

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAGUCHİ YÖNTEMİ KULLANILARAK ALADAĞ (ADANA)
KROMLARININ ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**

Tuğba TABAZIK

YÜKSEK LİSANS
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

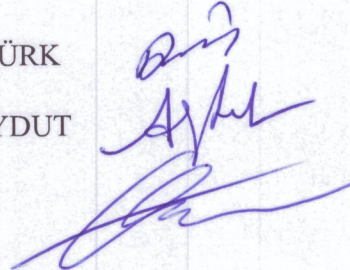
DİYARBAKIR
Haziran-2019

T.C
DİCLE UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Tuğba TABAZIK tarafından yapılan “Taguchi Yöntemi Kullanılarak Aladağ(Adana) Kromlarının Zenginleştirilmesi” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

<u>Ünvanı</u>	<u>Adı Soyadı</u>
Başkan: Prof.Dr.	Fatma Deniz ÖZTÜRK
Üye : Doç.Dr.	Abdurrahman SAYDUT
Üye : Dr.Öğr.Üyesi	Öykü BİLGİN



Tez Savunma Sınavı Tarihi: 30/05/2019

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20

Prof. Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Tüm çalıőmalarım süresince bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, katkılarını esirgemeyen, her zaman destek veren ve anlayıő gösteren danışmanım Sayın Prof. Dr. Fatma Deniz Öztürk hocama teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca eğitim hayatım boyunca hep yanımda ve destek olan aileme de sonsuz teşekkür ediyorum.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
ÇİZELGE LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	2
1.1.1. Kromun Fiziksel Özellikleri	3
1.1.2. Krom Mineralinin Kimyasal Özellikleri	4
1.1.3. Krom Mineralleri Oluşum Aşamaları	4
1.2. Dünya’da ve Türkiye’de Krom	6
1.2.1. Dünya’da Krom	6
1.2.2. Türkiye’de Krom	8
1.3. Kromun Kullanım Alanları	10
1.3.1. Kimya Sanayisinde Kullanımı	11
1.3.2. Metalurji Sanayisinde Kullanımı	12
1.3.3. Refrakter Sanayisinde Kullanımı	12
1.4. Krom Zenginleştirme Yöntemleri	13
1.4.1. El ile Ayıklama (Triyaj) ile Zenginleştirme	13
1.4.2. Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme	14
1.4.2.1. Jig ile Zenginleştirme	17
1.4.2.2. Sallantılı Masalarla Zenginleştirme	17
1.4.2.3. Knelson Konsantratörü	19
1.4.2.4. Multi Gravite Ayırıcısı (MGS)	20
1.4.3. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme	21
1.4.4. Elektrostatik Ayırma	22
1.4.5. Flotasyon	23
1.4.5.1. Flotasyon Reaktifleri	26
1.5. Taguchi Metodu	29
1.5.1. Genel Bilgi	29
1.5.2. Taguchi Yöntemi	30
1.5.2.1 Taguchi Parametre Tasarımı	31

1.5.2.2. Varyasyon Ölçümü	32
1.5.2.3. Sinyal Gürültü Oranları.....	32
1.5.3. Taguchi Deney Tasarımı Aşamaları.....	34
1.5.3.1. Değerlendirilecek Faktör ve Etkileşimlerin Seçilmesi.....	34
1.5.3.2. Faktör Düzeylerinin Seçilmesi.....	34
1.5.3.3. Uygun Ortogonal Düzenin Seçilmesi	35
1.5.3.4. Faktör ve/veya Etkileşimlerin Kolonlara Atanması	35
1.5.3.5. Testlerin Yapılması	35
1.5.3.6. Sonuçların Analiz Edilmesi.....	36
1.5.3.7. Doğrulama Deneylerinin Yapılması	36
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	39
3. MATERYAL ve METOT	47
3.1. Materyal	47
3.2. Metot.....	49
3.2.1. Kimyasal Analiz.....	49
3.2.2. Kırma-Elemente	49
3.2.3. Sallantılı Masa	50
3.2.4. Öğütme İşlemleri	50
3.2.5. Flotasyon.....	50
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	53
4.1. Analiz Sonuçları.....	53
4.1.1. Temsili Numunenin Kimyasal Özellikleri	53
4.1.2. Mikroskop Çalışması	54
4.2. Sallantılı Masa ve Taguchi.....	54
4.2.1 Sallantılı Masa	54
4.2.2. Taguchi	55
4.2.2.1. Ortalama ve S/N istatistiğine Göre Varyans Analizleri	58
4.2.2.2. Verim Değerleri Dikkate Alınarak Yapılan Varyans Analizi	61
4.3. Öğütme ve Öğütme Süresinin Belirlenmesi.....	64
4.4. Flotasyon.....	73
4.4.1. Farklı Öğütme Sürelerinin Flotasyona Etkisi.....	74
4.4.2. Bazık Ortamda Yapılan Flotasyon.....	75
4.4.2.1. Bazık Ortamda Toplayıcı Cinsinin Flotasyona Etkisi.....	75
4.4.3. Asidik Ortam Flotasyonu	84
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	93
6. KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	105

ÖZET

TAGUCHİ YÖNTEMİ KULLANILARAK ALADAĞ (ADANA) KROMLARININ ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUĞBA TABAZIK

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2019

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 olup, bunu takiben manyetik ayırıcı ve flotasyon yöntemleri gelmektedir.

Başlangıç itibarıyla en iyi yöntemin seçimi için kırma, öğütme ve elek analizleri yapılarak; mineralin serbestleşme tane iriliği tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak, zenginleştirme yöntemi seçilmiş ve seçilen yönteme bağlı olarak 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 değerlerin varyans analizleri (ANOVA) yapılmış ve tablolar oluşturulmuştur. Yapılan analizler ile optimum parametreler belirlenmiştir.

Sallantılı masa artıkları öğütme işlemine tabi tutulmuştur ve farklı pHlarda flotasyon deneyleri yapılmıştır. İlk önce bazik ortamda magnezyum flotasyonu sonra asidik ortamda krom flotasyonu yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Krom, Zenginleştirme, Taguchi yöntemi, Flotasyon

ABSTRACT

ENRICHMENT OF ALADAĞ (ADANA) CHROMITE USING TAGUCHI METHODS

MASTER THESIS

TUĞBA TABAZIK

UNIVERSITY OF DİCLE

2019

Chromium is the mineral one of which has the largest reserve in Turkey. By applying different beneficiation techniques, chromium can be enriched depend on its liberated grain sizes. There several types of beneficiation methods, and the most common beneficiation procedure is the shaking table method from gravity enrichment class. Besides ,magnetic separator is applied to serve for enrichment facilities as well as flotation.

Firstly, in prior to determining best kind of method, liberated grain size was settled by performing crushing, grinding and sieve analysis operations. Next best method was selected, and related parameters were detected. For the shaking table method, slope, amplitude of shaking table, velocity and grain size, whereas for flotation, ph, type of collector, grain size and foaming agent were investigated as a parameter. These experiments will be carried out by using taguchi method.

Variance analyses(ANOVA) of the variables obtained by using the experiments were performed and tables were prepared. Optimum parameters were determined using the analysis.

Shaking table tailings were ground and flotation experiments were carried out with different ph. In these experiments; at first MgO was enrichment with flotation in basic medium after chrom was enrichment with flotation in acidic medium.

Keywords : Cromite , Enrichment, Taguchi method, Flotation

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1.	Krom Mineralinin Fiziksel Özellikleri	4
Çizelge 1.2.	2016 yılı krom cevheri ihracatı	6
Çizelge 1.3.	Kullanım alanlarına göre (%) kimyasal istenilen bileşimleri	11
Çizelge 1.4.	Yoğunluk Farkına Bağlı Zenginleştirme Yöntemleri ve Yaklaşık Uygulama Tane irilikleri	16
Çizelge 4.1.	Tam Analiz Sonuçları	53
Çizelge 4.2.	Kontrol Edilebilen Faktör ve Seviyeleri	55
Çizelge 4.3.	Toplam Serbestlik Derecesi	55
Çizelge 4.4.	L ₈ Ortogonal dizisi	56
Çizelge 4.5.	L ₈ Ortogonal dizinin sütunlarına faktörlerin atanması	56
Çizelge 4.6.	Deney sonuçlarına göre ortalama ve S/N değerleri(en küçük en iyi)	57
Çizelge 4.7.	Ortalama istatistiğine göre temel etkilerin hesaplanması	57
Çizelge 4.8	S/N istatistiğine göre temel etkilerin hesaplanması	58
Çizelge 4.9.	Ortalama elde edilen verilerle oluşturulan varyans analizi	58
Çizelge 4.10.	S/N değerlerine göre elde edilen veriler ile oluşturulan varyans analizi	59
Çizelge 4.11.	Kontrol edilebilen faktör ve seviyeleri	61
Çizelge 4.12.	Toplam serbestlik derecesi	61
Çizelge 4.13.	L ₈ Ortogonal dizinin sütunlarına faktörlerin atanması	61
Çizelge 4.14.	Deney sonuçlarına göre ortalama ve S/N değerleri	62
Çizelge 4.15.	Ortalama istatistiğine göre temel etkilerin hesaplanması	62
Çizelge 4.16.	S/N istatistiğine göre temel etkilerin hesaplanması	62

Çizelge 4.17.	Ortalama istatistiğine göre elde edilen verilerle oluşturulan varyans analizi	63
Çizelge 4.18.	S/N Değerlerine göre elde edilen veriler ile oluşturulan varyans analizi	64
Çizelge 4.19.	5 dakika öğütülen cevherin elek analizi	65
Çizelge 4.20.	10 dakika öğütülen cevherin elek analizi	66
Çizelge 4.21.	15 dakika öğütülen cevherin elek analizi	67
Çizelge 4.22.	20 dakika öğütülen cevherin elek analizi	68
Çizelge 4.23.	25 dakika öğütülen cevherin elek analizi	69
Çizelge 4.24.	30 dakika öğütülen cevherin elek analizi	70
Çizelge 4.25.	35 dakika öğütülen cevherin elek analizi	71
Çizelge 4.26.	Öğütülen cevherin karşılaştırmalı Σ EA sonuçları	72
Çizelge 4.27.	Farklı öğütme sürelerinin flotasyona etkisi	74
Çizelge 4.28.	pH'in toplayıcı Aero830+Aero825 etkisi	75
Çizelge 4.29.	pH'in toplayıcı Aero830+Aero845 etkisi	76
Çizelge 4.30.	pH'in toplayıcı Aero825 etkisi	77
Çizelge 4.31.	pH'in toplayıcı Aero830 etkisi	78
Çizelge 4.32.	pH'in toplayıcı Aero845 etkisi	79
Çizelge 4.33.	pH'in toplayıcı Aero208 etkisi	80
Çizelge 4.34.	pH'in toplayıcı Aero238 etkisi	81
Çizelge 4.35.	pH'in toplayıcı gazyağı etkisi	82
Çizelge 4.36.	A: Aero830+Aero825, B: Aero830+Aero845, C: Aero825, D: Aero830, E: Aero845, F: Aero208, G: Aero238, H: Gazyağı	83
Çizelge 4.37.	Aero825 kollektörünün 0 bastırıcı ile flotasyonu	84
Çizelge 4.38.	Aero825 kollektörünün bastırıcı ile flotasyonu	85
Çizelge 4.39.	Aero830 kollektörünün 0 bastırıcı ile flotasyonu	86
Çizelge 4.40.	Aero830 kollektörünün bastırıcı ile flotasyonu	87
Çizelge 4.41.	Aero845 kollektörünün 0 bastırıcı ve 0 canlandırıcı ile flotasyonu	88
Çizelge 4.42.	Aero845 kollektörünün bastırıcı ve 0 canlandırıcı ile flotasyonu	89
Çizelge 4.43.	Aero845 kollektörünün bastırıcı ve canlandırıcı ile flotasyonu	90
Çizelge 4.44.	Aero845 kollektörünün 0 bastırıcı ve canlandırıcı ile flotasyonu	91

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1.	Dünyadaki krom cevherinin dağılımı (2016)	7
Şekil 1.2.	Türkiye krom yatakları haritası	10
Şekil 1.3.	Jig	17
Şekil 1.4.	Knelson Konsantratörü	20
Şekil 1.5.	Multi Gravite Ayırıcısı	21
Şekil 1.6.	Manyetik Ayırıcı	22
Şekil 1.7.	Elektrostatik Ayırma	23
Şekil 1.8.	Flotasyon makinası	26
Şekil 3.1.	Krom zenginleştirme akım şeması	49
Şekil 3.2.	Çalışmada kullanılan sallantılı masa ayırımı yaparken	50
Şekil 4.1.	5 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği	65
Şekil 4.2.	10 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği	66
Şekil 4.3.	15 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği	67
Şekil 4.4.	20 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği	68
Şekil 4.5.	25 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği	69
Şekil 4.6.	30 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği	70
Şekil 4.7.	35 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği	71
Şekil 4.8.	Öğütülen cevherin karşılaştırmalı Σ EA sonuçları grafiği	72
Şekil 4.9.	Farklı öğütme sürelerinin flotasyona etkisi grafiği	74
Şekil 4.10.	pH'ın toplayıcı Aero830+Aero825 etkisi grafiği	75
Şekil 4.11.	pH'ın toplayıcı Aero830+Aero845 etkisi grafiği	76
Şekil 4.12.	pH'ın toplayıcı Aero825 etkisi grafiği	77

Şekil 4.13.	pH'ın toplayıcı Aero830 etkisi grafiği	78
Şekil 4.14.	pH'ın toplayıcı Aero845 etkisi grafiği	79
Şekil 4.15.	pH'ın toplayıcı Aero208 etkisi grafiği	80
Şekil 4.16.	pH'ın toplayıcı Aero238 etkisi grafiği	81
Şekil 4.17.	pH'ın toplayıcı Gazyağı etkisi grafiği	82
Şekil 4.18.	A: Aero830+Aero825, B: Aero830+Aero845, C: Aero825, D: Aero830, E: Aero845, F: Aero208, G: Aero238, H: Gazyağı grafiği	83
Şekil 4.19.	Aero825 kollektörünün 0 bastırıcı ile flotasyonu grafiği	84
Şekil 4.20.	Aero825 kollektörünün bastırıcı ile flotasyonu grafiği	85
Şekil 4.21.	Aero830 kollektörünün 0 bastırıcı ile flotasyonu grafiği	86
Şekil 4.22.	Aero830 kollektörünün bastırıcı ile flotasyonu grafiği	87
Şekil 4.23.	Aero845 kollektörünün 0 bastırıcı ve 0 canlandırıcı flotasyonu grafiği	88
Şekil 4.24.	Aero845 kollektörünün bastırıcı ve 0 canlandırıcı flotasyonu grafiği	89
Şekil 4.25.	Aero845 kollektörünün bastırıcı ve canlandırıcı ile flotasyonu grafiği	90
Şekil 4.26.	Aero845 kollektörünün 0 bastırıcı ve canlandırıcı flotasyonu	91

1. GİRİŞ

Krom; dünya genelinde bakır, demir ve alüminyum gibi sanayide yaygın olarak kullanılan metallere dendir. Krom dünyada ve ülkemizde büyük rezervlere sahiptir ve her yıl önemli oranlarda krom üretimi yapılmaktadır. Krom sanayide yaygın kullanım alanına sahiptir ve bunlar; metalürji, refrakter ve kimya sanayidir. Fakat krom, maden ocağından çıkartıldığı haliyle, sanayinin istediği koşulları çoğunlukla, sağlayamamaktadır. Bu nedenle maden sahasından çıkarılan krom cevherleri sanayinin gereksinim duyduğu koşullara getirilmesi ve satılabilir konsantre haline gelmesi için uygun zenginleştirme yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Cevherlerin zenginleştirilmesinde en önemli kriter mineralin serbestleşme tane iriliğinin belirlenmesidir ve daha sonra yan kayaçların özellikleri de belirlenerek yöntem seçiminin yapılmasıdır. Bazen mineralin özelliğine bağlı olarak bir veya birden fazla zenginleştirme yapılmaktadır (Deniz, 1992; Aydın, 2001; Er, 2011; Öztürk ve ark., 2014; Öztürk ve ark., 2016).

Yaşam belirtisi olduğu andan itibaren doğadaki kaynaklardan fayda elde etme düşüncesi ortaya çıkmıştır. Bu düşünce ile yola çıkarak cevher yataklarından fayda elde etmek için kullanmayı başaran toplulukların daha refah bir yaşam sürdükleri geçmişten günümüze aktarılan bilgi birikimleri sayesinde anlaşılabilir gelmektedir. Bunun yanında doğada var olan tüm kayaçlar ekonomik olarak ele alınmazken, içerdiği mineraller bakımından kıymetli ve getirisi olanlar cevher adı altında anılmaktadır. Cevherler yerin katmanlarında olduğu halinin bulunması ile elde edilmesi belli bir öneme sahip olmazken, bunlara uygulanacak belli ve uygun işlemler sayesinde parasal bir getiriye sahip olmaktadır. Uygulanacak olan işlemlerin esas amacı oluşumları esnasında bir araya gelmiş birbirinden farklı ve birden çok fiziksel ve kimyasal yapıya sahip minerallerin istenilen parasal getiriye yön verilmesini sağlamaktır (Önal, 1980).

Maden cevherleri ocaktan çıkarıldıktan sonra izabe tesislerine ya da diğer tesislere satılır. Ekonomik değeri yüksek olan çıkarılabilir cevherlerin giderek miktarlarının düşük seviyelere gelmesi ve tesislerin standart ham maddeler talebi karşısında tenörü düşük cevherlerin bünyesinde mevcut olan değerli minerallerin özümsemek, uygun koşullara elverişli konsantreler halinde işletim tesislerine

sunulması gerekir. Bu nedenle yapılan işlemler, cevherlerin zenginleştirilme işlemleri olarak bilinmektedir (Tolun. 1960).

Yeryüzündeki her ülkenin ekonomik seviyesini direkt belirleyebilecek olan ve gelişmesine katkı sağlayacak işletim tesislerinin talep ettiği değerli minerallerin çıkartılıp istek doğrultusunda hizmete açık hale getirilmesi madencilğin temel gayesidir. Yer yüzeyinde ya da daha derinlerinde tenör oranı fazla olan cevherler daha kısa ve temel işlemlerden geçerek birçok endüstri kollarına ve metalürjik tesislere satımı gerçekleştirilebilmektedir. Oluşumları henüz bilinen veya rezerv oranları oldukça düşük olan cevherler ise endüstri tesisleri tarafından ekonomik olarak gerçekleştirilemediği için tercih edilmeyip, değerlendirilmezler. Ancak bu tür rezervler yüksek tenörlü cevherlerin yok olacak kadar azalması ya da bu minerallerin istemi farklı sebeplerden ötürü gündeme gelirse işte o zaman bu cevherler için de işletim tesislerine gereksinim oluşur. (Orel ve ark. 1967).

Krom ülkemizdeki madenler içerisinde çok kıymetli ve dikkate değer bir mineraldir. Bu amaçla bu çalışmada, Adana ili Aladağ ilçesinden sağlanan numunelerin zenginleştirme koşullarının belirlenmesi amaçlanmış ve sonuçlar istatistiksel bir yöntem olan taguchi yöntemi ile değerlendirilmiştir.

1.1. Genel Bilgiler

Doğal yer kabuğu bileşeni olarak bilinen krom metali refrakter, kimya, metalürji gibi işletim tesislerinin esas oluşum elementi olarak bilinmektedir. Krom, renk anlamına gelen Yunancadan alınmakta olup, gümüşü, parlak, sert bir metal olarak tanınmaktadır. Dünyada 50'e yakın krom minerali olup, ekonomik değeri olan sadece kromit ($FeCr_2O_4$) mineralidir. Bu mineral spinel sınıfına ait olmakla beraber kübik sistem içerisinde kristallenmektedir. Teoride $FeCr_2O_4$ olarak formülize olması yanında, genel olarak $(Mg, Fe)(Cr, Al, Fe)_2O_4$ şeklinde bulunmaktadır (Pobb, 1997, Kıdıman, 2009).

Kromit, nadir olarak oktahedral kristal, granüle kompakt kütle şeklinde varlığı bilinmektedir. İçeriklerinde dilinim bulunmaz. Koyu kahverengi, siyah renkleri olmakla beraber çizgi renkleri kahverengidir. Bileşiminde magnezyum yer almakla birlikte cevher içeriğinde %40 tenör oranına varan bir durum gözlenmektedir. Bunun yanı sıra Ti, Zn, Mn, Ni, Co gibi elementlerde içinde bulunabilmektedir (Ağaçayak 2004).

Kromit yatakları genel adı peridotit olarak bilinen ultrabazik magmatik kayaları içerisinde podiform (merceksi) yada stratiform (tabakalı) kütle şeklinde yer almaktadır. Stratiform tipi yataklar genişçe yer kaplamış, aralıksız düzgün tabakalar şeklinde büyük rezervler oluşturmaktadır. Böyle oluşan cevherler içerisinde Cr_2O_3 tenörleri %40'ın altında, Fe oranı fazla, Al oranı az, Cr/Fe oranı 2 seviyesinde bulunmaktadır. Podiform yataklar alpin orojenezinin tesiri altında bulunmuş kuşaklarda Alpin tipi yataklar şeklinde de adlandırılmaktadır. Mercek şeklinde küçük olması, aynı zamanda düzensiz bir şekle bürünmesinde tektonik hareketlere yeterince maruz kalmış olmasındandır. Bu tip yatakların rezervi birkaç tondan birkaç milyon tona kadar değişen bir durum göstermektedir. Bunların arama ve işletmeleri çok zor olduğundan ve sınırlı olduklarından büyük rezervler oluşturmaları imkansızdır. Fakat yüksek kromlu cevher oldukları bilinir. Refrakter özellikli yüksek alüminyumlu cevherlerin tek kaynağı bu tip yataklar olarak bilinir (Deniz, 1992).

