bu faktör etkilerinin yüzde miktarı ise katkı yüzdesi sütunundan ortaya konmuştur (F: faktör varyansının hata varyansına bölünmesiyle bulunur).

Tablo 7 de verilen varyans analizi sonucu incelendiğinde; en önemli faktörün %72,29 ile tane iriliği olduğu bunu %4,65 ile eğim ve %2,71 ile genlik izlemektedir. Ortalama istatistiğine göre varyans analizi değerlerine bakıldığında C(hız) hariç diğer parametrelerin güven aralığına bakılır. Faktör etkisi açısından % 95 güven aralığı tercih edilmiştir. F(1,19) için % 95 güven seviyesinde F tablosundaki değer 4,38 olarak bulunur. Varyans analizi tablosunda F değerleri ile karşılaştırılınca 4,38 den büyük olan F değerleri anlamlı olarak alınır. Böylelikle A ve D faktörleri anlamlı olur.

% 95 güven seviyesinde anlamlı bulunan A ve D faktörlerinin katkı yüzdeleri % 4,65 ve % 72,29 olarak belirlenmiştir. Kontrol edilemeyen

faktörlerden kaynaklanan hata ise % 20,62 olarak belirlenir.

Yapılan S/N varyans analizi sonucunda elde edilen verilerin tamamı Tablo 8 gösterilmiştir. Bu veriler yardımıyla zenginleştirme gerçekleştirilirken hangi faktörlerin ve bu faktör etkilerinin yüzde miktarı ise çizelgedeki katkı yüzdesi sütunundan ortaya konulmuştur.

Tablo 8 de verilen varyans analizi sonucu incelendiğinde; en önemli faktörün %80,59 ile tane iriliği olduğu bunu %4,71 ile eğim ve %1,18 ile genlik izlemektedir.

S/N istatistiğine göre varyans analizi değerlerine bakıldığında C (hız) hariç diğer parametrelerin güven aralığına bakılır.

Faktör etkisi açısından % 95 güven aralığı tercih edilmiştir.

F(1,3) için % 95 güven seviyesinde F tablosundaki değer 10,13 olarak bulunur. Varyans analizi tablosunda F değerleri ile karşılaştırılınca 10,13 den büyük olan F değerleri anlamlı olarak alınır. Böylelikle D faktörü anlamlı olur.

% 95 güven seviyesinde anlamlı bulunan D faktörünün katkı yüzdesi % 80,59 olarak belirlenmiştir. Kontrol edilemeyen faktörlerden kaynaklanan hata ise % 15,88 olarak belirlenir.

Herhangi bir faktörün yüzde dağılımı (P), o faktörün karelerinin toplamının tüm faktörlerin karelerinin toplamına oranı ile elde edilir (Tanyıldızı ve Çoşkun,2013).

Tablo 8. S/N Değerlerine Göre Elde Edilen Veriler İle Oluşturulan Varyans Analizi

Kolon	Faktör	Serbestlik Derecesi (f)	Kareler toplamı (s)	Varyans (V)	Hesaplanan F değerleri	Düz kareler toplamı (S')	Katkı yüzdesi (P) (%)
1	A	1	0,12	0,12	3	0,08	4,71
2	B	1	0,06	0,06	1,5	0,02	1,18
3	C	1	0	0	0	-0,04	-2,35
4	D	1	1,41	1,41	35,25	1,37	80,59
Diğer/e		3	0,11	0,04	1	0,27	15,88
Toplam		7	1,7				100

Sonuçlar ve Tartışma

İşletmelerin artan rekabet ortamında kısa zamanda düşük maliyetlerle var olmalarını sağlayacak yöntemler arayışına girmesi sonucu taguchi yöntemi deneylerde kullanılacak bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Bu araştırmada da kromun sallantılı masa ile zenginleştirme işleminde belirlenen parametrelerin taguchi deneysel düzeneği ile yapılarak her bir parametrenin % Cr etkisi araştırılmış ve varyans tabloları oluşturulmuştur. Taguchi yöntemi ile oluşturulan varyans tablolarında en az etkili faktörün C (hız) olduğu tespit edilmiştir.