1.1.1. Kromun Fiziksel Özellikleri

Krom yatakları ultrabazik kayalar içinde bulunurlar. Bu kayacın oluşturduğu gang içindeki kromit kristalleri kromu oluşturur. Bu kristallerin bulunma yoğunluğu, dokusu, yapı özellikleri kromun masif, masif bantlı, bantlı, dissemine bantlı, orbiküler, olarak nitelendirilirler. Kromitin oluşumunu sağlayan elementler Cr, Mg, Fe ve Al'dur. Silis ise kromun analizinde ayrılmayan bir parça olarak bilinmektedir (DPT, 2001).

Genel adı olması sebebiyle ultrabazik olan krom yatağı içerisinde yer alan peridotitler Türkiye'de fazla alan kaplamaktadırlar. Alpin tipi krom yataklarının gösterdikleri kompleks yapı içermeleri, doku özellikleri ve küçük boyutta olmaları tanınan özellikleri olarak ortaya çıkar. Alpin özellikli krom sahalarında kromitin Cr_2O_3 oranı stratiform tiplere nazaran daha az farklılık göstermektedir. Türkiye'deki krom yataklarının dağılımı düzensiz olmasına rağmen ultrabazik kayalar ülke üzerine dağılmış şekildedir (Ağaçayak, 2004).

Çizelge 1.1. Krom Mineralinin Fiziksel Özellikleri (Turgut, 1995)

Parametre	Özellik
Özgül ağırlığı	4,1-4,9 g/cm ³
Sertliği	5,5
Rengi	Parlak siyah
Çizgi rengi	Kahverengi
Genelde manyetik özellik taşımaz	

1.1.2. Krom Mineralinin Kimyasal Özellikleri

İşletim tesislerindeki alanlarını krom cevherinin kimyasal bileşimi tayin etmektedir. Cr₂O₃, SiO₂, Al₂O₃ oranları ve Cr/Fe oranları kimyasal içerik açısından önemlidir. Kromitin yeryüzündeki en yüksek Cr₂O₃ değeri %68'dir. Kromun sanayideki kullanım yerleri göz önünde bulundurularak kimyasal bileşim, fiziksel özellikler ile ilgili sınırlamalar söz konusu olabilmektedir. Teknolojik gelişimlere elverişli olacak şekilde cevherin bileşiminden oluşan kullanım sınırlaması gün geçtikçe esnemektedir (DPT, 2001).

Demir ile farklı şartlar altında alaşım oluşturarak, korozyona, ısıya dayanıklı çelik şeklinde kullanımı oldukça geniştir. Bunların yüksek, düşük karbonlu ferrokrom ve ferrosilikonkrom gibi alaşımlar olduğu bilinmektedir. Oksijenle tuzları oluşturduğu bilinen kromun doğal koşullardan çok nadir etkilenebilecekleri için boya sanayinde tercih sıralamasındadır (Çilingir, 1996).

1.1.3. Krom Mineralleri Oluşum Aşamaları

Kromit yatakları yalnızca, erken magmatik aşamada kristalleşerek ortaya çıkarlar. Tüm bu kromit sahaları ofiyolit oluşumlarındaki bazik, ultrabazik kayalarda yer almaktadırlar (Kıdımın 2009).

Krom yataklarının bağlantılı buldukları ultramafik kayalar; jeolojik yerleri, kayaç çeşitleri, iç yapı açısından 3 sınıfa ayrılabilmeyle olanaklı hale getirmektedir. Bunlar stratiform/tabakalı-otijenik masifler, alpin tipi-allojenik masifler ve konsantrik/zonlu-polijenik masifler olarak isimlendirilmektedir. Krom oluşumları bu

durumdan hangisi içinde bulunuyorsa ona bağlı olarak stratiform/tabakalı, alpin/podiform veya konsantrik yataklanma olarak açıklanabilmektedir (Gökçe, 1995).

Stratiform yataklar kratonik kıtasal plaka içi bölgelerde meydana gelen derin kırıklarda birden bire yükselmiş, üzerine uygulanan litostatik basıncın yok olmasıyla büyük ölçüde erimiş manto malzemesinin ayırışmasıyla meydana gelmiş, altta ultramafik kayalardan üst seviyelerde granitoyitlere kadar değişen birçok farklı kayaç çeşitlerini kapsayan, ortalama gabroik içerikli, tabakalı iç yapılı, büyük boyutlu alt prekambriyen yaşlı yataklardır. Masiflerdeki bu şekle bürünmüş kromit sahaları, alt sınıflarındaki ultramafik alanlar içinde, birkaç cm'den 15-20 metre arasında olabilen, yan kayalardaki magmatik bantlaşma düzlemleriyle pek iyi uyumlu aynı zamanda 3 ile 10 km arasında yanall süreklilikleri olan bantlar halindedirler (Gökçe, 1995).

Stratiform kromit yataklanmaları Dünya'da mevcut kromit kaynaklarının %98'ini oluşturmaktadır. Magmatik oluşumları bantlı yapılarıyla benzerlik oluştururlar. Kromit bantları zaman zaman kilometrelerce hiç aralıksız olarak devam eder. Kromit bantları zaman zaman silli bir şekilde de gözlemlenebilirler. Bir kromit bandı yaklaşık olarak birkaç mm ile 1 m kalınlığı arasında olabilir. Bu bantlar masif yapıdadırlar (Zedef, 1995).

Bushweld (Güney Afrika), Stilwater (Montana – Amerika), ve Great Dyke (Rodezya) krom yatakları, stratiform yataklarına en iyi örneklerdir (Turgut, 1995).

Stratiform yatakları Cr_2O_3 oranları genel olarak %40'tan daha da azdır. Fe oranı fazla Al oranı azdır. Cr/Fe ise 2 olarak belirlenebilmektedir (Deniz, 1992).

Kromit yataklarında alpin tipi olan kromit kristalleri genel itibari ile büyük boyutlu olmakla beraber kristalin oluşturduğu kümeleride nodüler doku, antinodüler doku ve orbiküler dokular ile magmatik akıntı ve plastik deformasyon izleri olarak tanımlanabilecek foliasyon, lineasyon, kopma yapı dokularına rastlanmaktadır (Gökçe, 1995).

Alpin tarzı yataklarda rezerv seçim zorluğu yaşandığından ve uzun vadeli ticari ilişkilerin gerçekleşmemesi gibi sebeplerden dolayı stratiform oluşumlu yatakların metalürji sanayinde kullanımını olanaklı hale getiren teknolojilerinin gelişiminde sorun

1.GİRİŞ

olmasına rağmen; elde edilen pozitif sonuçlar baz alınarak bu tarz yataklardan gerçekleştirilen krom cevheri üretimi gün geçtikçe fazlaşma potansiyeline başlamıştır (DPT, 2001)

1.2. Dünya’da ve Türkiye’de Krom

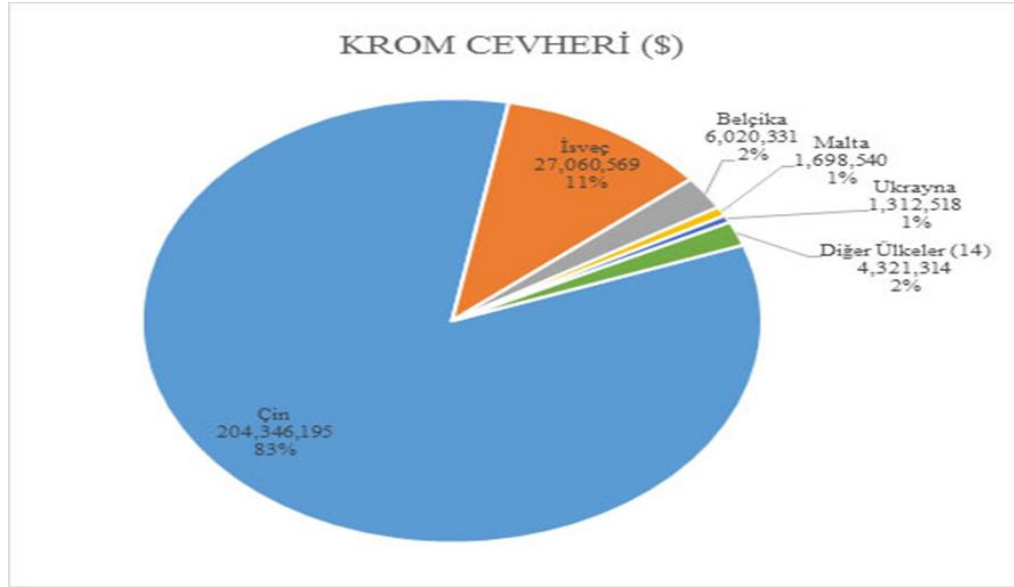
1.2.1. Dünya’da Krom

1797 yılında, Dünyada ilk krom cevheri üretilmiştir. Dünya krom cevheri üretimi zaman zaman dalgalanmalar göstermekte olmasına rağmen her gün artan bir gelişmeye maruz kalmaktadır (DPT, 2001).

Çizelge 1.2. 2016 yılı krom cevheri ihracatı (www.mta.gov.tr)

Ülkeler	Miktar (Ton)	Değer (\$)	Değere göre % pay
Çin	1.045.201	204.346.195	83,49
İsveç	152.160	27.060.569	11,06
Belçika	30.089	6.020.331	2,46
Malta	8.901	1.698.540	0,69
Ukrayna	4.644	1.312.518	0,54
Diğer ülkeler(14)	13.590	4.321.314	1,77
Genel toplam	1.254.585	244.759.467	100

2016 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından yapılan değerlendirmeye göre sırasıyla Çin, İsveç, Belçika, Malta ve Ukrayna başta yer almak üzere toplam 19 ülkeye 1.254.585 ton krom satmıştır (Çizelge 1.2). Türkiye’nin krom satışının % 83,49’unu Çin’e yapmıştır. Çin önemli bir krom cevheri alıcısıdır. Türkiye’nin 2016 yılı krom alımı ise 131.152 tondur. Türkiye ham krom cevheri, ferrokrom ve krom kimyasalları ihracatından önemli döviz geliri elde etmektedir (www.mta.gov.tr).



Şekil 1.1. Dünyadaki krom cevherlerinin dağılımı (2016) (www.mta.gov.tr)

Güney Afrika ve Kazakistan dünyanın en büyük iki krom üreticisi olarak bilinir. Güney Afrika Cumhuriyeti'ndeki krom yataklarının büyük bir çoğunluğu kapalı işletme yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Kazakistan'daki sahaların ise çoğu açık işletme yöntemi ile işleme tabi tutulmaktadır. Bu yöntemle işletilen bir krom, örneğin Batı Kef (Guleman, Elazığ) sahasındaki gibi açık işletme yöntemi ile başlayıp, daha sonrasında uygun görülmesi halinde yeraltı işletme yöntemi ile değerlendirilebilmektedir. İşletme esnasında ortaya çıkan koşullara bağlı olarak tam tersi şeklinde açık maden işletme yöntemine geçilebilmektedir (DPT, 2001).

Dünya kromit rezervlerinin (Minerals Commodity, 2011) 350 milyon tondan fazla olduğu düşünülmektedir. Kazakistan'da 180 milyon ton, Güney Afrika'da 130 milyon ton, Hindistan'da 44 milyon ton krom bulunmaktadır. Dünya krom üreticileri dikkate alındığında, söz konusu üç ülke dışındaki ülkelerde yer alan rezervlerin diğerlerine göre daha küçük yataklanmalara sahiptir. Genel olarak büyük tonajlar çoğunlukla stratiform özellikli yataklarda (Güney Afrika, Zimbabve ve Finlandiya), küçük tonajlı yataklanmalar ise Alpin tip oluşumlarda olmaktadır. Dünyada yaklaşık olarak 30 ülke krom üretmektedir. 2010 yılında Güney Afrika 8 500 000 ton üretim ile dünyada % 39'luk bir seviyeye ulaşmıştır. Ayrıca Hindistan'ın Dünya krom üretimde katettiği yolda dikkate değerdir. Devamlı artan üretim hızıyla Hindistan, 2010 yılı

içerisinde 3 800 000 ton krom üretmiş ve 2. sıraya yükselmeyi başarmıştır (Develi 2014).

1.2.2. Türkiye’de Krom

Türkiye krom madenciliği 1868 yılında başlamış ve dünya krom cevheri pazarlarındaki gelişmelere paralel olacak şekilde devamlı olarak büyüme göstermeyi başarmıştır. 1900’lerin başında çok az krom üretimi mevcutken 1934’e kadar yılda 200 bin tona ulaşmıştır. 1935 - 1949 yılları arasında 200 - 300 bin tona yükselirken, 1950 – 1985 yılları arasında 500 bin - 1 milyon tona ve 1986 - 1999 yılları arasında 1 - 2 milyon ton civarında krom üretimi yapılmıştır. 2000’li yılların başında ise yılda 500 bin tonun altına düşmüş olsa bile, 2004 yılından itibaren hızlı artış göstererek 2008 ve 2009 yıllarında da 5 milyon tonu (parça cevher - lumpyore - ve konsantre krom 1,2 - 1,5 milyon ton civarında olmuştur) geçmeyi başarmıştır. Türkiye, en baştan beri krom üreticisi ülkelerle beraber her zaman ilk sıralarda yerini almıştır. 1900 yılına kadar hemen hemen yalnızca şu durumdaki Türkiye’deki krom cevheri, dünya krom piyasasında aktif olmuş ve yılda belli bir miktarı geçmeyen dünya krom isteği karşılanmıştır. Takip eden yıllarda da genel olarak 3. ve 6. sıralarda yer almayı başarmıştır. Türkiye 2013’te yaklaşık olarak 2 milyon ton krom cevheri ihracatı yapmış, 2015’teki üretimi ise 1,2 milyon tona düşmüştür (<http://www.madencilik-turkiye.com>).

Türkiye’ de krom üretimi yaygın olarak 7 bölgede yer almaktadır. Bu bölgeler; (Çınarlıdere, 2012)

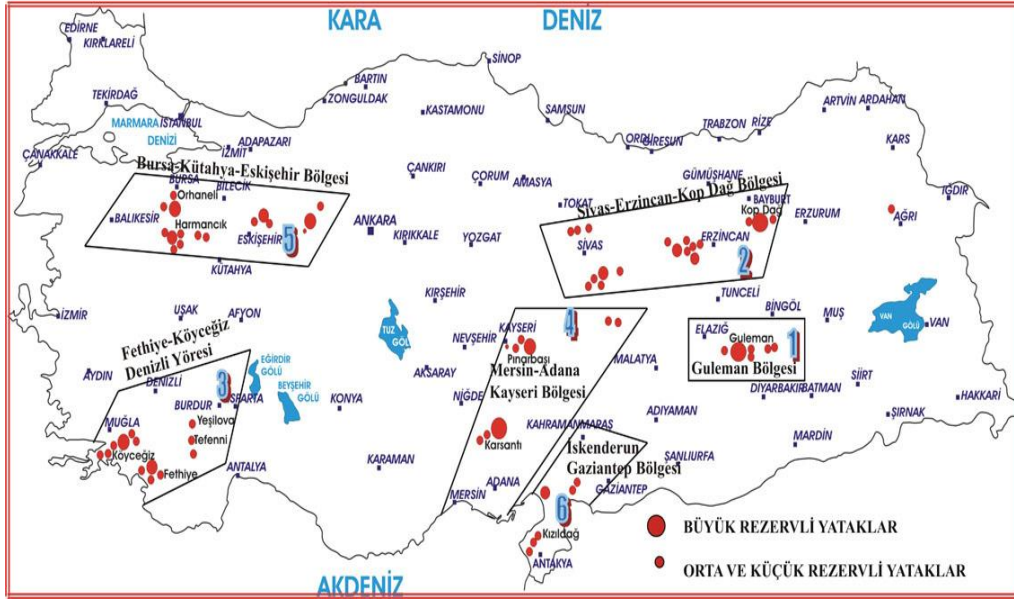
- Bursa-Eskişehir
- Muğla-Denizli
- Tokat-Erzincan
- Kayseri-Sivas
- Mersin-Adana
- Antakya-K. Maraş
- Elazığ

Krom madenciliği ilk dönemlerde az maliyet yüksek karlarla üretim yapan Bursa, Fethiye, Muğla, Denizli benzeri limanlara kısa mesafedeki yüksek içerikli krom yataklarına yoğunlaşmış olup, direkt satılabilir parça cevher üretimi yapılmıştır. 1950’li yıllara kadar yüzey madenciliği genel itibari ile açık işletme şeklinde üretim gerçekleştirilmiş ve yöntem olarak yalnızca elle ayıklamaya tabi tutulmuştur. 1950’lerden sonra açık ocak şeklinde üretilebilecek yatak sayısında düşüş görülmüş ve yer altı madenciliğine doğru geçilerek düşük (% 20-40 Cr₂O₃) tenörlü cevherlerin çok fazla değerlendirilmesine aşamalı olarak başlanmıştır. İstatistikler tam bilinmemekle beraber 1980’li yıllara kadar Türkiye krom üretiminin yaklaşık olarak % 85’ini parça kromitten, % 15’i de zenginleştirilmiş cevherlerden elde edilmiştir. Türkiye krom işletmeciliği, dünyada yer alan düşük fiyatla satılabilen krom cevherleriyle rekabet durumuna giripmemektedir. Böylelikle Türkiye krom işletmeciliği yalnızca maliyet odaklı olmakla beraber verimli cevher hazırlama ve zenginleştirme üniteleri oluşturarak rekabet gücünü koruyabilecek, gelişmesini de devam ettirebilecektir (Karahan, 2011).

Kromit rezerv durumu bakımından Türkiye Şekil 1.2’te görüldüğü üzere zengin bir ülkedir. Fakat yeterli arama durumları gerçekleştirilmediğinden kesinlik kazanan bir rezerv durumu yoktur (Önal, ve ark.,1988).

Büyük rezerv, orta ve küçük rezervli krom yatakları Şekil 1.2 ‘de haritalandırılıp detaylı olarak gösterilmiştir. Şekil 1.2’de görüldüğü üzere Bursa-Kütahya-Eskişehir bölgesi, Sivas- Erzincan bölgesi, Guleman bölgesi, Mersin-Adana-Kayseri bölgesi, İskenderun-Gaziantep bölgesi, Fethiye-Köyceğiz-Denizli yöresi krom yatakları bakımından oldukça iyi rezervlere sahiptir.

TÜRKİYE KROM YATAKLARI



Şekil 1.2. Türkiye krom yatakları haritası (www.mta.gov.tr)

Krom dünyada herhangi bir borsaya adanmış bir maden olmamaktadır. Fiyatı arz talep doğrultusunda ortaya çıkmaktadır. Dünyanın fazla rezerv değerlerine sahip, büyük yatırımlarla üretim gerçekleştiren Türkiye Çin'in devamlı krom isteğini karşılamak gayesiyle her yıl üretimini arttırmayı hedeflemiştir. Paslanmaz Çelik için önemli bir hammadde sayılan krom cevheri dünya üzerinde çok yaygın üretimi olan 3. metal olarak bilinir. Çin Halk Cumhuriyeti kromun dünyada en büyük alıcısıdır. Bu ülkeye her sene birçok farklı ülkeden yaklaşık 8 Milyon Ton krom ihracı gerçekleştirilmektedir. Güney Afrika'ya yaklaşık %40'ı, Türkiye'ye %25'i, Ummana %10'u, %25'lik kısmı ise Pakistan, Hindistan, Kazakistan, İran, Filipinler ve Brezilya ülkelerine aittir (<http://www.koyunoglu.com.tr/krom-ve-dunya-piyasasi.html>).

1.3. Kromun Kullanım Alanları

Dünya genelinde kromun en yaygın kullanımı, paslanmaz çelik üretiminin yapıldığı metalurji sanayi ve daha az kullanımı olan ise kimya ve ısıya dayanıklı malzeme sanayidir. Ticari kullanıma sahip ferrokrom ise ham kromun işlenmesiyle elde edilir (Papp, 1994; Hacıoğlu, 2010).

Krom cevherlerinin kullanım alanlarına göre bileşimleri Çizelge 1.3 'de verilmiştir (Temur, 1997).

Çizelge 1.3. Kullanım alanlarına göre % kimyasal istenilen bileşimleri
(Temur,1997)

Cevher tipi	Cr/Fe	Cr ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	P	Fe	Cu
Metalürjik	3	46-48	-	0,085	0,04	-
Kimya	1,6	44	-	-	-	-
Refrakter	-	31	58	-	-	1

Çizelge 1.3’de yer alan element içerikleri göz önüne alındığında kullanım alanları kimyasal bileşimlerine ve fiziksel özelliklerine metalürji, kimya, refrakter ve döküm sanayinde ayrı bir şekilde sınıflandırılırlar.

1.3.1. Kimya Sanayisinde Kullanımı

Birçok krom kimyasalları direkt krom cevherlerinden sağlanan sodyum bikromattan elde edilir. Fazla miktarda kullanım olanağına tabi olan sodyum bikromat kimyasalı kromik anhidrit ile krom oksittir. Yardımcı bileşik olarak bilinen kurşun kromat, bazik krom sülfat potasyum bikromat, potasyum çinko kromat, sodyum kromat, amonyum bikromat ise ticari olarak üretilmektedir. Kromun paslanmayı engelleyici özelliği olması nedeniyle uçak ve gemi sanayinde yaygın olarak; kimya endüstrisinde de sodyum bikromat, kromik asit ve boya hammaddesi yapımında kullanılmaktadır (Kıdımın, 2009).

Kimyasal kromit konsantrelerinin Cr₂O₃ tenörü bakımından yüksek ve ince taneli olması, aynı zamanda da SiO₂ ve Al₂O₃ tenörlerinin de yok denecek kadar az olması istenir (Çilingir, 1990).

Metal kaplama, boya pigmentleri, deri tabaklama, parlatici malzemeler, seramikler, katalizör, konserve kutuları, su temizleme, sondaj çamuru ve benzeri daha fazla çeşitlilik sağlayan yerlerde de kullanımları vardır. Krom kimyasallarının sanayileşmesini tamamlamış ülkelerde ağaç malzemeleri çürüme önleyici olarak da kullanılmaktadır. 1980’lerin bitişine doğru ağaç çürüme önleyici imalinde krom

kimyasallarının %10 oranında senelik artışın hızı ABD'nin bu alanda yerel maddelerin kullanımını sınırlandırmasından kaynaklanmıştır (DPT, 2001).

1.3.2. Metalurji Sanayisinde Kullanımı

Sert, parça cevher şeklinde fiziki özellikleri krom cevherinin metalürji sanayinde çok fazla kullanılmasına elverişli olsa da konsantre krom tozlarının kullanımına da yer verilmektedir (Samanlı, 1998).

Paslanmaz çelik üretimine katkı sağlayan ferrokrom üretimini de krom sağladığından metalürji sanayinde çok değerli bir yere sahiptir. Krom bunların yanı sıra çeliğin sertleşmesini sağlarken, kırılma ve darbelere karşı dirençli olmayı sağlar. Oksitlenme ve aşınmaya karşı ise koruma gerçekleştirir. Ayrıca ferrokrom silah sanayinin de değerli kıldığı maddeler arasındadır (DPT, 2001).

Metalürji sanayinde son zamanlarda kromun %95'i ferrokrom olacak şekilde tüketimi paslanmaz, ısıya dayanıklı çelik şeklinde sağlanmaktadır. %12-40 oranında krom içermiş ise paslanmaz çelik olarak adlandırılır. %9'luk bir paya sahip olan ve her geçen gün daha düzenli bir biçimde artma gösteren paslanmaz çelik sanayinde krom demir alaşımları şeklindedir (Kıdıman, 2009).

1.3.3. Refrakter Sanayisinde Kullanımı

Refrakter sanayinde tuğla üretmek için kullanılan ve refrakter olarak isimlendirilmesi için Cr_2O_3 yanında Al_2O_3 oranı daha çok olması gerekir. % Al_2O_3 oranının refrakter yapımındaki kromitte olabildiğince yüksek olması arzu edilir. Çünkü bu durum kimyasal ve mekanik dayanıklılığın fazla olmasını sağlar. Kromit ergime noktası yüksek ve nötr bir kimyasal mineraldir. İzabe fırınlarının yüzeylerinin iç tarafında kullanılmasını olanaklı kılan en önemli şey yüksek sıcaklıkta asidik ve bazik durumlara karşı dayanıklı olmasıdır. Ateşe dayanıklı malzemeler (ateş tuğlası, ateş çimentosu, ateş toprağı) kromitin değerli refrakter ürünüdür. Bunlar dışında cam, kağıt, çelik ve benzeri işletim tesislerinde de krom refrakterler kullanılır (Ağaçayak, 2004).

Cr_2O_3 içeriği %32' nin üzerinde, $Cr_2O_3+Al_2O_3$ içeriği %60' ın üzerinde, Al_2O_3 içeriği en az %20 olan ve %6'nın altında SiO_2 , %1'in altında CaO içeren mineraller kullanılmaktadır (Çınarlıdere, 2012).

1.4. Krom Zenginleştirme Yöntemleri

Cr_2O_3 parça cevheri %32-34'ün üzerinde kullanılacak alanlar bulabilirken, %32'den düşük Cr_2O_3 cevherleri için ise zenginleştirme yapılması gerekmektedir (Güney, 1990).

Dünya üzerinde bulunan krom yatakları ve zenginleştirme yöntemleri bazı araştırmacılar tarafından araştırılmıştır (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)

El ile ayıklama (triyaj) ile zenginleştirme, yoğunluğa göre cevher zenginleştirme; jig, sallantılı masa, knelson konsantratörü, manyetik ayırma, multi gravite ayırıcısı, elektrostatik ayırma, flotasyon gibi zenginleştirme yöntemleri ile krom zenginleştirilebilmektedir.

1.4.1. El ile Ayıklama (Triyaj) ile Zenginleştirme

Triyaj olarak kullanımı bilirse de Türkçe'de ayıklama olan uygulama madenciliğin kullanıma başlandığı anda uygulanan ilk hareketi oluşturur. Bu uygulama elle gerçekleştirilmesine teknolojik gelişmeler sayesinde ara verip benzer şekilde ayıklama sağlayan modern ayırıcılar ile aynı olacak biçimde ayırıştırma işlemini sürdürmektedir (Yiğit, 1994).

Elle ayıklama, yoğunluğa göre zenginleştirmede tane boyutu açısından sınırlama göstermekte ve bu yüzden bu yöntemler sadece iri zengin tenörlü 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).

Kromitin elle ayıklama işleminin yapılması durumunda dikkat edilmesi gereken durumlar; renk, görünüm belirginliği, özgül ağırlık ve parlaklıktır. Gang mineralinin bu özelliklerinin cevherin özelliklerinden farklı olması sebebiyle ayırma kolaylaşır. Bu durum parça cevherler için yapılabileceği gibi, zenginleştirme işlemi öncesi

zenginleştirme işleminin ilk basamağı olarak da gerçekleştirilebilmektedir (Gence, 1985, Önal,1980).

Küçük üretim imkanına sahip işletmeler çoğunlukta olduğu için cevherlerde parça cevher şeklinde bulunduğundan sadece elle ayıklama uygulanmaktadır. 25 mm olan elek açıklığından geçen cevherlerin +25 mm olan bölümü tavuklama işlemi ile gerçekleştirilir. Gerçekleştirilen bu tip zenginleştirme işleminde atıklarında kayda değer bir şekilde kromit kaldığından saklanarak gelecekte kullanılmasına olanak sağlanmalıdır (Çilingir, 1990).

1.4.2. Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme

Akışkan ortamlarda hareket ettirilerek ortaya çıkan gang ve kromit arasındaki farklılıkları göz önüne alarak gerekli ayrılmaları sağlayan zenginleştirme işlemine “özümlü ağırlık farkına göre zenginleştirme” denir (Ağaçayak, 2004). Bu ayırımın gerçekleştirilmesine gravite zenginleştirilmesi ismi de verilmektedir (Önal, 1980).

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 yoğunlukla 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).

Taggart (1951) tüm bu akışkan ortamdaki hareketlerin gözlemlerini yaparak zenginleştirme kriterleri oluşturmuş, özgül ağırlık farkının zenginleştirme işleminde ne derece etki olduğuna ve nasıl uygulanacağı konusunda ortalama bir durum meydana getirmiştir (Ergin, Cöcen, ve Semerkant, 1998). Buna göre;

$$k = (\rho A - \rho) / (\rho H - \rho)$$

k = konsantrasyon kriteri

ρA = Ağır mineralin yoğunluğu

ρH = Hafif mineralin yoğunluğu

ρ = Akışkan ortamın yoğunluğu

$k > 2,5$ ise; ayırma çok küçük boyutlara varana dek kolayca kullanılabilir. Serbestleşme boyutuna göre bütün yoğunluğa bağlı zenginleştirme yöntemlerine de uygulanabilir.

$2.5 > k > 1.75$ aralıklarında ise; ayırma daha da kolaydır. Ancak 0,1 mm'ye kadar kullanılır. Serbestleşme boyutuna göre tüm yoğunluğa göre zenginleştirme yöntemlerinde uygulanabilir.

$1.75 > k > 1.50$ aralıklarında ise; ayırma zor hale gelir, alt uygulama boyutu 1 mm'dir. Ağır ortam ve jig kullanılabilir.

$1.5 > k > 1.25$ aralarında ise; ayırma fazlaca zordur. Fakat, bilye büyüklüğünde olan tanelere uygulanabilir. Ağır ortam ve jig kullanılabilir.

$k < 1.25$ aralarında ise; uygun bir şekilde ayırma gerçekleştirilir. Fakat akışkanın yoğunluğu artırılarak ayırma gerçekleştirilir (Taggart, 1951).

3,5- 4 gram/cm³ yoğunluklu olivini içerisinde barındıran cevherler ve yan kayaçlarında fazlaca peridotit kayaç parçaları içeren cevherler yoğunluğa göre zenginleştirme olanağı elde etmektedir. Eğer kromit ve gang mineralleri arasındaki yoğunluk farkları fazlaca olduğu ve olivin minerali içermediği şartlarda manyetik zenginleştirme metoduna başvurulabilmektedir. Gravite zenginleştirilmesinin verimi konsantrasyon şartına bağlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Kurşun, 1993).

Çizelge 1.4'te yer alan bilgiler doğrultusunda ayırma ve yöntem sütununda yer alan her bir ayırma ve yöntemin farklı etkin taneler boyutu oluşturarak zenginleştirme olayına dahil olmaktadır.

Çizelge 1.4. Yoğunluk Farkına Bağlı Zenginleştirme Yöntemleri ve Yaklaşık Uygulama Tane irilikleri (Güney, 1990)

Yöntem ve Cihaz	Tane iriliği (mm)
Ağır Ortam	
Statik Tip	2.0 – 50.0
Dinamik Tip	0.3 – 20.0
Jig	0.1 – 20.0
Reicher/Vickers Spiralleri	0.07 – 1.0
Sallantılı Masalar	0.04 – 1.0
Yıkama Olukları	0.2 – 2.0
Bartles Mozley Masası	0.005 – 0.1
GEC çift Yüzeyle Masa	0.02 – 0.1
Santrifuj Ayırıcılar	
Yatay	0.005 – 0.1
Düşey	-0.4

Yaygın olacak şekilde yoğunluğa göre birkaç zenginleştirme metodu sayacak olursak; sallantılı masa zenginleştirme, jig zenginleştirme, humprey spirallerinde zenginleştirilmesi olarak bilinir ve 2,5-3 cm ile 0,2 mm arasındaki minerallere bu zenginleştirme yapılabilmektedir (Çilingir, 1996).

30-5 mm gibi iri tanelerde gerekli şekilde serbestleşme sağlamak istersek öncelikle jiglerde işleyerek değerli parça cevher haline getirilir ve daha sonra jig atıkları öğütmeye tabi tutularak sallantılı masalarda işlenmektedir (Çilingir, 1996).

Cevherin serbestleşme tane iriliği 3 mm den çok daha ince ise hepsi sallantılı masalarda işleme tabi tutulur.

Zenginleştirme cihazına uygun olanı seçmek adına her türlü faktör ve farklılıklar göz önüne alınmaktadır. Fakat genel olarak humprey spirallerinde mineralin 6-0,3 mm tane sınıflarında, -0,3 mm tane sınıfında ve öğütülmüş humprey spirali orta ürünleri sallantılı masaya tabi tutulmaktadır (Çilingir, 1996).

1.4.2.1. Jig ile Zenginleştirme

Jig ile zenginleştirilme yapılabilmesi için kromitlerin iri boyutlarda serbestleşmesi gerekmektedir. 25 – 1 mm arasındaki krom minerali hidrolik jiglerle zenginleştirilir. Havalı jiglerde ise minimum tane iriliği 0.1 mm'ye kadar olabilmektedir. Ayırmanın verimliliğini arttırmak için dar tane aralıklarında sınıflandırma yapılmalıdır (Gence, 1985).



Şekil 1.3. Jig (www.google.com)

1.4.2.2. Sallantılı Masalarla Zenginleştirme

Tabaka şeklinde akışkan alanda ayırma işlemi gerçekleştiren, aynı zamanda ayırıcı yüzeyi hareket halinde olan bir cihazdır. Sallantılı masalar, kromun zenginleştirilmesinde halen fazlaca kullanılan cihazlardır. Sallantılı masa temelde üzerinde tabaka şeklinde akışkanlığı olan dikdörtgen, paralel kenar, dikdörtgene benzeyen yamuk ya da V şeklinde bir yüzeye sahip olabilirler. Belirli bir mekanizmayla masanın uzun eksenini yönünde, geriye doğru oluşan hareketi çok hızlı olmak üzere ileri – geri hareketleri mevcuttur (Gence, 1985).

Sallantılı masada ayırma etkisini arttırmak gayesiyle masa yüzeyinde eşiklerden oluşturulur. Eşiklerin yükseklikleri hareket sistemi kenarından konsantre çıkış kısmına doğru azalarak konsantre çıkışında sıfır değerini almaktadır (Aydın, 2001).

Sallantılı Masanın bilinen ve kullanılan türleri; Wilfley, Deister masalarıdır.

Sallantılı masanın performansını besleme ürünü, yoğunluk, eşik durumu, kapasite, hız ve genlik, eğim, su sarfiyatı, güç sarfiyatı etkilemektedir.

Beslenen ürün: Sallantılı masa boyut ve yoğunluk dikkate alınarak gerçekleştirilen bir ayırma söz konusu olduğu için beslenen ürünün daha önce sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesi masanın kapasitesini aynı zamanda etkinliğini artıracaktır (Bayat, 2009).

Yoğunluk: Masalarda akışkan ortamda yeterli yoğunluk farkı olan mineraller birbirinden kolayca ayırabilir. Zenginleştirme kriteri 1.25 ten fazla olan iki mineral birbirinden kolayca ayrılabilir. Fakat mineraller kıyaslandığında farklı şekillere sahipse, zenginleştirme kriteri 1.0 civarında olsa dahi ayırma işlemi gerçekleştirilebilir (Bayat, 2009).

Eşik Durumu: Derinlik ve yoğun eşik durumu ile bilinen ve aynı zamanda iri boyut tanelerin zenginleştirildiği kum masaları olarak ve fazlaca ince taneli, düşük özgül ağırlıklı tanelerin eşikler üzerinde kayarak uzaklaştırılmasının hedeflendiği çok az derinlikli şlam masaları olarak iki tipte olabilmektedir. Eşikler arası uzaklık en büyük tanenin boyutunun en az 3 katı olmalıdır (Bayat, 2009).

Kapasite: Masanın kapasitesi beslenen ürünün tane boyutu ve yoğunluğuna göre belirlenir. 1.7-1.2 mm aralıktaki mineralin zenginleştirilmesinde normal boyutlarda var olan eldeki masanın kapasitesi 2 ton/saat tir. Şlam masasında durum 0.1 ton/saate kapasiteye kadar azalmaktadır (Bayat, 2009).

Hız ve Genlik: Masa dakikada iri taneler için 230-285, ince taneler için 285-325 gidip-gelme arasında olmaktadır. Genlik 19-25 mm arasında olabilmektedir. İri taneli ürün olduğunda uzun genlik ve düşük hız, ince taneli ürün olduğunda kısa genlik ve yüksek hız tercih edilir. Ön ayırma işleminde çoğunlukla uzun genlik düşük hız, temizleme aşamasında kısa genlik ve yüksek hız tercih edilir (Bayat, 2009).

Eğim: Eğimi, mineral boyutuna, ayrılacak cevherin yoğunluğuna, ayırma özelliğine ve yıkama suyuna bağlı olarak değişebilir. İnce tanede serbestleşen mineraller söz konusu olduğunda 1/48 - 1/24, iri tanede serbestleşen mineraller söz konusu

olduğunda 3/48 - 1/12, bir de ön zenginleştirmede 1/6 ya kadar olanlar tercih edilebilir (Bayat, 2009).

Su Miktarı: Su kullanım miktarı beslenen ürünün tane büyüklüğüne, işlemin özelliğine göre değişim gösterir. Ön zenginleştirmede 1.4 ton su/ton cevher, temizlemede söz konusu olunca da 1.2 ton su/ton cevher sarf edilir. Şlam masalarında yaklaşık 10 ton su/ton cevhere kadar su kullanımı olmaktadır (Bayat, 2009).

Güç Tüketimi: Tek katlı masalarda güç kullanımı 0.7-2.2 kws/ton civarında iki veya üç katlı masalarda da 2.3 kws/ton civarında olmaktadır (Bayat, 2009).

1.4.2.3. Knelson Konsantratörü

Santrifüj kuvvetin uygulandığı sistem ince veya çok ince tanede serbestleşen ağır minerallerin zenginleştirilmesinde önemli bir teknolojidir. Tanenin üzerine uygulanan santrifüj kuvvet yaklaşık olarak gravite kuvvetin 50 katı kadardır. Tanelere maruz kalan santrifüj kuvvetin şiddeti arttıkça elde edilecek tanelerin boyutu daha da inmektedir (Magumbe, 2002).

Knelson ve Falcon gibi santrifüjlü ayırıcılar gravite yöntemi ile gerçekleştirilen ayırma teknolojisi içindedirler. Bunlar genellikle 30 µm dan küçük zenginleştirilmesinde daha verimli olarak çalışırlar (Ren ve ark.1994).

Knelson ayırıcısı 1988 yılında (KC) Byron Knelson tarafından Kanada'da patenti alınmıştır. Şekil 1.4'te Knelson konsantratörü verilmiştir. Knelson ayırıcısı, 6 mm den küçük tane iriliği ile çalışabilmektedir (Patchejieff ve ark.1995).

Basit yapısı yüksek kapasiteli oluşu ve geniş tane boyutu aralığında çalışabilmesi aynı zamanda yüksek zenginleştirme oranlarının sahip olduğu cihaz olması açısından önemli bir avantaja sahiptir (Alp ve ark., 2004; Celep ve ark., 2006).

Knelson ayırıcısı dönen kısım ile birlikte, yüksek hızda dönen yataktan meydana gelir. Üstten beslenen ürün santrifüj kuvvetinin etki etmesi ile yoğun taneler konsantrasyonunda yatağın oluklarına takılır. İşlenmeyen mineralleri de atık olarak pülpün üst akısıyla beraber atılır. Besleme işlemi Knelson konsantratörün haznesine düşey bir tüp aracılığıyla yapılır. Beslenen ürün %0-70 pülp yoğunluğu arasında yapılabilmektedir.

Konsantratör haznesinin alt kısmında beslenen ürünü dağıtacak olan bir pervane bulunur (Knelson ve ark. 1993).

Knelson ayırıcısının esas çalışma değişkenleri; yıkama suyu ve hızı, beslenen pülpün özgül ağırlığı ve tutulma süresidir. Bu ayırıcı yerçekimi ivmesinin yaklaşık 60 katı kadar bir santrifüj kuvvet oluşturabilme yeteneğine sahiptir (Huang, 1996).

Farklı santrifüj ayırıcılarıyla karşılaştırıldığında, mekanizma veya dizayn açısından farklılıklara sahiptir (Zhang, 1998).



Şekil 1.4. Knelson konsantratörü (www.google.com)

1.4.2.4. Multi Gravite Ayırıcısı (MGS)

Multigravite cihazı, ince ve çok ince tanede serbestleşen mineraller için sallantılı masanın düzeninin bir tambur haline dönüştürülmesi ile oluşturulmuş bir ayırma cihazıdır. Bu tambur belirli bir hızla döndürülerek tanelere karşı etkin olan yerçekimi kuvvetinden daha büyük olan bir merkezkaç kuvvetinin etkisi altında bırakılarak tanelerin tambur yüzeyinde katı bir tabaka oluşturması sistemine bağlı olarak gerçekleştirilen zenginleştirme cihazıdır (Kıdıman, 2009).

Bu ayırıcıların daha çok pilot ve endüstriyel ölçekli uygulamaları olabilmektedir. MGS ünitesi; bir yanı açık uçlu 0,6 m uzunluğunda, 0,5 m çapında tambur şeklinde bir

yapıdadır (Şekil 1.5). MGS cihazı %20-50 katı oranında ve 0,2 t/s kapasite ile çalışabilmektedir (Kuşun, 2003).

Hazırlanan sulu ürün belirli bir basınçla hareketli tamburun orta noktasından iç yüzeye doğru beslenir. Amaç bu esnada oluşabilecek türbülansı azaltmaktır. Yıkama suyu tamburun üst çıkış ucuna yakın bir yerden verilir. Yoğunluğu yüksek olan mineraller, akışkan ortamda tabanda tambur yüzeyine tutunarak hareket etmekte ve merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yarı katı bir tabaka oluşmaktadır (Aslan, 1996).



Şekil 1.5. Multi Gravite Ayırıcısı (www.google.com)

1.4.3. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme

Minerallerin mıknatıs alanında, manyetik kuvvetlerin geçirgenlik derecelerinin farklı olması özelliğine bağlı olarak yapılan zenginleştirme yöntemidir. Bu özellik mineral ayırıcısının mıknatıslı kutuba doğru az ya da kuvvetli bir kuvvetle çekilmesi ile ortaya çıkar. Kolay bir şekilde çekilebilen mineraller manyetit ve franklinittir (Tolun, 1960; Önal, 1980).

Çok ince taneli kromit cevherinin manyetik ayırıcı ile zenginleştirilmesi, kromitin yan kayacı olan olivinin yakın yoğunlukta olması sebebi ile tercih edilen bir yöntemdir (Çilingir, 1996).

Manyetik ayırıcı ile zenginleştirme yapılabilmesi ve verimliliğin yüksek olabilmesi için tanelerin dar tane sınıf aralığında gruplandırılmış olması gerekmektedir. Mineraller manyetik ayırıcı ile yalnız veya farklı yöntemlerle birlikte de 3-0,1 mm arasındaki tanelerde uygulama alanı bulur (Sundar ve ark, 1993).