Aynı şartlarda S/N sonuçlarına göre % 95 güven düzeyinde D (tane iriliği) faktörünün sonuçlar üzerinde en etkili olduğu görülmektedir. Sonuçlar üzerindeki değişkenliği en aza indirmek temel amaç olduğundan, ortalama istatistiğine göre yapılan varyans analizinde de % 95 güven aralığına bakılmış ve A (eğim) ve D (tane iriliği) faktörlerinin etkili olduğu görülmüştür. Böylelikle değişkenliği etkileyen en önemli faktörün D (tane iriliği) olduğu tespit edilmiştir. Her iki durumda da kromun sallantılı masa ile zenginleştirme işleminde istenilen tüm avantajları verebilmesi açısından temel etkenin tane iriliği olduğu, seçim yaparken buna dikkat etmenin büyük getiri sağlayacağı belirlenmiştir. Hız bu aşamada en az etki sağlamıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü "MÜHENDİSLİK.17.012" projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Ayhan, F.D., (1996). Kompleks Bakır Cevherlerinin Optimal Flotasyon Şartlarının Tesbiti, Yüksek Lisans Tezi, 88s
- Aydın, M.E., (2001). Etibank Guleman Kef konsantratör tesisi kromit artıklarının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Ayhan, F.D., (2003). Investigation of Processing Conditions of Bitlis Kyanite Ores, PhD Thesis, 159
- Ağaçayak, T., (2004). Topraktepe (Yeşildağ-Beyşehir-Konya) kromitlerinin zenginleştirme yöntemlerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ay, M., Turhan A., (2010). Investigation Of The Effect Of Cutting Parameters On The Geometric Tolerances And Surface Roughness In Turning Operation, Electronic Journal of Machine Technologies, (7) 55-67,
- Canyılmaz, E., Kutay, F., (2003). Taguchi metodunda varyans analizine alternatif bir yaklaşım. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18 (3), 51-63.
- Çilingir, Y., (1996). Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri (2.Baskı), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İzmir.
- Çömlekçi, N., (2003). Deney tasarımı ilke ve teknikleri, Alfa Yayınları Ders Kitapları, 468s.
- Deniz, V., (1992). Burdur Yeşilova kromitlerinin zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Er, B., (2011). Multi gravite cihazlarının krom cevheri zenginleştirmesindeki etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Hacıoğlu, S., (2010). Kayseri Pınarbaşı kromitlerinin kuru zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kumar, C.G., Tripathy, S., Rao, D.S., (2009). Characterisation and pre-concentration of chromite values from plant tailings using floatex density seperator, Journal of Minerals& Materials Characterization& Engineering, Vol. 8, No:5, 367-378.
- Kasman, Ş., (2009). Lazer Mikro İşleme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine Etkisinin Deney Tasarım Yöntemiyle Belirlenmesi.5. Uluslar. İleri Tek. Sem. (IATS'09), Karabük, Türkiye.
- Murthy, Y.R., Tripathy, S.K., Kumar, C.R., (2011). Chrome ore beneficiation challenges & opportunities – A reiew, Minerals Engineering, 24, 375-380.
- F.D.Öztürk, H.A.Temel, 2016. Beneficiation of Konya-Beyşehir chromite for producing concentrates suitable for industry, JOM, Vol. 68, No. 9, 2449-2454
- F.D.Öztürk, H.A.Temel,2014. Enrichment of Bingöl (Yedisu), Diyarbakır (Hani and Ergani) and Elazığ (Alacakaya) Chromite, Mühendislik Dergisi, Cilt 5, Sayı 2, 81-88.
- Papp, J. F., (1994). Chromium life cycle study, U. S. Bureau of Mines Information Circular 9411, 94, U.S.
- Palanikumar, K., (2011). Experimental investigation and optimisation in drilling of GERP composites, Measurement, 44, 2138-2148.
- Panda, L., Banerjee, P.K., Biswall, S.K., Venugopal, R., Mandre, N.R., (2014). Modelling and optimization of process parameters for beneficiation of ultrafine chromite particles by selective flocculation, Separation and Purification Technology, 132, 666-673.
- Taylan, D., (2009). Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Tripathy, S.K., Murthy, Y.R., Singh, V., (2013). Characterisation and separation studies of Indian chromite beneficiation plant tailing, International Journal of Mineral Processing, 122, 47-53.
- Tanyıldızı, H., Çoşkun, A., (2013). Varyans (ANOVA) analizi yöntemi ile silis dumanı katkılı hafif betonun mekanik özelliklerine deney parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 29 (3), 227-233.
- Ucun, İ., Gökçe, B., Eken, M.S., Aslantaş, K., Büyüksağış, İ.S., Taşgetiren, S., (2015). Elmas kesici diskler ile doğal taşların kesilmesi işleminde optimum kesme parametrelerinin Taguchi yöntemi ile belirlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 6-16.
- Yıldırım, S., (2011). Ürün Tasarımı Geliştirilmesi: Taguchi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Ankara.