Kromit mineralinin manyetik hassasiyeti $3.000-7.500 \times 10^6$ ve manyetik özgül duyarlılığı $650-2.000 \times 10^6 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Cevher ince tanede serbestleşiyorsa ince öğütme gerektiği için yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar tercih edilir. Mineral 0,2 mm'nin üzerinde serbestleşiyorsa kuru manyetik ayırıcı tercih edilebilir (Çilingir, 1990).

Kromitin manyetik ayırıcı ile mineralin manyetik duyarlılığı, gang minerallerinin özellikleri, mineralin içinde manyetitin bulunması gibi faktörler önemlidir (Bayat, 2009).



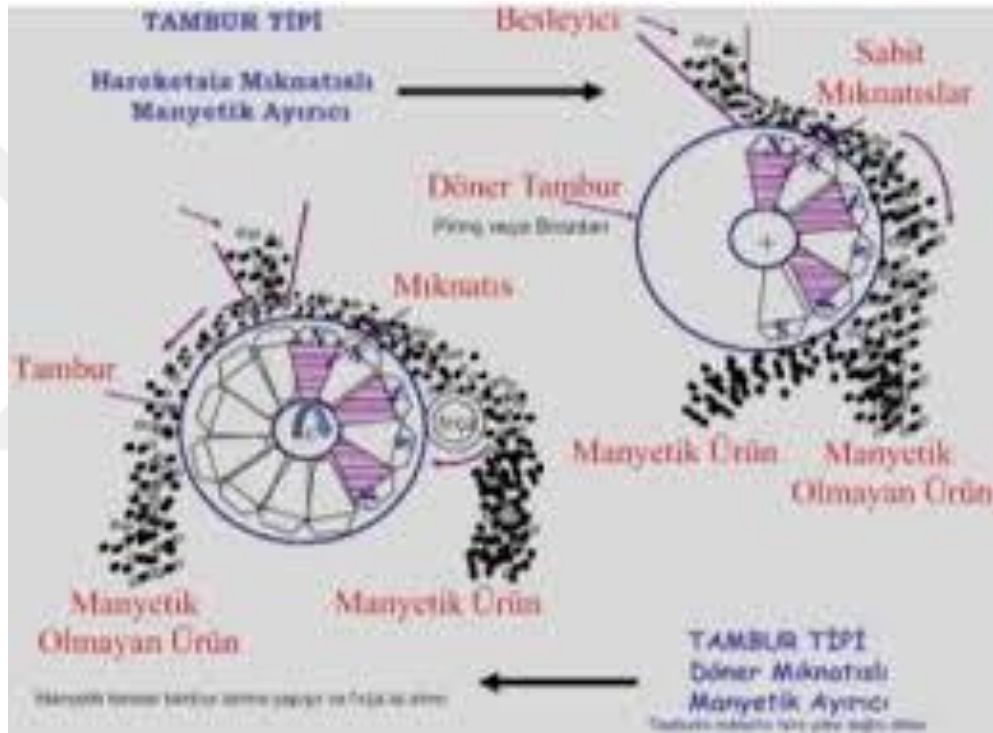
Şekil 1.6. Manyetik Ayırıcı (www.google.com)

1.4.4. Elektrostatik Ayırma

Cevherin yapısında bulunan minerallerin iletken durumlarına dayanarak ve minerallerin kuru bir şekilde zenginleştirilmesi için uygulanan metoda, elektrostatik zenginleştirme denmektedir. Elektrostatik kuvvetlerin hakim olduğu yöntem Şekil 1.7 de görüldüğü gibi minerallerin, yüksek gerilim altında, statik elektrik yükü elde edip bu yükü bir süre tutabilme özelliğinden faydalanılmaktadır. Elektrik etkisinde kalan mineraller, elektron elde ederek ya da vererek, elektrikle yüklendikleri için,

topraklanmış veya elektrik ile yüklü çeşitli malzemeler tarafından itilir, çekilir veya yüksüz (nötr) hale dönüşebilir (Önal, 1980).

Bu yöntem ile zenginleştirilen krom minerallerinde tenörü (Cr_2O_3) yüksek ancak randımanı düşük ürünler elde edilir. Randımanın düşük olmasının sebeplerinden biri, çok ince tanelerin, daha iri tanelerin yüzeylerini kaplayarak bu tanelerin yüksek alan içindeki dayanımlarını olumsuz yönde etkilemeleridir. Diğer bir sebep de serpantin minerali içeren cevherlerde serpantin elektrik alanı içinde iletkenmiş gibi hareket etmesi sebebi ile ayırma verimi aksi yönde etkilenmektedir (Kurşun, 1993).



Şekil 1.7. Elektrostatik Ayırma (www.google.com)

1.4.5. Flotasyon

Minerallerin yüzey özellikleri ve fizikokimyasal özellikleri arasındaki farklılıklarından faydalanarak istenen minerallerin yüzdürülmesi istenmeyenlerinde bastırılması ile meydana gelen ayırma yöntemine flotasyon denir (Yıldız, 2007).

Bir cevher için, flotasyon koşullarının doğru bir şekilde düzenlenmesi cevher mineralinin sahip olduğu zeta potansiyellerinin belirlenmesine gereksinim duyar (Shaw, 1970; Fuerstenau ve Palmer, 1976; Atak, 1982; Leja, 1982; Laskowski, 1999).

Laboratuvarda flotasyon Şekil 1.8'de gösterilen flotasyon makinası ile gerçekleştirilir.

Bazı minerallerin, kristal yapılarının oluşumunda yer alan atomların birbirleri arasında oluşan kimyasal bağlar nedeniyle su sevmez mineraller olarak isimlendirilirler. Örneğin ; kükürt, grafit, talk, elmas, molibdenit ve kömür bilinen doğal su sevmez minerallerdir. Aynı zamanda sülfür mineralleri de oksijensiz ortamda doğal su sevmez özellik gösterirler (Weiss, 1985; Crozier, 1992; Wills, 1997).

Flotasyonda ilk olarak zenginleştirilecek mineraller serbestleşme boyutuna öğütülmelidir. Serbestleşme boyutunun da en az flotasyon ortamında oluşacak hava kabarcıklarının taşıyabileceği boyut büyüklüğünde olması gerekir. Aksi gerçekleşirse eğer, tane serbestleşmiş olsa bile tane ağırlığı hava kabarcığı ile tane arasındaki çekme kuvvetinden büyük olacağından hava kabarcığı serbestleşmiş zenginleştirilmesi gereken malzemeyi yüzeye taşıyamayacaktır (Yıldız, 2007).

Öğütme boyutu küçüldükçe tanelerin yüzey alanlarındaki artışa paralel olarak kabarcık yüzey alanının da artması gerekmektedir. Bu ise ancak, normal flotasyon işleminde kabul edilen kabarcık boyutlarından çok daha küçük boyutlarda kabarcık üretimi ile mümkündür. Küçük boyutlu kabarcık üretimi ya yüzey gerilimi düşürmek üzere daha fazla köpürtücü kullanılması ile ya da karıştırma hızının artırılması sonucu hücre içine verilen havanın daha küçük boyutlar da dağıtılması ile veya bazen de küçük kabarcık üretimi için özel tasarlanmış donanımlar kullanılması ile başarılabilir. İnce tanelerin flotasyonunda karşılaşılan bu sorunlar gösteriyor ki ince tanelerin flotasyonu esnasında flotasyon hücresinde kabarcık tane karşılaşma, çarpışma olasılığının artırılması ve böylece konsantr veriminin yüksek olması için karıştırma hızının yüksek tutulmasını gerektirir. Ancak hücre içindeki türbülans akış rejimlerinde köpük ve pülp ara yüzeyindeki dalgalanmaları arttırdığından konsantr tenörünün avantaj sağlamadığı unutulmamalıdır. Küçük boyutlu tanelerin, suyun bir parçası gibi hareket etme durumlarının başka önemli sonucu ise hidrolik sürüklenme olarak da adlandırılan mekanik taşımadır (Engelbrecht ve woodburn, 1975; Kaya ve Laplante, 1988; Kirjavainen ve Laapas, 1988; Kirjavainen, 1996; Smith ve Warren, 1989; Ross, 1990,1991 a,b).

Flotasyonda su, pülp içerisinde bulunan öğütülmüş cevher yanında kıvamlandırma esnasında pülp içine organik ve inorganik olmayan kimyasallarda ilave edilir; yani pülpün sıvı kısmı su değil, gerçekte seyreltik bir çözeltilidir. Bundan ötürü, sıvı kısmın yüzey gerilimi suyun yüzey geriliminden doğal olarak farklıdır (Shaw, 1970; Leja, 1982; Fuerstenau, 1995).

Kromit minerali genel olarak yağ asitleri ile yüzdürülmektedir. İstenmeyen minerali bastırarak sodyum silikat kullanılır. Asit ortamda sülfat ve sülfonatlarla flotasyon yapılabilir. Bir kalsiyum tuzu ile canlandırma sağlanarak yüksek pH'da sülfat ve sülfonatlarla da yüzdürülebilmektedir. Kromit çoğunlukla iri tane de gravite yöntemi ile kolayca zenginleştirilebildiği için sadece ince malzemelerdeki kromitin kazanılması için flotasyon yöntemi uygulanır (Atak, 1990).

Flotasyonun gerçekleşebilmesi için, serbestleşmenin sağlanması, köpüğün devamlılığı, taneciklerin hava kabarcığına yapışması gereklidir.

Hidrofobi ve Hidrofil: Flotasyonda kolay yüzeabilen tanecikler, hava sever özelliğe sahip olan minerallerdir. Bu özelliği taşımayan mineral taneciğini yüzdürebilmek için, tanecik doğal hava sever özelliğe sahip değil ise yüzey özelliği değiştirilir. Bu olmaz ise tanecik çöktürülerek su sever özellik kazandırılır (www.ceherhazirlama.com).

Yüzeyleri gözenekli veya kaba olan minerallerde temas açısı 90^0 den küçükse, mineral bir hidrokarbon yağı ile muamele edilerek temas açısı 90^0 derecenin üstüne çıkarılabilir. Nötr bir yağ ile muamele sonucu havaya tutunma yeteneği kazanan mineral yüzey arasındaki boşlukları nötr yağ ile doldurur. Temas açısı 90^0 dereceyi aştığı için hava kabarcığı yüzeye kolaylıkla yapışır (Atak, 1982).

Temas açısı ölçümleri sadece yatay yüzeylerde değil, aynı zamanda eğik yüzeylerde de gerçekleştirilebilir. Bununla beraber, yüzey boşlukları ve bu boşlukların parlak kesit yapımı sırasında kullanılan tozlar tarafından doldurulması da önem verilmesi gereken konulardandır (Shaw, 1970; Leja, 1982; Subrahmanyam vd., 1999; Stechemesser ve Nguyen, 1999).

Seçici flotasyon, bir mineralin diğer mineral grubundan yüzdürme yoluyla ayrılmasıdır. Ayrılacak mineralin sayısına göre bir veya daha çok aşamalı flotasyon işlemi gerçekleştirilebilir. Selektif flotasyonda, her aşamada yüzdürülecek mineral için ayrı bir yüzdürme ortamı hazırlanır. Minerallerin birbirlerinden farklı yüzey özelliklerinden faydalanarak istenen mineraller, sıra ile yüzdürülür ve farklı konsantreler halinde elde edilir (www.ceherhazirlama.com).



Şekil 1.8. Flotasyon makinası

1.4.5.1. Flotasyon Reaktifleri

Minerallerin yüzey özellikleri değiştiren kimyasal maddelere toplayıcı reaktifler denir. Toplayıcı reaktiflerin yüzmesi istenen minerallerle reaksiyon yapmasını kolaylaştıran canlandırıcı ve bastırıcılarıdır. Pülp içerisinde tanelerin şlamla kaplanmasını önlemek amacıyla da dağıtıcılar vardır. Ayrıca köpük oluşumu ve köpüğün dayanımını arttırmak için köpürtücü reaktifler flotasyonda kullanılan reaktiflerdir (Atak, 1982).

Toplayıcılar (Kollektörler)

Flotasyon sırasında amin kullanıldığında toplayıcının görevini yerine getirmesini sağlayan RNH_3^+ iyonlarının ortamda bulunması istenir. Bundan ötürü, yüksek pH'larda

tepkime geri döneceğinden aminlerle kullanıldığı ortam pH'ı genellikle hafif bazik veya asidik olmalıdır (Smith ve Akhtar, 1976; Lima vd., 2005; Pearse, 2005).

Toplayıcı mineralin hava sever olmasını sağlayarak yüzey özelliklerini değiştirir. Kollektörlerin etkili olabilmesi için suda erimeleri gerekir (www.ceherhazırlama.com).

Doğal flotasyon özelliğine sahip olan mineraller, yüzeylerinde iyonik özellik bulundurmeyen minerallerdir. Bu maddelere katı hidrokarbonlar örnek olarak gösterilebilir. Mineralin yüzeyi hidrokarbonla kaplanacak olursa, köpüğe yapışabilme özelliği artar. Kollektörün yapısında bir hidrokarbon olmak zorundadır. İstenen diğer bir koşul ise kollektörün, yüzdürülerek istenen mineralin yüzeyi ile kimyasal veya fizikokimyasal olarak ilgisi olması gerekir. Üçüncü koşulsu; su içerisinde dağılabilmelidir. Kollektörler iki sınıfa ayrılırlar anyonik kollektörler ve katyonik kollektörlerdir. Anyonik kollektörler organik asitlerle ve bunların tuzlarından meydana gelir. Katyonik kollektörler ise azota bağlanmış hidrokarbon zincirinden oluşan kollektörlerdir (Atak, 1982).

Mineral yüzeyinin toplayıcı ile kaplanması;

1. Mineral flotasyonunun mümkün olabilmesi için, çözelti içerisinde hidrokarbon ihtiva eden bir madde mineral yüzeyinde toplanmalıdır.
2. Genellikle hidrokarbon ihtiva eden madde bir iyondan ibarettir.
3. Mineral yüzeyindeki toplayıcı tabakası genellikle bütün yüzeyi kaplayan bir tabakadan daha azdır.
4. Kollektörün mineral yüzeyinde toplanması, buna eşdeğerde iyonun mineralden çözeltiye geçmesi ile mümkün olur.
5. Bazı minerallerin flotasyonunda oksijenin ve yüzey oksitlenmesinin önemli rolü vardır. Bu oksitlenmeyi kollektörlerle kaplamanın bir kısmı olarak kabul edilir.
6. Kollektörün yüzeyde toplanması için fazla miktarda kollektör ilavesine gerek yoktur. Aksine fazla miktarda kollektör ilavesi yüzeyde kollektör toplanmasını önler (Atak, 1982).

Düzenleyiciler

Flotasyon toplayıcıları suyun mineral yüzeyindeki etkinliklerini azaltan veya arttıran özelliğe sahiptirler. Düzenleyiciler; canlandırıcılar, bastırıcılar, pH düzenleyicilerdir (Yıldız, 2007).

pH Düzenleyicileri: flotasyonda pH ayarlayıcı olarak diğer kimyasallar içerisinde önemli bir ölçüt olan ‘kolay bulabilme’ ve ‘ucuz olabilme’ özelliklerinden dolayı sönmüş kireç veya kireç sütü yaygın bir kullanıma sahiptir. Ancak kirecin içerdiği Ca^{2+} iyonlarının topraklanmaya neden olabilme ve bazı mineraller için canlandırıcı etkisi yapmaktadır. Bu sebeple bu gibi durumlarda pH ayarlayıcı olarak kireç yerine Na_2CO_3 kullanılabileceği gibi, NaOH gibi göreceli olarak pahalı olan kimyasallar, pH'ı yükseltmek için kullanılabilirler. Asidik ortam elde etmek için ise genelde yine aynı gerekçe ile H_2SO_4 kullanılabilir (Atak, 1982; Weiss, 1985; Crozier, 1992; Atak ve Tolun, 1994; Wills, 1997).

Canlandırıcılar flotasyonda kullanılan toplayıcılar bazı minerallerin yüzeyini yeterince farklılaştırılmazlar. Bu gibi durumlarda kazanılmak istenen mineralin aktifleştirmek için canlandırıcı kullanılır (www.ceherhazirlama.com).

Canlandırıcılar suda eriyebilen tuzlar olup, flotasyon ortamında iyonlaşarak, mineral yüzeyleri ile reaksiyona girerler (Yıldız, 2007).

Bastırıcılar

Bu reaktifler, bazı mineral yahut mineral grubunun yüzey gerilimini belirli bir zaman ya da flotasyon olayının devamı süresince farklılaştırmak için kullanılır. Bastırıcıların anorganik olabileceği gibi organik olanlar da mevcuttur. En önemli bastırıcılar Na_2SiO_3 , CaO, Bikarbonat ve siyanürdür (www.ceherhazirlama.com).

Dağıtıcılar

Şlam oluşumları mineral taneciklerinin yüzünü kapladığı için kollektörler görevini yerine getirememektedir. Su camı, şlam bastırıcı iyi bir dağıtıcıdır. Şlam bastırmada kullanılan koruyucuların iyonları, şlam taneciklerinin elektrik yüküyle zıt

işarete olduklarından, bu eriyikler devreye girince, şlam tanecikleri yapışarak ufak yumaklar halinde tabana inmektedirler (www.ceherhazırlama.com).

Köpürtücüler

Mineral taneciklerinin yüzeylerini kimyasal maddelerle değiştirerek bir kısmının yüzebilir ve bir kısmının da yüzemez duruma getirilmesi, yüzebilir mineralin hava kabarcığına yapışması, yüzemeyen mineralin hava kabarcığından uzaklaşması, yüzebilen mineralin yüzemeyen mineralden ayrılması kademeleri vardır (Atak, 1982).

Köpük yapıcı kimyasallar hava su ara yüzey gerilimini düşürerek köpüğün oluşmasını sağlarlar. Bu kimyasalların suda homojen dağılabilmeleri için suda çözünebilir olmalıdırlar (Yıldız, 2007).

1.5. Taguchi Metodu

1.5.1. Genel Bilgi

Taguchi yöntemi farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından en iyi kombinasyonu belirlemek için oldukça uygun bir yöntemdir. Her bir parametrenin, her bir seviyesini oluşturan tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda Taguchi yönteminde ortogonal dizi tablosu kullanılmakta ve çok daha az sayıda deneysel çalışma ile sonuca ulaşmak mümkün olmaktadır (Yıldırım, 2011; Taylan, 2009).

Taguchi metodu kaliteyi tasarım vasıtasıyla temin etmeye çalışan yaklaşımlar sınıfına girmektedir. Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilen Taguchi metodu istatistiksel proses kontrol ve bu türden yeni kalite yönetim tekniklerini içeren kalite mühendisliği teknikleri üzerinde durmaktadır. Taguchi metodunun üzerindeki çoğu ilgi ve tartışma bu yöntemin istatistiksel yönü üzerinde odaklanmıştır; bu yöntem kalite geliştirme ve vurgulanması gereken proses sağlamlığı (robustness) üzerine kurulan bir yöntem biliminin kavramsal iskeletidir. Taguchi metotları ile elde edilen sonuçlar aracılığıyla üretimin nasıl devam ettirilmesi gerektiğine karar verilir (Işık, 2000).

En fazla bilginin mümkün olan en düşük maliyetle sağlanabilmesi için deneysel verilerin derlenerek yapılması gereken tasarım belirlenmelidir. Araştırmacının ihtiyaç

duyduğu veriyi sağlamak, yani karşılaştığı sorunu çözebilmek için araştırma hipotezlerini uygun bir şekilde oluşturmalarıdır (Çömlekçi, 2003).

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 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).

Taguchi'nin Kalite Felsefesi:

Taguchi'nin kalite felsefesi, genel anlamda aşağıdaki yedi adımla açıklanır.

1. Bir ürünün, üretim kalitesini arttırmanın amacı, o ürünün kullanımından dolayı toplumda meydana gelecek kayıpların en aza indirilmesidir.
2. Rekabetin olduğu sektörlerde, işletmelerin sektördeki yerini koruyabilmesi için kaliteyi sürekli geliştirmesi, maliyetleri azaltması ve hızlı hareket etmesi sağlanmasıdır.
3. Kaliteyi sürekli geliştirmek için, ürün performansını etkileyen karakteristiklerin, istenen değerden sapmalarını en aza indirmesi gerekir.
4. Ürün performansındaki değişimden dolayı ortaya çıkan müşteri kaybı, performansı belirleyen karakteristiklerin hedef değerden sapmalarının karesi ile orantılıdır.
5. Ürüne ait son kalite değeri ile üretim maliyeti, onun tasarım aralığı ile üretim prosesine bağlıdır.
6. Bir ürünün veya prosesin performansındaki değişimi azaltmak için, ürün veya prosesin performansını dolaylı olarak etkileyen etmenlerin belirlenmesi gereklidir.
7. Ürün veya proses parametrelerinin değişim performanslarının azaltılması için istatistiksel deney tasarımı kullanılır (Khosrow,1989).

1.5.2. Taguchi Yöntemi

Taguchi yönteminin esas amacı, istenen kalitede bir ürün elde etmek için yapılan deneyler sonucunda hedef değere ulaşma ve/ veya hedeften sapmaların minimizasyonu sağlamaktır (Işık, 2000).

Taguchi yönteminde faktörlerin her biri tek tek ele alınır. Amaç her bir faktörün sisteme etkisini teslim etmektir. Bu şekilde faktörler arasında oluşan etkileşimler ihmal edilecek ve bir faktörün etkisinin tespit edilmesi aşamasında diğer faktörlerin seviye sonuçları etkisi yanıltıcı olacaktır. Bu alternatiflerin denenmesi çoğunlukla maliyet ve zaman kaybına neden olmakta ve uygulama şansını kaybetmektedir (Scheffler, 1997).

Genellikle endüstriyel kullanımlar için klasik deney tasarım yöntemleri uygun olmamaktadır. Faktörlerin sayısı arttıkça, deney sayısı da buna paralel olarak artmakta ve maliyet yükselirken uygulamaların yapılması da güç olmaktadır. Bu tür koşulların olduğu durumlarda Taguchi yöntemi (kesirli faktöriyel tasarım) başarılı uygulama alanları bulabilmekte ve karar mekanizması kolaylaşmaktadır (Ross, 1996).

Bu yöntemin asıl gayesi hedef değer etrafında mevcut olan değişkenlerin sayısını azaltmaktır ve esası deney tasarımına bağlıdır. Taguchi yöntemi kesirli faktöriyel deney, robust tasarımını ve ortogonal diziler vs. kavramları da etkileyen bir yöntemdir (Taylan, 2009).

Diğer önemli bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesini sağlaması ve bunun içinde tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur (Ross, 1996).

1.5.2.1. Taguchi Parametre Tasarımı

Taguchi özellikle parametre tasarımında istatistiksel deney tasarımı yöntemini esas almıştır. Bu yöntem ile çoğu faktörün ürün veya prosese olan etkisini ekonomik bir şekilde belirleyerek varyasyon oluşturan faktörlere karşı önlemleri tasarım halindeyken almıştır.

Parametre tasarımı oluşturulmasının gerekçesi, ürünün ve süreçteki değişebilirlik (hedeften farklılık) durumunun oluşumuna neden olan kontrol edilmesi zor faktörlere karşı, kontrol edilebilecek durumda olan faktörlerin en iyi seviyesini görerek ve seçerek, ürün ve süreçteki değişebilirlik durumunu en az seviyeye düşürmektir (Taguchi ve ark., 2005).

Ürün ve süreçteki etkenler için tasarım oluşturma sürecinde en iyi tespiti ve en iyi ayarların oluşması için çok sayıda faktör vardır. Ayrıca bu faktörlerin çoğu birbirleri ile etkileşim halindedir. Kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin, ürün ve ürün verimliliğine etkilerinin birlikte oluşturulabilmesi için taguchi deney tasarımı yöntemini kullanılmaktadır. Bu yöntem vasıtasıyla çoğu faktörün ürünlerdeki etkisini ekonomik ve varyasyon oluşturan faktörlere karşı önlem alabilmek açısından önemlidir (Işık, 2000).

Taguchi yönteminde ürün verimini etkileyen değişkenlik durumunu azaltarak, ürünün oluşum aşamasını ve kullanımını ve bakımı sırasında meydana gelebilecek maliyetleri en aza indirmek şeklinde parametrelerin en iyi değerleri tespit edilir. Bu şekilde kullanılma verimiyle değişkenlik oluşturan faktörlere–gürültü faktörlerine (noise factors) karşı etki göstermeyecektir (Anagün, 2000).

1.5.2.2. Varyasyon Ölçümü

Varyans analizi fazla karmaşık olmayan ve uygulaması oldukça kolay olan bir yöntemdir. Yöntem, deney sonuçlarının yorumlanması ve gerekli kararların verilmesinde kullanılan istatistiksel bir metottur. Varyans analizi bütün varyasyonu bileşenlerine ayıran matematiksel bir yöntemdir, serbestlik derecesi, kareler toplamı ve varyans gibi değerlerin hesaplanması ile bulunur (Uyğur, 2009).

1.5.2.3. Sinyal Gürültü Oranları

Taguchi, deney tasarımında analiz değişkeni ya da verimlilik kriteri olarak kullanılması sebebi ile, “sinyal/gürültü oranı” denilen bir kriter oluşturulmuştur (Taylan, 2009; Şirvancı, 1997).

Bu yöntemde, öncelikle bütün kalite değişkenlerinin uygun performans kriterine göre S/N oranları bulunur. Elde edilen S/N oranları herhangi bir analiz yöntemine tabi tutularak optimal değerler bulunur (Işık, 2000).

S/N, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) olan oranı olarak tanımlanmaktadır. Ölçülmek istenen gerçek değer sinyal değeri, ölçülen değer içerisindeki 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, hedef değer en iyi, en büyük en iyi olma durumlarıdır. Bu üç tip kabulde de asıl mantık, S/N oranını büyütürken, sinyal artırılırken gürültüyü minimize etmektir. Bu durumda, S/N oranının artırılma durumu söz konusu olabilmektedir (Kasman, 2009).

S: Standart sapma

N: Ortalama

Y: Gözlenmiş değer

n: Gözlem sayısı (bir denemede test sayısı)

En Küçük – En İyi

Bu tür problemlerde, kalite değişkeni Y'nin hedef değeri sıfırdır. Bu aşamada sinyal/gürültü oranı şu şekilde gösterilmektedir:

$$S/N \text{ Oranı} = -10 \cdot \log(\Sigma Y^2/n) \quad (1)$$

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

En Büyük – En iyi

Bu aşamada Y'nin hedef değeri sonsuz ve sinyal/ gürültü oranı şu şekildedir:

$$S/N \text{ Oranı} = -10 \cdot \log[\Sigma(1/Y^2)/n] \quad (2)$$

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

Hedef Değer – En İyi

Bu tür sorunlarda, Y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu aşamada,

$$S/N \text{ Oranı} = 10.\log(Y^2 / S^2) \quad (3)$$

Her üç sorunda da, gaye S/N oranını maksimum hale getirmektir (Taylan, 2009).

1.5.3. Taguchi Deney Tasarımı Aşamaları

Taguchi'nin deneysel tasarımın aşamalarını; değerlendirilecek faktör ve etkileşimlerinin, faktör düzeylerinin, uygun ortogonal düzenin seçilmesi, faktör veya etkileşimlerin kolonlara yerleştirilmesi, belirlenen testlerin yapılması, elde edilen bulguların analiz edilmesi ve doğrulama testlerinin yapılması şeklinde sıralayabiliriz (Anagün, 2000; Yang ve ark. 1998).

1.5.3.1. Değerlendirilecek Faktör ve Etkileşimlerin Seçilmesi

Deney öncesinde o zamana kadar yapılan çalışmalardan elde edilen veriler vasıtasıyla faktörler arasında bir etkileşimin olup olmadığı belirlenebilir. Burada hesaba edilmeyen önemli bir etki deney sonuçlarını beklenmedik bir şekilde etkileyebilir. Bu nedenle performansa etkisi olabileceği düşünülen etkileşim faktörleri deneylerde dikkate alınmalı gözden kaçırılmamalıdır (Uyğur, 2009).

Faktörlerin kontrol edilebilir ve gürültü faktörü olarak tanımlanan kontrol edilmesi güç olan faktörler Taguchi yönteminin esasını oluşturur. Bu amaçla öncelikle faktörler belirlenir ve sonra faktör düzeyleri belirlenir. Düzey belirlemeden sonra da faktör sayısına göre tasarım yapılmakta ve deneylere başlanmaktadır (Taylan, 2009).

1.5.3.2. Faktör Düzeylerinin Seçilmesi

Deneyin yapılabilmesi için her faktörün seviyeleri belirlenmelidir. Faktör seviyelerinin tespitinde bir faktörün söz konusu karakteristik üzerinde kaç türlü etkime yapabileceğine bakılır. Bir faktörün deneye dahil edilebilmesi için en az iki kademeli olması gerekmektedir. Alternatifi olmayan bir faktörün serbestlik derecesi 0'dır ve bu

tür faktörler gürültü faktörleridir. Bununla birlikte faktör seviyelerinin fazla olmamasına dikkat etmelidir. Taguchi'ye göre kademeler herhangi bir zorunluluk olmadıkça 2 veya en fazla 3 seviyeli olarak seçilmelidir. Böyle bir seçim maliyet ve zaman açısından da oldukça önemlidir. Çünkü bir faktör için kademe sayısının artması deneydeki toplam serbestlik derecesini (bir faktör için serbestlik derecesinin değeri, kademe sayısının bir eksisidir) artırır. Dolayısıyla deney sayısı artar ve gereksiz yere maliyet ve zaman kaybı olur (Işık, 2000).

1.5.3.3. Uygun Ortogonal Düzenin Seçilmesi

Taguchi ortogonal dizinin kullanımını kolaylaştırmıştır. Bu dizi ilk olarak, 1930'lu yıllarda, İngiltere'de Fisher tarafından kullanılmış ve bu dizinin anlamı dizilerin dengelenmesini içermektedir (Hamzaçebi ve ark., 2003).

Çok sayıda değişkenlerin etkisinin aynı anda incelenmesi diğer yöntemlerle imkanı değilken, ortogonal düzen dahilinde imkanı hale gelebilmektedir. Bu dizilerin kullanılması ile oluşturulan deney tasarımı, faktöriyel deney tasarımı kullanılması ile oluşturulan deney tasarımının yaklaşık olarak % 90'ı kadar etkili olabilmektedir. Ortogonal dizinler, faktöriyel deney tasarımına göre daha az hata olasılığına sahiptir. Fakat bu hata deney maliyetleri üzerinde yapılan tasarruf için önemsiz bir kayıp olarak görülebilir (Çelik, 1993).

Bunlar $L_a(b)^c$ şeklinde ifade edilir. L harfi kare tasarımından türetildiği için Latin kare tasarımını ifade etmektedir. Deneylerin sayısını a, her kolondaki seviye sayısını b, faktör sayısını ise c tanımlamaktadır. Ortogonal dizinler 2 ile 5 seviye arasında bulunmaktadır. 2 seviyeli ortogonal dizinler olarak L_4 , L_8 , L_{12} ve L_{32} en çok kullanılanlardır. 3 seviyeli en çok kullanılan dizinleri ise L_9 , L_{18} 'dir. Ayrıca her iki seviyenin karışık olarak kullanıldığı L_{18} , L_{36} , L_{54} gibi ortogonal dizinler de mevcuttur (Şanyılmaz, 2006).

1.5.3.4. Faktör ve/veya Etkileşimlerin Kolonlara Atanması

Seçilen ortogonal düzene göre faktör veya etkileşimlerin belirlenen kolonlara sıralama aşamasında, Dr. Taguchi tarafından oluşturulan doğrusal grafikler ve üçgensel tablolar kullanılmaktadır.

Faktörlerin yerleştirileceği sütunları ve hangi sütunların bu faktörlerin etkileşimi için kullanılacağı doğrusal grafiklerle göstermektedir. Faktörler arasında oluşan tüm etkileşimleri ise üçgenel tablolarda gösterilmektedir (Taylan, 2009).

1.5.3.5. Testlerin Yapılması

Testler oluşan sorunu çözmek için birden fazla performansın özelliklerine uygun bir şekilde performans istatistiği yapılmalıdır. Verilerin değerlendirilmesi, seçilen bu performans istatistiğine göre değerlendirilmekte ve değerlendirme performans istatistiğinin doğru tespit edilmesi için çok önemlidir. En çok kullanılan performans istatistiği Taguchi yöntemi için S/N oranıdır ve bu oran etken tasarımın durumunu ölçmek için kullanılır.

Testler, sorunların belirlediği ortogonal dizinin öngördüğü denemeler sonucunda oluşur. Deney süresince hatayı minimuma düşürmek için, gürültü faktörlerinin etkisini gözlem değerleri sayısının çokluğu ile ilgilidir. Deney tasarımının her biri ne kadar çok sayıda denemeye tabi tutulursa deneyin güvenilirliği o ölçüde yüksek olur (Taylan, 2009).

1.5.3.6. Sonuçların Analizi

Elde edilen veriler yardımıyla belirlenen hedefe ulaşabilmek için hangi faktörlerin etkin olduğunun tespit edilmesi gerekir. Bu analizlerin yapıldığı metotları şöyle sıralayabiliriz.

1. Varyans analizi (ANOVA)
2. S/N ANOVA
3. Sütun farkları metodu
4. Gözleme metodu
5. Sıralama metodu

Bu metotlar arasında en çok kullanılanı “varyans analizi” ve “sütun farkları metodudur (Işık, 2000).

1.5.3.7. Doğrulama Deneylerinin Yapılması

Son aşama olarak, sonuçların doğrulanması amacıyla elde edilen optimum koşullarda deneyler yapılır. Doğrulama deneyi birkaç tekrar halinde yapılmalıdır. Doğrulamak amacıyla yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler daha önce saptanan güven aralığı içinde mevcut ise deney başarılı olmuştur. Eğer gözlenen değerler daha önce öngörülen değerlerin dışında ise o zaman yapılan tasarımda bir hata var demektir. Bu durumda faktör ve faktör seviyelerinin seçiminin yapıldığı aşamaya geri dönülür ve deney yeniden tasarlanır.

Doğrulama deneyleri çok önemli bir aşamadır ve ihmal edilmemesi gerekir (Işık, 2000).



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Önal ve ark. (1979), Fethiye – Üçköprü krom artığı ile 0,1 mm yapılan zenginleştirmede %48,56 Cr₂O₃ tenörlü ürün %80 verimle, Kavak artığı ile yapılan zenginleştirmede ise 0,037 mm %48,2 Cr₂O₃ tenörlü ürün %56 verimle elde edilebilmiştir. Ayırma manyetik ayırıcı ile yapılmıştır.

Salisbury ve ark. (1982), Kuzey Kaliforniya'daki %6 tenörlü Seiad Creak cevheri ve Kaliforniya' daki %2,4 Cr₂O₃ tenörlü Auburun cevherlerinin örnekleri üzerinde manyetik ayırma ve sallantılı masa ile zenginleştirilmiştir. Bu zenginleştirme sonucunda Auburun cevheri %36,4'lük bir verim ile %44,7 Cr₂O₃ tenörlü konsantre Seiad Creak cevheri ise %50'lik bir verim ile %50 Cr₂O₃ tenörle kazanılmıştır.

Öztürk ve ark. (1987), Etibank Elazığ Ferrookrom tesislerinde curuf içerisindeki kromun kazanılması için sallantılı masa kullanılarak yapılan deneyler neticesinde %34,92 Cr₂O₃ tenörle %64,87 verimle bir ayırım gerçekleştirilmiştir.

Öztürk ve ark. (1987), Etibank Bursa Harmancık işletmesi kromit cevher sallantılı masa ile zenginleştirilmesi çalışmasında yüksek verimli ve yüksek konsantreli Cr₂O₃ elde edilmiştir. Verim %87,5 ve tenör %52,66 Cr₂O₃ dur.

Doğan ve ark. (1988), Karagedik – Üçköprü kromit zenginleştirme tesislerinde %31,6 Cr₂O₃ tenörlü cevher işletimi yapılmıştır. Cevher belli bir boyutun altına indirildikten sonra sallantılı masa ile %48 Cr₂O₃ tenörlü ürün üretilmiştir. Krom verimi de %80 – 85 dir..

Deniz (1992), Burdur – Yeşilova yöresi krom cevheri sallantılı masa ile yapılan deney sonuçlarında: -0.425+0,300 mm aralığında %48,22 Cr₂O₃ ve %75,26 verimli, konsantre elde edilirken, 0,180+0,106 mm aralığında %50,41 Cr₂O₃ içeriği ve %57,19 verimle elde edilmiştir. 0,106+0,075 mm aralığında da %49,51 Cr₂O₃ içerikli konsantre ve %61,13 verimle kazanılmıştır. MGS ile yapılan zenginleştirmede %41,72 Cr₂O₃ tenörlü konsantre verimle kazanılmıştır.

Kurşun (1993), Sivas – Ulaş – Karanlıkdere bölgesinde bulunan krom cevheri, farklı zenginleştirme yöntemi ile araştırılmış ve en iyi sonuç sallantılı masa ile elde edilmiştir. Buna göre cevher %48,43 Cr₂O₃ tenör, %88,14 verim ile elde edilmiştir.

Turgut (1995), Karaburhan krom cevheri ile sallantılı masa ve MGS ile deneyler yapılmış ve deneyler sonucunda (-0,425+0,210 mm) ve (0,210 mm) aralıklarındaki masa artığı, orta ürün ile birleştirilmiş ve MGS ile zenginleştirme işlemi yapılmıştır. Sallantılı masa+MGS deneyleri sonucunda, krom %52,13 Cr₂O₃ içeriğiyle ve %72,60 verimle kazanılmıştır.

Sönmez ve Turgut (1997), Düşük tenörlü Karaburhan krom cevherleri sallantılı masa ile +0,425 mm, -0,425 +0,210 mm ve -0,210 mm aralıklarında sınıflandırılmış ve sallantılı masa ile zenginleştirilmiştir. Masadan elde edilen orta ürün MGS cihazından geçirilmiştir. MGS ve sallantılı masa deney sonuçları birleştiğinde %49,75 Cr₂O₃ tenörlü konsantre %79,79 verimle kazanılmıştır.

Samanlı (1998), Etibank – Üçköprü Karagedik krom atıkları ile yapılan bir çalışmada 0,106 mm lik elekten geçirildikten sonra masa ile zenginleştirilmiş ve %20,6 Cr₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.

Çiçek ve Cöcen (2009), Multi Gravite Seperatör ile yapılan %9,3 Cr₂O₃ içeren cevher 1 mm lik eleklerden geçirilmiş, 0,106 mm lik eleğin üstünde cevherin %83,9'ı kalmış ve tenörü %16,12 Cr₂O₃ dir. +0,1 - 0,1 mm aralığı ise sallantılı masa ve MGS ile zenginleştirilebileceği tespit edilmiştir.

Aydın (2001), Guleman Kef konsantre tesisinde stoklanan %21.21 Cr₂O₃ tenörlü atıkları değerlendirmek amacıyla sallantılı masa+manyetik ayırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. %34.08 Cr₂O₃ tenör ve %90 verimle elde edilen sallantılı masa ön konsantresi yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcıya beslenmiş ve %45.21 Cr₂O₃ içerikli nihai konsantre %87.46 verimle elde edilmiştir.

Ağaçayak (2007), %20 Cr₂O₃ tenörlü kromit atıkları gravite yöntemleriyle zenginleştirmeye çalışılmıştır. Bu amaca yönelik olarak - 0.106+0.075 mm için MGS , - 0.3+0.212 mm için sallantılı masa ve humprey spirali, -2+1 mm için ise jig kullanılmıştır. Deneyler sonucunda en iyi verim sallantılı masada %85.38, humprey spiralinde %94.89, MGS' de %79.83, ve jigde %87.58'dir. En iyi tenörler ise sallantılı masada %55.65 Cr₂O₃, MGS' de %57.52 Cr₂O₃, Humprey spiralinde %54.58 Cr₂O₃, Jigde ise %50.68 Cr₂O₃ elde edilmiştir.

Öztürk ve ark. (2014), tarafından yapılan bir araştırmada Bingöl (Yedisu), Diyarbakır (Hani ve Ergani) ve Elazığ (Alacakaya) krom yataklarından alınan örnekler için mineral özellikleri tespit edilmiş, sınıflandırma işlemi yapıldıktan sonra sallantılı masa ile zenginleştirilmiş ve ekonomik tenörler elde edilmiştir.

Öztürk (2017), tarafından yapılan bir çalışmada sarsıntılı masa ile yapılan zenginleştirilmede etkin parametrelerin optimizasyonu incelenmiştir. Sarsıntılı masanın hız, genlik ve eğimin etkileri incelenmiştir. İncelenen sonuçlar anova analizi ve Yates tekniği harmanlanması ile oluşturulmuştur. Değerlendirme sonucunda en iyi sonuç olarak iç etkileşim koşulları; hız ve eğim yüksek, genliğin düşük olma durumu elde edilmiştir.

Murty ve ark.(2011), Yüksek dereceli sürdürülebilirlik için kromit kaynakları ve gelecekteki ihtiyaçlardaki sürekli talebi karşılamak için, düşük dereceli cevherlerin yanı sıra atıkların kullanılması zorunludur. Bu zorluk, geliştirme ihtiyacına neden olmuştur. kromitin geri kazanılmasına odaklanılmıştır. Konvansiyonel faydalanma işlemlerini kullanarak düşük dereceli cevher ve atıklardan kromit değerlerini geri kazanılmıştır.

Kumar ve ark.(2009), önemli ölçüde demir taşıyan minerallerin FDS kullanılarak goethit ve silika çıkarılması mümkün olmuştur. FDS ile tek aşamalı bir işlemde, maksimum %22 ile 23 Cr₂O₃ içeriği ile %83 kromit geri kazanımı mümkündür. Böylece elde edilen FDS akışı flotasyon veya başka herhangi bir teknik kullanılarak zenginleştirme işlemi daha uygun yapılmıştır.

Tripathy ve ark. (2013), ayrılmayı takip eden katyon, kromitin geri kazanımı için incelenmiştir. Katyonlar yerçekimi konsantrasyonu ve % 41,37 Cr konsantrasyonu vermesini sağlayan manyetik ayırma yapılmıştır. Konveksiyonel yerçekimi konsantrasyonu manyetik ayırma ve köpüklenme ile birlikte artırılarak incelenmiştir.

Ross ve Sykes (1989), Taguchi yönteminin kullanıldığı bir çalışmada dört tanesi iki seviyeli ve bir tanesi dört seviyeli olan beş faktörün performans etkileri araştırılmıştır. Bu araştırmada L8(27) ortogonal dizini kullanılmış ve şirket önemli bir ölçüde kara geçmiştir.

Yang ve Tarng (1997), S45C çelik barların tornalanma işlemleri için kullanılarak bir araştırma yapmışlar ve elde edilen veriler varyans analizi ile değerlendirilmiştir.

Kağnıcıoğlu (1998), Taguchi yönteminin incelendiği bu çalışmada termik santrallerden çıkan kükürtdioksit gazını azaltmak için sitrat yöntemi kullanılarak bir araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada L18(2137) ortogonal dizini kullanarak en iyi faktör seviyesi otuz sekiz adet deney yapıldıktan sonra belirlenmiştir.