The Investigation for Beneficiation of Aladağ (Adana) Chromite by using Taguchi Method

Extended abstract

Chromite is a widely used mineral which Turkey has a high amount of reserve capacity. Chromite mineral cannot be utilized for the industry since the size of the mineral is not suited enough. Therefore, mineral should be treated after extracting from its deposits. Different techniques are being applied in beneficiation of chromite regarding the rate of linearization and particle size. The shaking table is one of the most common beneficiation methods for ore chromite. In this study, the shaking table technique was integrated as an experimental process of study.

The chromite samples were provided from Adana, Aladağ province. Before starting the experimental stage of the study, the chromite mineral was exposed to grinding and crushing treatments. Samples were fabricated by using laboratory type jaw crushers. To understand the particle size of samples, sieve analysis was performed by using the series of 0.600mm, 0.500 mm, 0.425 mm, 0.300 mm, 0.212 mm, 0.1 mm, 0.075 mm sieves. Then, the square technique was utilized to obtain representative samples for implementing chemical analysis as well as observing them in microscopic scales. The working principle of shaking table method relies on the differentiation in specific weight of materials.

In the experiments, Wilfley type shaking table was operated. Four different parameters were taken into consideration. These can be listed with their level as the slope (2-3), amplitude (7-8), the frequency of shaking table (350-400) and particle size (+0.1 and +0.2). Then, the orthogonal series was formed with respect to the level of parameters.

Taguchi method is a useful technique for obtaining the best combination of parameters with their levels. Taguchi simplifies the process of experiments by reducing the size of parameter combinations obtained from orthogonal series considerably.

After ascertaining the parameters, the appropriate experimental design, i.e. the orthogonal series was selected (Table 3). Factors and interactions were

written to the columns and the obtained results from analysis took place in the columns. Observation values, standard deviation and mean values were taken into account in finding the results of the analysis. The minimum and maximum values were determined for each value (Table 5 and Table 6) and the obtained tests were subjected to statistical procedures and the most effective parameter was determined (D). Variance table (Table 7) was created according to the average statistic and S / N statistic for the main decision and clarity of the number of variables (Table 8). F values obtained in the tables were compared with the F table values in order to determine the level of significance. According to the mean, A and D factors were meaningful and D was found as significant according to the variance of S / N.

As a result, the study showed the importance of using Taguchi analysis in experimental works because it enables professionals to make a profit in terms of time and money over the standard experimental methods. Moreover, the impact of identified shaking table parameters was investigated with the Taguchi method, and variance tables were formed. The confidence level of variance analysis was used as 95%. These statistics stated that the least significant parameter of shaking table was determined as stroke frequency. Moreover, the most significant parameters were found as particle size as a result of analysis as well.

Keywords: *chromite, mineral beneficiation, taguchi method*