Baynal (2003), bu çalışmada L27(313) ortogonal dizini kullanılarak on üç faktörün performansın etkileri incelenmiş ve en iyi faktör-seviye belirlenmiştir. Çalışma neticesinde ihtiyaç olmayan ekipman kullanımı ortadan kalkmış ve enerji tüketimi azalmıştır.

Dabade ve ark.'nın (2003), freze işleminde L27 ortogonal dizi kullanılmıştır. Deney sonuçları ANOVA metodu ile analiz edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün % 95 güven düzeyinde kesme açısı, ilerleme ve talaş derinliğine bağlı oluşu, kesme açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür.

Hamzaçebi ve ark.'nın (2003), bu çalışma Taguchi yöntemi ile araştırılmış üç faktör ve üç seviyeli L9 ortogonal dizinine göre tasarlanmıştır. Taguchi yöntemi ile yapılan bu çalışmada daha az deney ile zaman ve maliyet açısından uygun karar aracı olarak da kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Savaşkan ve ark.'nın (2004), bu çalışmada taguchi yöntemi her biri en düşük, en yüksek ve orta değer olmak üzere eşit aralıklı üç seviyeli olarak incelenmiştir. Çalışma Taguchi L9 deney tasarımına göre ve S/N oranlarına göre varyans analizi yapılmıştır.

Dervişoğlu ve ark.'nın (2006), bu çalışmalarında L27(313) Dikey dizini doğrusal grafikler ve üçgensel tabloların kullanımından bahsedilmektedir ve ayrıca Hicks (1973) yapmış olduğu tam faktöriyel bir deney tasarımı uygulamasını Taguchi Yöntemini kullanmışlar ve bu yöntemle elde edilen sonuçlarla tam faktöriyel ile bulunan sonuçları karşılaştırmışlar.

Davim ve ark.'nın (2006), Varyans analizi "ANOVA" ve ortogonal tasarım tekniğiyle sonuçları değerlendirmiştir. Sonuç olarak; kesme hızının artması ile takım aşınmasının arttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, kesme hızının artması ile yüzey

pürüzlülük değerlerinin iyileştiği ve artan ilerleme miktarıyla ise kötüleştiği anlaşılmıştır.

Şanyılmaz (2006), bu çalışmada toplam serbestlik derecelerinden hareketle L8(27) ortogonal dizini kullanılmıştır. Deneyle sonucunda elde edilen bulgularla performans istatistikleri (ortalama ve S/N oranı) hesaplanmıştır. Daha sonra varyans analizi yapılmış ve her bir faktör için katkı yüzdeleri hesaplanarak %99 ve %95 güven düzeyinde performans karakteristiği üzerinde ciddi bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. Ayrıca S/N oranlarına göre varyans analizi ve faktör etkilerinin grafiksel gösterimi yöntemi ile analizler yapılmıştır.

Zhang ve ark.'nın (2007), bu çalışmada ilerleme, dönme hızı, talaş derinliği parametreleri dikkate alınarak L9 ortogonal dizide analiz yapılmış ve sonuçlar ANOVA yöntemine göre değerlendirilmiştir. Dönme hızı ve ilerlemenin talaş derinliğine göre yüzey pürüzlülüğü üzerine daha büyük etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Nalbant ve ark.'nın (2007), yüzey pürüzlülüğünü etkileyen optimum kesme parametresini bulmak için Taguchi metodu kullanılmıştır. AISI çeliği ve TiN elması ile yapılan deneyde radyüs, ilerleme ve talaş derinliği parametreleri dikkate alınarak L9 ortogonal dizi, sinyal gürültü oranları ve varyans analizi yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan deney sonucunda yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktör uç radyüsü ve ilerleme olarak bulunmuştur. Uç radyüsü % 48.54, ilerleme % 46.95 ve talaş derinliği % 3.39 oranında yüzey pürüzlülüğünü etkilediği görülmüştür.

Öztop (2007), bu çalışmada Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak parametrelerinin etki dereceleri ve birbirleri ile etkileşimleri araştırılmıştır. Deneyle L8 ortogonal dizini kullanılmıştır

Durmaz (2008), bu çalışmada L16 ortogonal dizisi kullanılmış ve denemeler beşer kez yapılmıştır. Sonuçlara hata faktörlerinin etkileri belirlenmiştir. Doğrulama deneyleri sonucunda elde edilen bulgular güven aralıkları içinde bulunmuştur. %60 oranında iyileşme gözlenmiştir.

Kamber (2008), bu çalışmada, Teorik ve deneysel çalışmalarda basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı değerleri, enjeksiyon makinesindeki ölçme cihazları yerine kalıp

içerisine yerleştirilen sensörlerden alınmıştır. Basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı Taguchi Yöntemi ile elde edilen plana göre ölçülmüştür. Üretim hatalarını minimize etmek üzere boyutlar, distorsiyon ve dairesellik hataları belirlenmiştir. Kaliteli bir ürün ve minimize edilmiş üretim hataları için gerekli basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı değerleri optimizasyon teknikleriyle elde edilmiştir.

Şahin (2008), Kaynaklı birleştirmede kaynak kalitesine etki eden 3 faktör ve etkileşimleri incelenmiştir. Bu 3 faktörün ve her faktör için seçilen 2 seviyenin kombinasyonlarını incelemek için $2^3=8$ deney yapılması gerekmektedir. Ve bunun için Taguchi L8 ortogonal dizini seçilerek deney şablonu belirlenmiştir. Belirtilen faktörler L8 hesap tablosuna yerleştirilmiş ve faktör ve etkileşimlerin etki sırası belirlenmiştir. Etkileşim tablosu oluşturularak en büyük en iyiye göre en optimum parametre seçilmiştir. Yapılan analiz sonucunda kaynak işlemine etki eden en önemli faktörün akım olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak 2 mm. kalınlığındaki St 37 çeliğinin kaynaklı birleştirilmesinde seçilecek parametrelerin akım 250A., gerilim 22 V., kaynak ilerleme hızı içinde 0,4 m/dk.seçilmesi gerektiği bulunmuştur.

Yanar (2008), L16 ortogonal dizini kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular, her bir deney konfigürasyonu için ortalama ve S/N oranı değerleri hesaplanmıştır. Bulunan bu değerler varyans analizi ile analiz edilmiş ve en uygun parametreler tespit edilmiştir.

Çelikkan (2009), bu çalışmada Taguchi kayıp fonksiyonu kullanılmış ve ürünlerin kusur oranının belli bir olasılık dağılımı gösterdiği varsayılmıştır.

Uyğur (2009), bu çalışmada L8(2)7 ortogonal dizini kullanılarak 3 tekrarlı 8 deney yapılmıştır. Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda tasarımın güvenilir olduğu anlaşılmıştır.

Taylan (2009), bu çalışmada 4 adet ve 3 seviyeli olduğu için L9(34) ortogonal dizini kullanılmış ve 3 kez tekrar edilmiştir. L9(34) ortogonal dizinindeki gözlem değerlerine bağlı olarak performans istatistikleri hesaplanmış ve ANOVA analizi yapılan çalışmada %18'lik bir artış sağlanmış ve bu durum, doğrulama deneyinin yapılan analiz ile uyumlu olduğunu göstermiştir.

Yılmaz (2010), bu çalışmada L32(25) ve L4(22) ortogonal tasarımları kullanılarak tam faktöriyel deneyler yapılmıştır. Deneyler; varyans analizi ve faktör etkileri grafikleri yardımıyla analiz edilmiştir. Kontrol faktörlerine göre seçilen tasarımda 32 kombinasyon olmasına karşın, gürültü faktörleri göz önüne alınarak 4 defa tekrarlandığı için 128 deney yapılmıştır. Bu sebeple seçilen en iyi kombinasyonda gürültü faktörlerinin değerlerine de bakılması gerekmektedir. Buna göre nemin yüksek ve sıcaklığın düşük olduğu durumda yapılan deneyden daha iyi sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir.

Çelik (2011), bu çalışmanın amacı PVC' nin lazerle delme işleminde, en iyi derinlik genişlik oranının elde edilmesi için optimum parametrelerin Taguchi Metodu ile belirlenmesidir. Üç seviyeli olarak üç parametre belirlenmiştir. Bu parametreler kullanılarak yapılan deneylerde elde edilen gözlemler ve hesaplamalar yüksek çözünürlüklü optik mikroskopla yapılmıştır. “en yüksek değer iyi” yöntemi göz önüne alınmıştır. Yapılması gereken deney sayısı 27 ($3^3 = 27$) iken Taguchi Metodunu kullanarak bu sayı ortogonal dizi şeklinde 9 deneye düşürülmüştür. Yapılan deney sonuçları incelendiğinde en yüksek değeri derinlik/genişlik oranı olarak 3.67 ve sinyal/gürültü oranı olarak 11.30 en yüksek değerlerdir. Deneysel sonuçların Taguchi Metodu ile %93 oranında uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Bozkurt (2013), bu çalışmada L25 ortogonal dizisi ile Taguchi yöntemi kullanılmış ve varyans analizi yöntemi (ANOVA) kullanarak perlit tozu yüzdesi ve sıcaklık parametrelerinin basınç dayanımı ve ultrasonik ses hızı üzerinde bir etkisi olup olmadığını araştırmıştır.

Keskin (2016), bu çalışmada L9(33) ortogonal dizi ile Taguchi metodu kullanılmış, ve varyans analiz yöntemi (ANOVA) kullanılarak, üç kontrol faktörünün harcın karakteristik performansı üzerindeki etki seviyeleri tespit edilmiştir. Tek yönlü varyans analizine göre çimentonun diğer iki kontrol faktörden daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır.



3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan krom cevheri Adana (Aladağ) krom yatağından temin edilmiştir. Cevher Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Zenginleştirme Laboratuvarına getirilmiştir. Deneylerde kullanılacak olan iri malzemeler çeneli kırıcıdan geçirilmiştir. Bu işlemler laboratuvar tipi çeneli kırıcı ile gerçekleştirilmiştir. Mineralin tane boyut dağılımlarını tespit etmek için yapılan elek analizlerinde 0,850 mm, 0,600 mm, 0,500 mm, 0,425 mm, 0,300 mm, 0,212 mm, 0,100 mm, 0,075 mm elek açıklıklarında elekler kullanılmıştır. Cevherin serbestleşme tane iriliğini tespit etmek için her elek analizi fraksiyonları mikroskopta incelenmiştir. Kimyasal analizler Argetest tarafından yapılmıştır. +0,2 mm ve +0,1 mm olan krom örnekleri laboratuvar tipi standart Wilfley sallantılı masa kullanılarak zenginleştirilmiştir. Sallantılı masa deneylerinde hız, eğim, genlik, tane iriliği parametreleri incelenmiştir.

Sallantılı masa sonrası elde edilen artıklar ise öğütme işlemine tabi tutularak boyut küçültme gerçekleştirilmiştir. Belirli sürelerde çubuklu değirmende öğütülmüştür. Öğütme deneyleri sonrası elde edilen ürünler yaş elemeye tabi tutularak elek analizi yapılmıştır. Masa artıkları flotasyon yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bu basamaklar Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Flotasyon Reaktifleri

Toplayıcılar hava kabarcıklarına erişmek için mineral yüzeyini hazır hale getiren reaktiflerdir (Klassen ve ark., 1963).

Aero825 : Petrol sülfonat tipi anyonik toplayıcıdır. Kuvvetli çalkalama ile suda dağılır. Sıcak su dağılmayı artırır. Hafif köpürtme özelliğine sahiptirler. Deneylerde kullanılan bu reaktifler Cytec (Hollanda) firması tarafından sağlanmıştır (Ayhan, 2003).

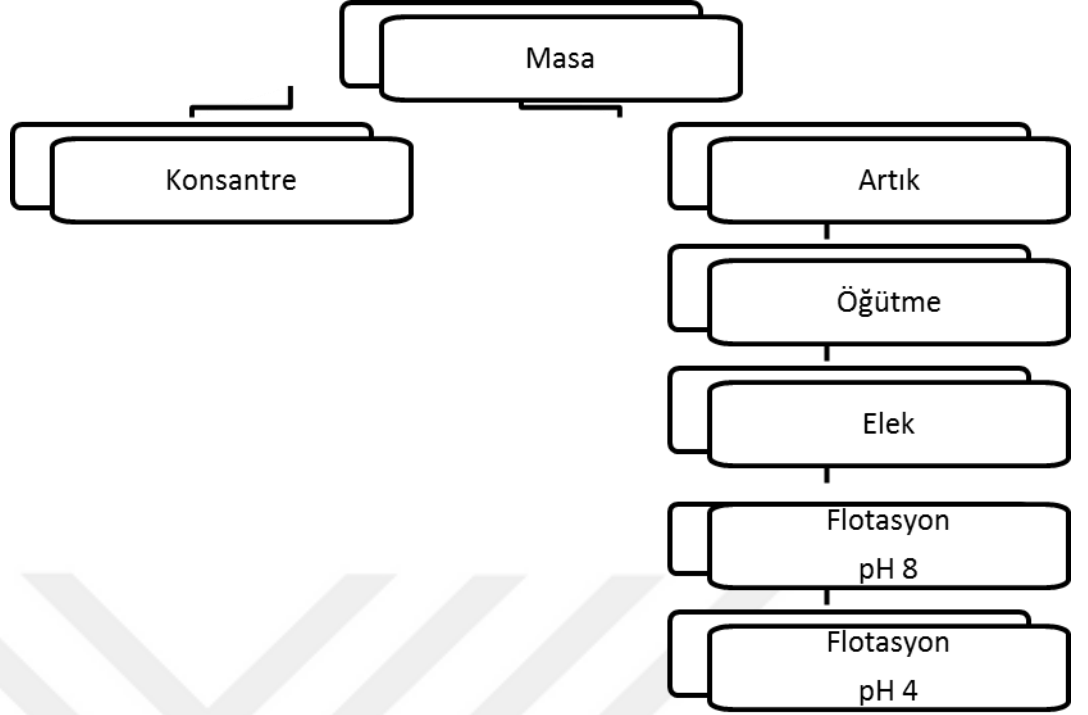
Aero845, Aero830 : Anyonik alkil süksinik asitler yağ asitleri ile yapılanlardan daha çok seçimlilik sağlamak için geliştirilmiştir. Aero830 ve Aero845 barit, selestin, alkali ortamdaki şeelit ve asit ortamda kasiterit için toplayıcı olarak kullanıldığında çok

iyi bir sonuç elde edilir. Aero830 ve Aero845 yağ asitleri veya petrol sülfonatlar ile ikinci kollektör olarak kullanılır. Bunlar fosfat, florit, şeelit ve cam kumlarında uygulama alanı bulmaktadırlar. Bu reaktifler yağ asidi veya petrol sülfonat tipi toplayıcıların temel toplayıcı olduğu durumlarda yaygın bir şekilde kullanılırlar. Genel olarak bu toplayıcılar kısa koşullandırma süresine sahiptirler. Aero845 suda tamamen çözülebilmektedir ve sıvıdır. Aero830 yarı sıvıdır ve suda dağılıbilir. Deneylerde kullanılan bu reaktifler Cytec (Hollanda) firması tarafından üretilmiştir (Ayhan, 2003).

Çamyacı : Reçinenin distilasyonundan elde edilen ve terpen alkolleri içeren sarı renkli, 0.92-0.95 g/cm³ yoğunluğunda bir yağdır. Etkin maddesi bir hidro aromatik alkol terpeneoldür. Fluka firması (İsviçre) tarafından üretilmiştir (Ayhan, 2003).

Na₂SiO₃ : İnorganik kontrol reaktiflerindedir. Sülfür, oksit ve tuz tipi minerallerin flotasyonunda silikatları bastırır. Metal tuzu ile birlikte karbonatları da bastırır. Ağır metalleri çöktürerek toplayıcıyı korumasının yanı sıra şlam dağıtıcı görevini de üstlenir. Merck No: 12,8788 olup, Merck firması (Alman) tarafından sağlanmıştır (Ayhan, 2003).

H₂SO₄ : Merck No: 11,8953 olup, Merck firması tarafından sağlanmıştır. Hidrojen iyon konsantrasyonunu kontrol etmek için kullanılır. Oksit ve silikat flotasyonunda yüzey elektrik yükünü değiştirmek için oksit ve sülfür flotasyonunda kolay oksitlenen minerallerin yüzey oksidasyonunu gidermek amacı ile kullanılır (Cynamid, 1986; Fuerstenau, 1962; Atak ve ark., 1994).



Şekil 3.1. Krom zenginleştirme akım şeması

3.2. Metot

3.2.1. Kimyasal Analiz

Numunelerin kimyasal analizleri Argetest cevher zenginleştirme Ar-Ge ve Analiz Hizmetleri Laboratuvarı tarafından yapılmıştır. Analizler kuru bazda ve $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 'de yapılmıştır.

3.2.2. Kırma-Eleme

Numuneler laboratuvar tipi çeneli kırıcıda 5 mm çıkış açıklığında bütün malzemeler kırılmıştır. Kırma işlemi bittikten sonra örnek azaltma işlemi yapılmıştır. Örnekler azaltma işlemine tabi tutulmuş ve 0,850 mm, 0,600 mm, 0,500 mm, 0,425 mm, 0,300 mm, 0,212 mm, 0,100 mm, 0,075 mm lik eleklerden geçirilmiştir. Elemeler sonucunda elde edilen örneklerin tartımları yapılmış ve mikroskop da incelenmiştir. Ayrıca sallantılı masa deneyleri için +0.2 mm ve +0.1 mm lık 1000 gramlık örnekler hazırlanmıştır.

3.2.3. Sallantılı Masa

Bu çalışmada Şekil 3.2’de görüldüğü gibi laboratuvar tipi wilfley sallantılı masa kullanılmıştır. Masa parametreleri literatür çalışması ve ön deneyler yapılarak belirlenmiştir. Sınıflandırmak için +0,2 mm ve +0,1 mm aralığında 1000 ‘er gram ayarlanmıştır. Bu parametreler eğim ($2-3^0$), genlik (7-8 mm), hız (350-400 d/dk), tane iriliği (+0,1 ve +0,2 mm) dir.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan sallantılı masa ayarımı yaparken

3.2.4. Öğütme İşlemleri

Öğütme işlemleri çubuklu değirmende numune/çubuk oranı 1/10 olacak şekilde ve yaş eleme tercih edilmiştir. Değirmen hızı 58d/dk olarak sabit tutulmuştur. Optimum öğütme süresini belirlemek amacı ile kırılmış olan malzeme 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 dakikalık sürelerde öğütülmüş, kareleme yöntemi ile azaltılarak 0,212 mm, 0,100 mm, 0,075 mm, 0,053 mm, 0,045 mm, 0,038 mm olacak şekilde yaş eleme işlemine tabi tutulmuştur.

3.2.5. Flotasyon

Flotasyon deneyleri Denver laboratuvar tipi flotasyon cihazı ile yapılmıştır. Deneylerde 1 litrelik flotasyon hücreleri kullanılmıştır. pH ölçümlerinde dijital pH metre kullanılmıştır. Deneylerde Aero845, Aero238, Aero 208, Aero 825, Aero845+Aero 830, Aero830, Aero825+Aero830, gazyağı toplayıcıları kullanılmıştır. Köpürtücü olarak çamyacı, Bastırıcı olarak Na_2SiO_3 ve ayarlayıcı olarak kireç

kullanılmıştır. Sallantılı masa artıkları 0,1 mm altına indirilerek flotasyon deneylerine tabi tutulmuştur. Flotasyon bazik ve asidik ortam olmak üzere iki ortamda yapılmıştır. Bazik ortamda pH, toplayıcı cinsi, bastırıcı miktarı, canlandırıcı miktarının flotasyona etkisi araştırılmıştır. Toplayıcı olarak gazyağı, Aero845, Aero238, Aero208, Aero825, Aero830 kullanılmış olup en iyi sonuç veren toplayıcı cinsi ile bastırıcı miktarları tespiti yapılmıştır.

Flotasyon koşulları sabit tutularak pH (5,6,7,8)'ın flotasyona etkisi incelenmiştir.

Diğer koşullar aynı kalmak şartı ile pH 8 de sıfır bastırıcı kullanılarak Aero825, Aero830, Aero845 kollektör cinslerinin flotasyona etkisi incelenmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Analiz Sonuçları

4.1.1. Temsili Numunenin Kimyasal Özellikleri

Adana (Aladağ) krom numunesinin tam kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tam Analiz Sonuçları

Parametre	%
Al ₂ O ₃	2,32
CaO	0,15
MgO	37,91
Fe ₂ O ₃	8,60
SiO ₂	27,46
Cr ₂ O ₃	15,04
MnO	0,10
Ni	2190PPM
LOI	7,89
SO ₃	0,058
Na ₂ O	<0,010
SiO ₂	27,46
SrO	<0,010
BaO	<0,010
K ₂ O	<0,010
P ₂ O ₅	<0,010
TiO ₂	0,047

Malzemelerin içerisindeki elementlerin miktarını ayarlamak için yapılan tam analiz sonucu çizelgeye yerleştirilerek, cevher en fazla %37,91 ile MgO içermektedir. Cevherin en az içerdiği ise % 0,10 ile MnO dur.

4.1.2. Mikroskop Çalışması

Cevherin serbestleşme tane iriliklerini tespit etmek amacı ile elek analizi yapılmış ve bu örnekler mikroskopta incelenmiştir. İnceleme sonucunda;

- + 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 söz konusu olmadığı 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.

4.2. Sallantılı Masa ve Taguchi

4.2.1. Sallantılı Masa

Sallantılı masa hız, eğim, genlik, tane iriliği parametreleri belirlenmiştir. Yapılan ön denemeler sonucunda eğim (2^0 ve 3^0) , hız (350 d/dk ve 400 d/dk) , genlik (7 mm ve 8 mm) , tane iriliği ise +0.1 mm ve +0.2 mm konsantre ve artık olmak üzere iki ürün elde edilmiştir. Artıkları ise daha sonra flotasyon çalışmalarında kullanılmak üzere paketlenmiştir.

Bu çalışmada 4 parametre 2 seviye kullanılmıştır. Bu parametreler A (eğim), B (genlik), C (hız), D (tane iriliği) dir. Her bir etmenin iki seviyesi bulunmaktadır (Çizelge 4.2). Bu parametreler zenginleştirme işleminde önemli olan başlıca

parametrelerdir. Bu parametrelere göre L_8 ortogonal dizisi seçilmiş ve tasarıma göre düzenlenen deney tasarımı Çizelge 4.4'te verilmiştir.

4.2.2. Taguchi

Çizelge 4.2. Kontrol Edilebilen Faktör ve Seviyeleri

Faktörler	Harf	Seviye 1	Seviye 2
Eğim($^\circ$)	A	2	3
Genlik(mm)	B	7	8
Hız(d/d)	C	350	400
Tane iriliği(mm)	D	+0.1	+0.2

Çizelge 4.2 de parametreleri harflerle kodlayarak, seviye değerleri yerleştirilmiştir.

Çizelge 4.3. Toplam Serbestlik Derecesi

Faktörler	Serbestlik derecesi
Eğim (A)	1
Genlik (B)	1
Hız (C)	1
Tane iriliği (D)	1
Toplam serbestlik	4

Çizelge 4.3'de toplam serbestlik derecesi oluşturulurken 4 parametre ve 2 seviyeli olduğu dikkate alınarak elde edilmiştir.

Taguchi'nin istatistiksel deney tasarım modelinden faktörler ve seviyeler dikkate alınarak çizilmiştir. Taguchi istatistiksel deney tasarım modelinde parametre ($p=4$) ve seviye ($s=2$) değerleri yerine konulduğunda L_8 ortogonal dizisi deney planı seçilmiştir. Bu çizelgeler standartlaştırılmış olan hazır çizelgelerdir (Çizelge 4.4). Her bir parametre kolonlarda yer almakta ve seviyelerindeki değerler 1 ve 2 şeklinde numaralandırılmıştır.

Çizelge 4.4. L₈ Ortogonal dizisi

Deney No	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	2	1	2
4	1	2	2	1
5	2	1	1	2
6	2	1	2	1
7	2	2	1	1
8	2	2	2	2

Çizelge 4.5 de A, B, C, D faktörlerinin seviyelerindeki sayısal verileri yerlerine yerleştirirken Çizelge 4.4 dikkate alınarak yapılmıştır.

Çizelge 4.5. L₈ Ortogonal dizinin sütunlarına faktörlerin atanması

Deney No	A	B	C	D
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

Hesaplanan S/N ve ortalama sonuçları Çizelge 4.6' da verilmiştir. Ortalama ve S/N faktörlerinin her biri için seviye değerleri hesaplanarak maksimum ve minimum değerlerden etkin sıralar tayin edilmiştir (Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8). 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 (1) kullanılarak yapılmıştır. Bu sonuçlardan ortaya çıkan değerlerle ilgili bilgi verebilmek için varyans tablosu oluşturulmuştur (Çizelge 4.9), (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.6. Deney sonuçlarına göre ortalama ve S/N değerleri(en küçük en iyi)

Deney No	Eğim	Genlik	Hız	Tane İriliği	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	52,32	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

Ortalama kolonu dikkate alınarak Çizelge 4.7 oluşturulurken, S/N kolonu dikkate alınarak Çizelge 4.8 oluşturulur.

Çizelge 4.7. Ortalama istatistiğine göre temel etkilerin hesaplanması

Level	A(eğim)	B(genlik)	C(hız)	D(tane iriliği)
1	50,17	48,98	49,29	47,13
2	48,85	50,04	49,73	51,90
Delta(1-2)	1,32	1,06	0,44	4,77
Sıralama	2	3	4	1

$$\text{Delta} = 50,17 - 48,85 = 1,32$$

Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi seviyeler arasındaki farklılığın artması o faktörün farklı seviyelerinde performans karakteristiğine olan etki derecesinin büyük olduğunu, azalması durumunda ise o faktörün performans karakteristiğine olan etkisinin küçük olduğu görülür.

A faktörünün 1.seviye ortalamaları alınarak 50,17 ve aynı şekilde 2.seviye ortalamaları alınarak 48,85 değeri bulunmuştur. İki arasındaki fark alınarak delta bulunmuştur ve sıralamada delta değerleri dikkate alınmıştır. Sonuçlar açık bir şekilde Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6’da yer alan S/N kolonundaki her bir faktörün 1. seviyedeki ortalamaları alınarak Çizelge 4.8’de yer alan level 1 deki parametrelerinin altına

2. seviyedeki ortalamaları alınarak level 2 deki parametrelerinin altına yazılarak, farkları alınmıştır ve delta olarak yazılmıştır. Delta değerlerinin büyüklüklerine göre de sıralamaları yapılmıştır.

Çizelge 4.8. S/N istatistiğine göre temel etkilerin hesaplanması

LEVEL	A(Eğim)	B(Genlik)	C(Hız)	D(Tane İriliği)
1	-34	-33,79	-33,85	-33,46
2	-33,76	-33,97	-33,92	-34,30
Delta	-0,24	-0,18	-0,007	-0,84
Sıralama	2	3	4	1

Çizelge 4.8’de yer alan sıralama ve değerlere göre A (eğim) ve D (tane iriliği) faktörlerinin önemli olduğu gözlenmiştir. C (hız) faktörünün deneye olan etkisinin çok düşük olduğu ve seviye farklılıklarının çok fazla bir etki sağlamadığı söylenebilir.

4.2.2.1. Ortalama ve S/N istatistiğine Göre Varyans Analizleri

Varyans analizi ile elde edilen veriler Çizelge 4.9’da gösterilmiştir. Çizelge 4.9’daki veriler ile zenginleştirme gerçekleştirilirken hangi faktörlerin ve bu etkilerin yüzde olarak ne miktarda olduğu belirlenecektir. Etkili faktörler F testiyle, bu faktör etkilerinin yüzde miktarı ise katkı yüzdesi sütunundan ortaya konacaktır (Uygur, 2009).

Varyans analizi sonuçların güven düzeylerini belirlemek için yapılmaktadır. Sonuçlardaki değişkenliği en aza indirmek için her iki durumda yani ortalama ve S/N ‘e göre varyans tabloları oluşturulmuştur (Çizelge 4.9, Çizelge 4.10).

Çizelge 4.9. Ortalama elde edilen verilerle 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

F testi, hesaplanan f değerlerinin standart istatistik tablosundan okunan f değerleriyle karşılaştırılması ile meydana gelmektedir. Bir faktör için hesaplanan F değerinin yani Çizelge 4.9'dan okunan değerinin, f değerinden büyük olması sıfır hipotezinin reddedildiğinin yani faktör etkisinin anlamlı olduğunu gösterir (Uyğur, 2009).

Çizelge 4.9'da 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 (e) ise % 20,62 olarak belirlenir.

S/N değerlerine göre varyans analizi ile elde edilen bulgular Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Bu bulgular ile zenginleştirme gerçekleştirilirken hangi faktörlerin ve bu faktörlerin etki yüzde miktarı ise Çizelge 4.10'da katkı yüzdesi sütununda verilmiştir.

Çizelge 4.10. S/N değerlerine göre elde edilen veriler ile 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

F testi, hesaplanan f değerinin Çizelge 4.10'da okunan F değerleri ile karşılaştırılması sonucunda oluşturulur. Bir faktör için hesaplanan f değerlerinin çizelgeden okunan F değerinden büyük olması sıfır hipotezinin reddedildiğinin yani faktör etkisinin anlamlı olduğunu gösterir.

Çizelge 4.10 da 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 hesaplanır (Tanyıldızı ve ark. 2013).

4.2.2.2. Verim Değerleri Dikkate Alınarak Yapılan Varyans Analizi

Bu çalışmada 4 parametre 2 seviye kullanılmış olup, parametreler A (eğim) , B (genlik) , C (hız) , D (tane iriliği) dir. Her bir etmenin iki seviyesi bulunmaktadır. Bu parametrelere göre L_8 ortogonal dizisi seçilmiş ve tasarıma göre düzenlenen deney tasarım çizelgesi oluşturulmuştur (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.11. Kontrol edilebilen faktör ve seviyeleri

Faktörler	Harf	Seviye 1	Seviye 2
Eğim	A	2	3
Genlik	B	7	8
Hız	C	350	400
Tane iriliği	D	+0.1	+0.2

Kontrol edilebilen faktör seviyeleri tespitinden sonra toplam serbestlik derecelerinin hesaplanması diğer hesaplamaların yapılması ve ortogonal dizi seçimi için Çizelge 4.12 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.12. Toplam serbestlik derecesi

Faktörler	Serbestlik derecesi
Eğim (A)	1
Genlik (B)	1
Hız (C)	1
Tane iriliği (D)	1
Toplam serbestlik	4

Çizelge 4.13. L₈ Ortogonal dizinin sütunlarına faktörlerin atanması

Deney No	A	B	C	D
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

Hesaplanan S/N ve ortalama sonuçları verilmiştir. Ortalama ve S/N faktörlerinin her biri için seviye değerleri hesaplanarak maksimum ve minimum değerlerden etkin sıralar tayin edilmiştir. S/N oranının kullanılmasındaki temel amaç maksimize olan S/N gürültü oranını minimize etmektedir.

Çizelge 4.14. Deney sonuçlarına göre ortalama ve S/N değerleri

Deney No	Eğim	Genlik	Hız	Tane İriliği	Ölçüm1	Ölçüm2	Ölçüm3	Ortalama	S/N
1	2	7	350	+0,1	98,46	97,50	98,23	98,06	39,82
2	2	7	400	+0,2	91,75	98,32	97,64	95,90	39,63
3	2	8	350	+0,2	92,26	93,84	94,89	93,66	39,43
4	2	8	400	+0,1	62,63	78,86	68,97	70,15	36,92
5	3	7	350	+0,2	92,00	98,06	99,13	96,39	39,68
6	3	7	400	+0,1	71,37	85,44	77,09	77,96	37,83
7	3	8	350	+0,1	80,98	85,11	82,04	82,71	38,35
8	3	8	400	+0,2	83,45	74,89	79,41	79,25	37,97

Çizelge 4.15. Ortalama istatistiğine göre temel etkilerin hesaplanması

Seviyeler	A(eğim)	B(genlik)	C(hız)	D(tane iriliği)
1	89,44	92,07	92,70	82,22
2	84,07	81,44	80,81	91,3
Delta(max-min)	5,37	10,63	11,89	9,08
Sıralama	4	2	1	3

C (hız) ve B (genlik) faktörlerinin önemli olduğu gözlenmektedir. A (eğim) faktörünün deneye olan etkisinin çok düşük olduğu ve seviye farklılıklarının çok fazla bir etki sağlamadığı söylenir.

Çizelge 4.15 incelendiğinde seviyeler arasındaki farklılığın artması o faktörün farklı seviyelerinde performans karakteristiğine olan etki derecesinin daha büyümesine, azalması ise o faktörün performans karakteristiğine olan etkisinin küçük olduğunu gösterir.

Çizelge 4.16. S/N istatistiğine göre temel etkilerin hesaplanması

Seviyeler	A(eğim)	B(genlik)	C(hız)	D(tane iriliği)
1	38,95	39,24	39,32	38,23
2	38,45	38,16	38,08	39,17
Delta(max-min)	0,5	1,08	1,24	0,94
Sıralama	4	2	1	3

Ortalama istatistiğine göre yapılan varyans analizi ile elde edilen bulgular Çizelge 4.17’de gösterilmiştir. Çizelge 4.17’deki bu veriler ile zenginleştirme gerçekleştirilirken hangi faktörlerin ve bu faktörlerin ne oranlarda katkı sağladığını da Çizelge 4.17’de elde ettiğimiz varyans tablosu aracılığıyla ve bu sonuçlardan etkilerin yüzde olarak ne ölçüde miktarda olduğu belirlenmiştir.

Etkili faktörler F testiyle, bu faktör etkilerinin yüzde miktarı ise katkı yüzdesi sütunundan ortaya konacaktır.

Çizelge 4.17. Ortalama istatistiğine göre elde edilen verilerle 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	172,7	172,7	6,86	147,54	5,52
2	B	1	679,02	679,02	26,99	653,86	24,46
3	C	1	848,22	848,22	33,71	823,06	30,79
4	D	1	494,7	494,7	19,66	469,54	17,56
	Diğer/e	19	478,13	25,16	1	578,77	21,65
	Toplam	23	2672,77				100

Varyans analizi sonucu incelendiğinde; en önemli faktörün % 30,79 ile hız olduğu bunu % 24,46 ile genlik ve % 17,56 ile tane iriliği izlemektedir.

$f_{(1,19)}$ için %95 güven seviyesinde 4,38 değeri için A, B, C, D faktörleri anlamlı olur. F testi, hesaplanan F değerinin tablodan okunan f değerleriyle karşılaştırılması suretiyle yapılmaktadır. Bir faktör için hesaplanan F değerlerinin tablodan okunan f değerinden büyük olması sıfır hipotezinin reddedildiğinin yani faktör etkisinin anlamlı olduğunu gösterir.

S/N istatistiğine göre yapılan varyans analizi sonucunda elde edilen veriler toplu olarak Çizelge 4.18’de gösterilmiştir. Çizelgede 4.18’deki bu veriler yardımıyla zenginleştirme gerçekleştirilirken hangi faktörlerin ve bu faktör etkilerinin yüzde miktarı ise Çizelge 4.18’deki katkı yüzdesi sütununda verilmiştir.

Çizelge 4.18. S/N Değerlerine göre elde edilen veriler ile 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	0,49	0,49	2,72	0,31	3,79
2	B	1	2,30	2,30	12,78	2,12	25,92
3	C	1	3,04	3,04	16,89	2,86	34,96
4	D	1	1,8	1,8	10	1,62	19,80
Diğer/e		3	0,55	0,18	1	1,27	15,53
Toplam		7	8,18				100

$f_{(1,3)}$ için %95 güven seviyesinde 10,13 değeri için B,C anlamlı olur.

4.3. Öğütme ve Öğütme Süresinin Belirlenmesi

Deneylerde kullanılmak üzere kırılmış olan cevherin zenginleştirmede kullanılacak boyuta indirmek için çubuklu değirmen kullanılmıştır. Cevherin tamamı öğütülmeden en uygun öğütme süresini belirlemek için uygun süre aralıklarında deneyler yapılmıştır. Belirli sürelerde öğütme ve eleme deneyleri yaparak optimum öğütme süresini belirlemek amaçlanmıştır.

Sallantılı masa sonrası elde edilen artıklardan 300'er gram alınarak 3 kilogram çubuklar ile çubuklu değirmende öğütülmüştür.

Çubuklu değirmenin kritik hızı 58 devir/dakika da kuru olarak yapılmıştır. Deney koşulları her süre için aynı tutularak 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 dakikalık süreler için yapılmıştır. Her süre için elek analizleri yapılmış ve Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de grafikleri çizilmiş olup, Çizelge 4.19'da, Çizelge 4.20'de, Çizelge 4.21'de, Çizelge 4.22'de, Çizelge 4.23'de, Çizelge 4.24'te, Çizelge 4.25'te, Çizelge 4.26'da ise sonuçları gösterilmiştir.

Öğütme koşulları:

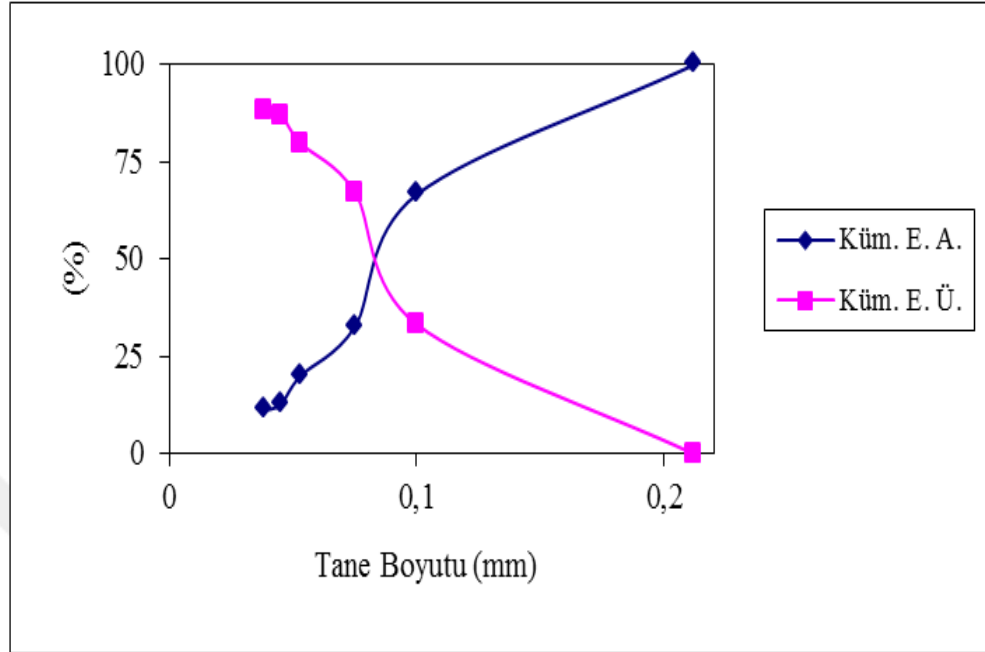
Devir sayısı: 58d/dk

Numune miktarı: 300gr

Değirmen tipi: Çubuklu

Öğütme tipi: kuru

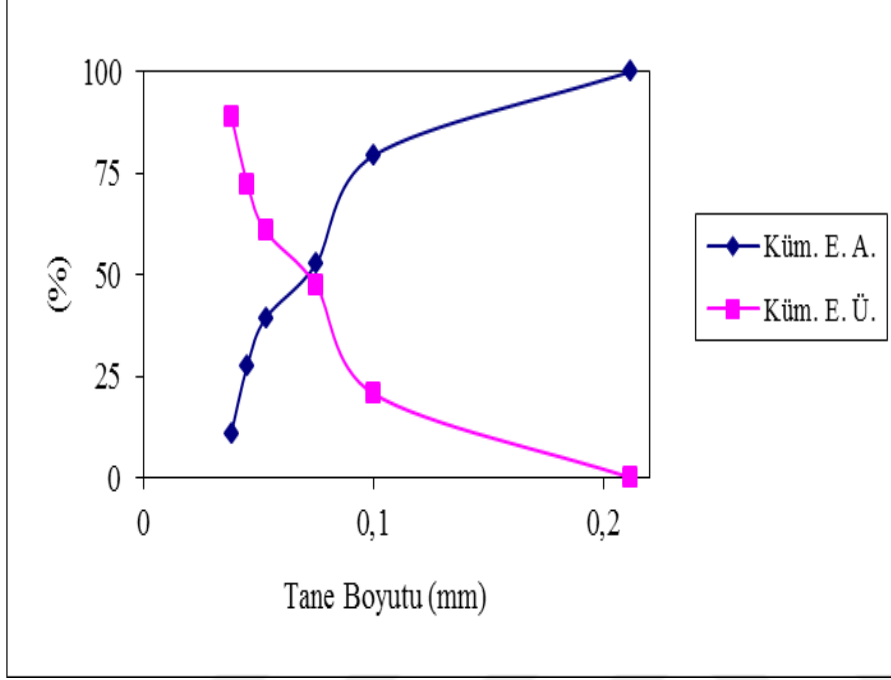
Şarj oranı: 3kg



Şekil 4.1. 5 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği

Çizelge 4.19. 5 dakika öğütülen cevherin elek analizi

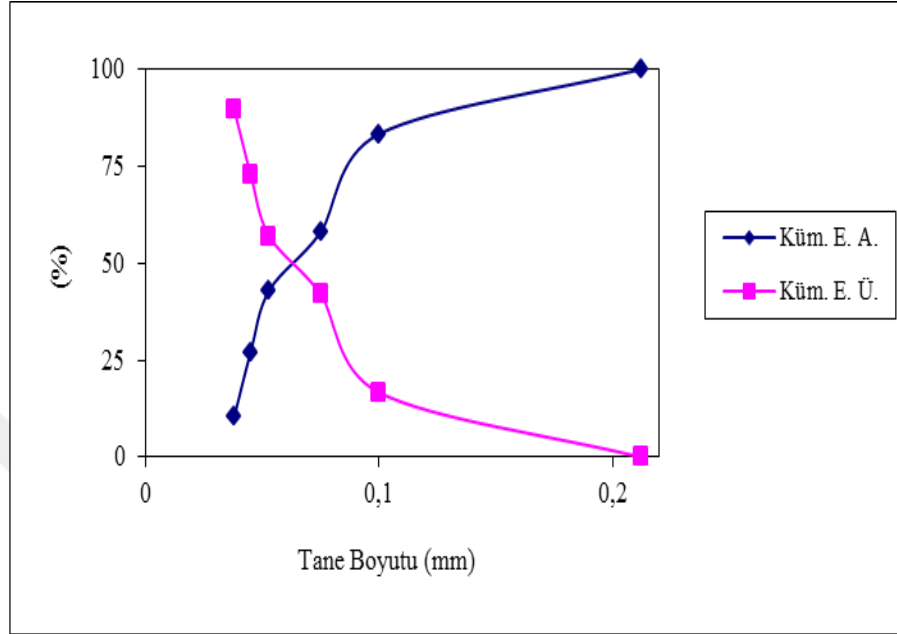
Tane iriliği (mm)	Ağırlık		ΣEA (%)	$\Sigma EÜ$ (%)
	(gr)	(%)		
+0,212	100	33,33	100	33,33
-0,212+0,1	102	34	66,67	67,33
-0,1+0,075	38	12,66	32,67	79,99
-0,075+0,053	22	7,33	20,01	87,32
-0,053+0,045	4	1,33	12,68	88,65
-0,045+0,038	9	3	11,35	91,65
-0,038+0	25	8,33	8,35	100
Toplam	300	100		



Şekil 4.2. 10 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği

Çizelge 4.20. 10 dakika öğütülen cevherin elek analizi

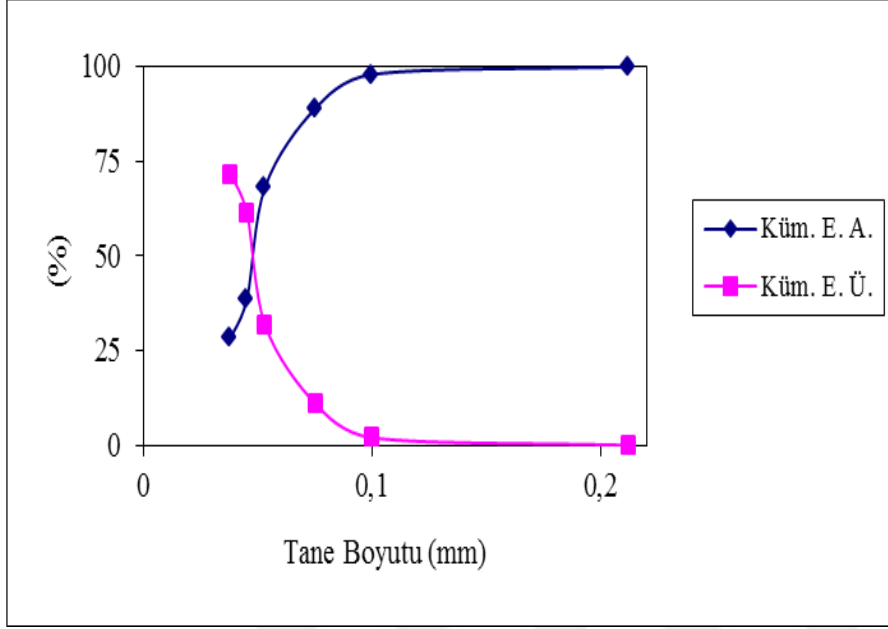
Tane iriliği (mm)	Ağırlık		ΣEA (%)	ΣEÜ (%)
	(gr)	(%)		
+0,212	62	20,66	100	20,66
-0,212+0,1	80	26,66	79,34	47,32
-0,1+0,075	40	13,33	52,68	60,65
-0,075+0,053	35	11,66	39,35	72,31
-0,053+0,045	50	16,66	27,69	88,97
-0,045+0,038	5	1,66	11,03	90,64
-0,038+0	28	9,33	9,37	100
Toplam	300	100		



Şekil 4.3. 15 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği

Çizelge 4.21. 15 dakika öğütülen cevherin elek analizi

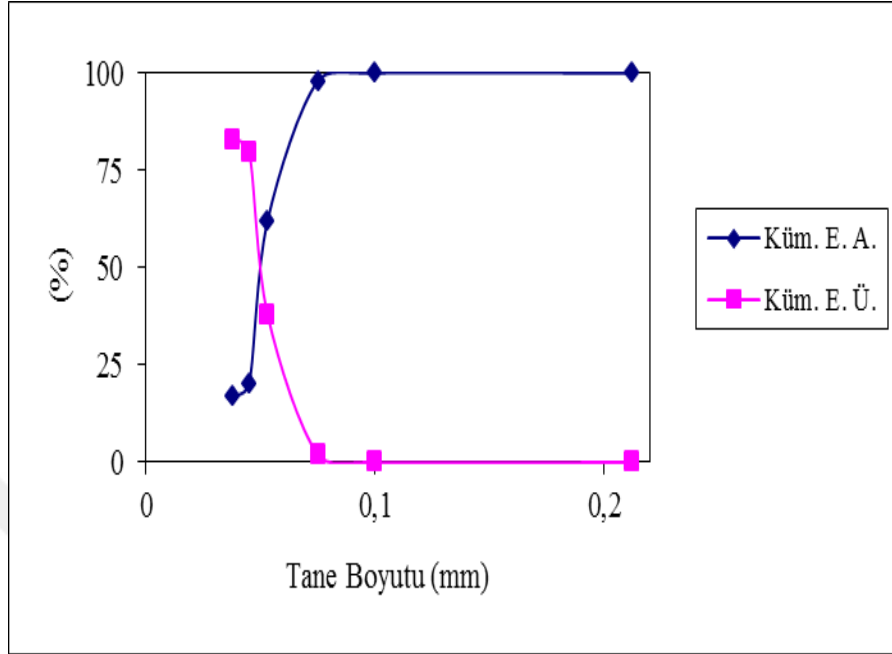
Tane iriliği (mm)	Ağırlık		ΣEA (%)	$\Sigma EÜ$ (%)
	(gr)	(%)		
+0,212	50	16,66	100	16,66
-0,212+0,1	76	25,33	83,34	41,99
-0,1+0,075	45	15	58,01	56,99
-0,075+0,053	48	16	43,01	72,99
-0,053+0,045	50	16,66	27,01	89,65
-0,045+0,038	15	5	10,35	94,65
-0,038+0	16	5,33	5,35	100
Toplam	300	100		



Şekil 4.4. 20 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği

Çizelge 4.22. 20 dakika öğütülen cevherin elek analizi

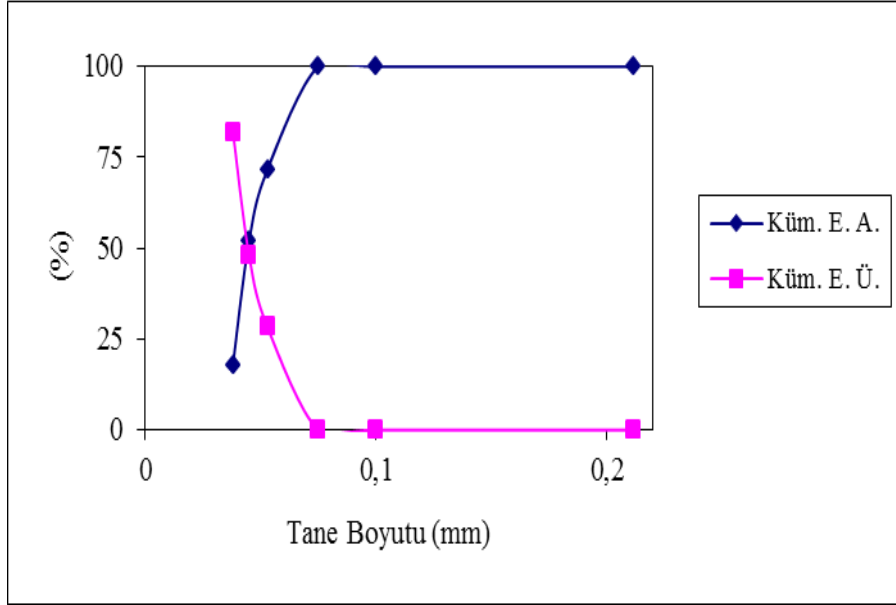
Tane iriliği (mm)	Ağırlık		ΣEA (%)	$\Sigma E\ddot{U}$ (%)
	(gr)	(%)		
+0,212	6	2	100	2
-0,212+0,1	27	9	98	11
-0,1+0,075	62	20,66	89	31,66
-0,075+0,053	89	29,66	68,34	61,32
-0,053+0,045	30	10	38,68	71,32
-0,045+0,038	39	13	28,68	84,32
-0,038+0	47	15,68	15,68	100
Toplam	300	100		



Şekil 4.5. 25 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği

Çizelge 4.23. 25 dakika öğütülen cevherin elek analizi

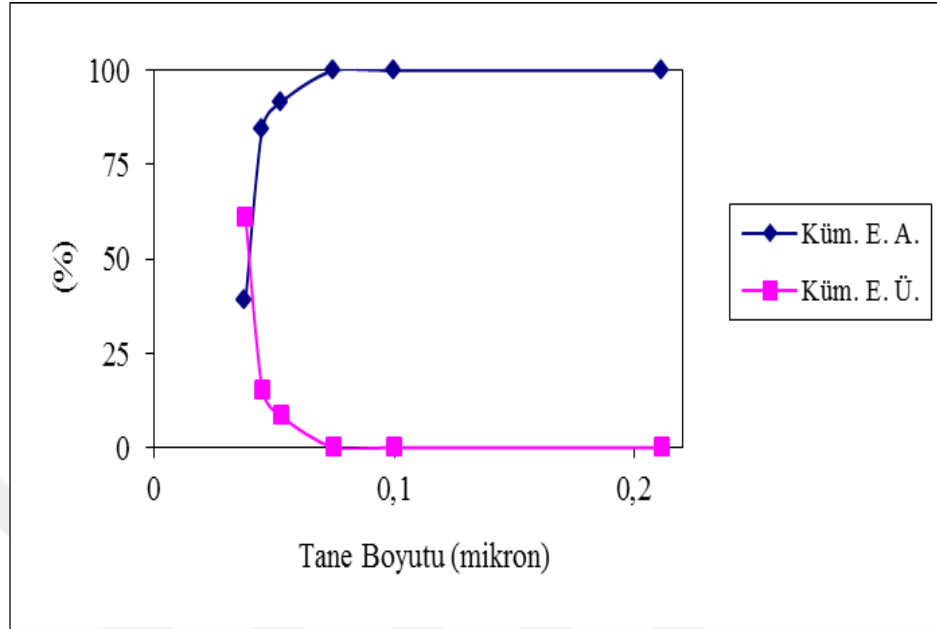
Tane iriliği (mm)	Ağırlık		ΣEA (%)	$\Sigma EÜ$ (%)
	(gr)	(%)		
+0,212	0	0	100	0
-0,212+0,1	6	2	100	2
-0,1+0,075	108	36	98	38
-0,075+0,053	125	41,66	62	79,66
-0,053+0,045	10	3,33	20,34	82,99
-0,045+0,038	20	6,66	17,01	89,65
-0,038+0	31	10,35	10,35	100
Toplam	300	100		



Şekil 4.6. 30 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği

Çizelge 4.24. 30 dakika öğütülen cevherin elek analizi

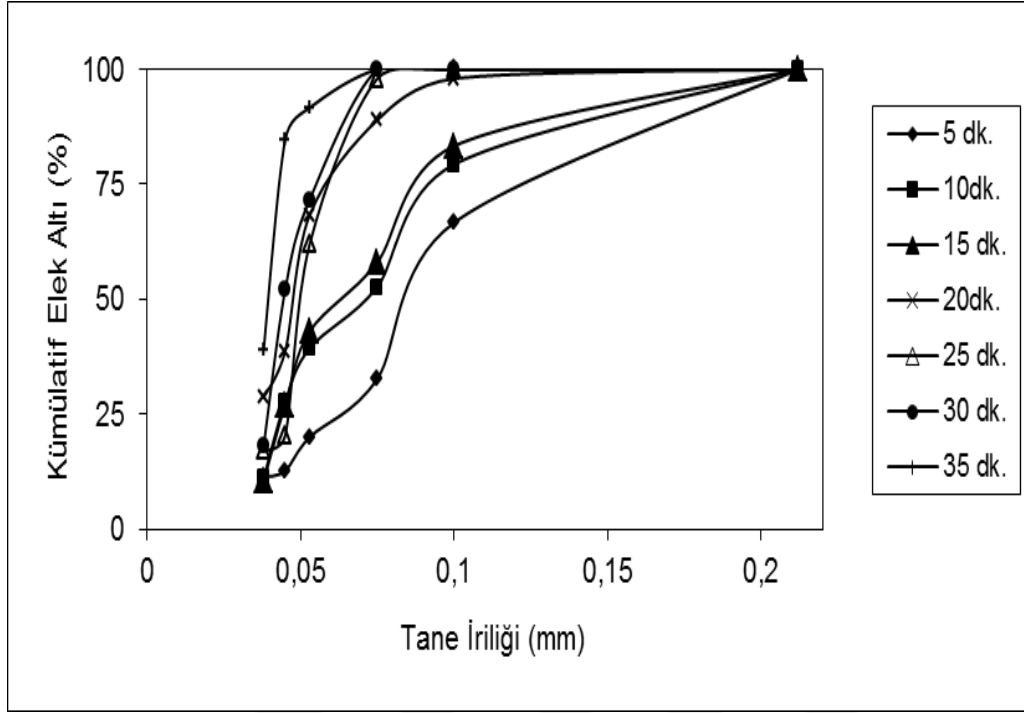
Tane iriliği (mm)	Ağırlık		ΣEA (%)	$\Sigma EÜ$ (%)
	(gr)	(%)		
+0,212	0	0	100	0
-0,212+0,1	0	0	100	0
-0,1+0,075	85	28,33	100	28,33
-0,075+0,053	59	19,66	71,67	47,99
-0,053+0,045	102	34	52,01	81,99
-0,045+0,038	19	6,33	18,01	88,32
-0,038+0	35	11,68	11,68	100
Toplam	300	100		



Şekil 4.7. 35 dakika öğütülen cevherin elek analizi grafiği

Çizelge 4.25. 35 dakika öğütülen cevherin elek analizi

Tane iriliği (mm)	Ağırlık		ΣEA (%)	ΣEÜ (%)
	(gr)	(%)		
+0,212	0	0	100	0
-0,212+0,1	0	0	100	0
-0,1+0,075	25	8,33	100	8,33
-0,075+0,053	21	7	91,67	15,33
-0,053+0,045	137	45,67	84,67	61
-0,045+0,038	61	20,33	39	81,33
-0,038+0	56	18,67	18,67	100
Toplam	300	100		



Şekil 4.8. Öğütülen cevherin karşılaştırmalı Σ EA sonuçları grafiği

Çizelge 4.26. Öğütülen cevherin karşılaştırmalı Σ EA sonuçları

Tane iriliği (mm)	Öğütme süresi (dk)						
	5	10	15	20	25	30	35
+0,212	100	100	100	100	100	100	100
-0,212+0,1	66,67	79,34	83,34	89	100	100	100
-0,1+0,075	32,67	52,68	58,01	68,34	98	100	100
-0,075+0,053	20,01	39,35	43,01	68,38	62	71,67	91,67
-0,053+0,045	12,68	27,69	27,01	28,68	20,34	52,01	84,67
-0,045+0,038	11,35	11,03	10,35	15,68	17,01	18,01	39
-0,038+0	8,35	9,37	5,35	15,67	10,35	11,68	18,67

Öğütmeler aşama aşama yapıldıktan sonra şu yorumları yapmamız olanaklı hale gelmektedir. 5 dakika öğütülen cevher elek analizine tabi tutulduğunda 0,038 mm (Çizelge 4.19) oranlarının % 8,33 ve grafiği Şekil 4.1 iken 10 dakika (Çizelge 4.20) % 9,33 ve grafiği Şekil 4.2’de, 15 dakika (Çizelge 4.21) % 5,33 ve grafiği Şekil 4.3’de, 20 dakika (Çizelge 4.22) % 15,67 ve grafiği Şekil 4.4’te, 25 dakika (Çizelge 4.23)

% 10,33 ve grafiği Şekil 4.5’de, 30 dakika (Çizelge 4.24) % 11,66 ve grafiği Şekil 4.6’da, 35 dakika (Çizelge 4.25) % 18,67’ye ulaştığı ve grafiğinin Şekil 4.7 olduğu gözlenmiştir. Öğütme sürelerinin karşılaştırmalı sonuçları Çizelge 4.26’da ve grafiği ise Şekil 4.8’ de gösterilmiştir.

4.4. Flotasyon

Bu bölümde Adana (Aladağ) dan getirilen ve sallantılı masa işlemine tabi tutulan ve işlem sonucunda elde edilen artıklar üzerinde yapılan flotasyon deneyleri yer almaktadır. Zenginleştirme deneyleri 0,1 mm altına öğütülen krom artıkları numuneleri ile yapılmıştır.

Flotasyon bazik ve asidik ortamda olmak üzere iki şekilde yapılmıştır.

Krom masa artıklarının flotasyonunda; pH, toplayıcı cinsi, asidik ortam araştırılmıştır. Toplayıcı olarak Aero830+Aero825, Aero830+Aero845, Aero825, Aero830, Aero 845, Aero208, Aero238, Gazyağı kullanılmıştır. En iyi sonuç veren toplayıcılarla bastırıcı ve canlandırıcı miktarı denemeleri yapılmıştır. Bastırıcı olarak Na_2SiO_3 ve canlandırıcı olarak $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ kullanılmıştır. pH (5-8), toplayıcı cinsi (Aero830+Aero825, Aero830+Aero845, Aero825, Aero830, Aero 845, Aero208, Aero238, Gazyağı) bastırıcı miktarı ve canlandırıcı miktarının toplayıcı cinsi üzerindeki etkisi incelenmiştir. En iyi sonuç veren toplayıcılarla asidik ortam pH(2,3,4) deneyleri uygulanmıştır. Asidik ortamda yapılan flotasyonda toplayıcı cinsi (Aero825, Aero830, Aero845) tespiti yapılarak etkileri incelenmiştir.

4.4.1. Farklı Öğütme Sürelerinin Flotasyona Etkisi

Flotasyon koşulları:

Bastırıcı : Na_2SiO_3 ; 700g/t

Katı oranı : %30

Toplayıcı : gazyağı; 100g/t

Karıştırma hızı : 1000 d/dk

Köpürtücü : Çamyağı; 100g/t

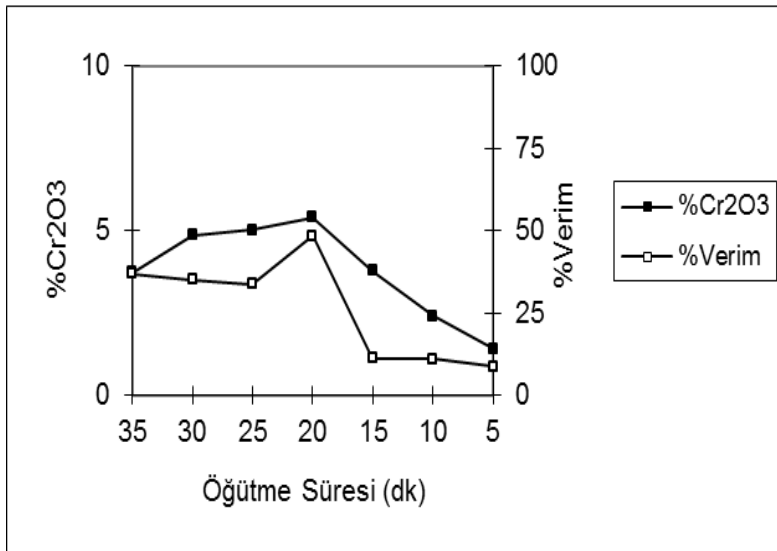
Koşullandırma süresi:10+10+5 dk

Flotasyon süresi : 4 dk

pH : 6

Çizelge 4.27. Farklı öğütme sürelerinin flotasyonuna etkisi

Dk	% Cr_2O_3	% Verim
35	3,74	36,91
30	4,86	35,07
25	5,01	33,61
20	5,4	48,36
15	3,78	11,22
10	2,4	10,99
5	1,4	8,65



Şekil 4.9. Farklı öğütme sürelerinin flotasyonuna etkisi grafiği

Çizelge 4.27 incelendiğinde ve bu veriler yerleştirildiğinde Şekil 4.9’da yer alan grafik oluşturulmuş olup, en iyi sonucu 20 dakikanın % Cr₂O₃ 5,4 iken % verimi % 48,36 olduğunu görebilmekteyiz.

4.4.2. Bazık Ortamda Yapılan Flotasyon

4.4.2.1 Bazık Ortamda Toplayıcı Cinsinin Flotasyona Etkisi

Flotasyon koşulları:

Katı oranı: %30

Karıştırma hızı : 1000 d/dk

Toplayıcı : Aero830+Aero825; 100g/t

Bastırıcı : Na₂SiO₃; 700g/t

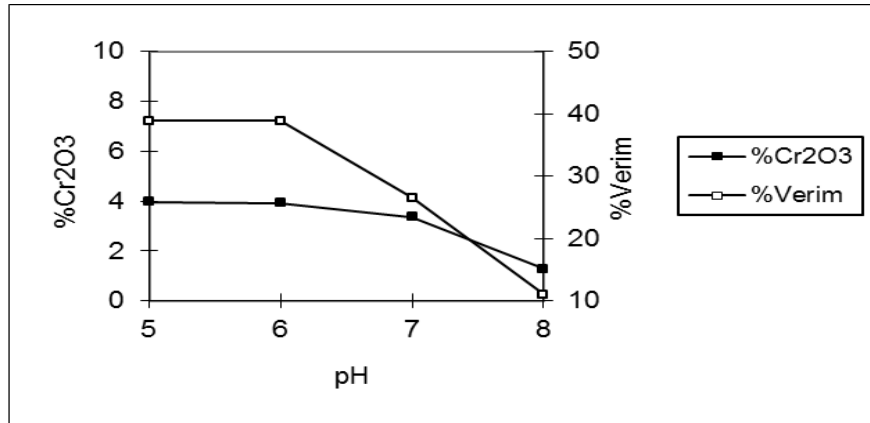
Koşullandırma süresi:10+10+5 dk

Köpürtücü : Çamyacı; 100g/t

Flotasyon süresi : 5 dk

Çizelge 4.28. pH’ ın toplayıcı Aero830+Aero825 etkisi

pH	%Cr ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃ Verimi
5	3,97	38,87
6	3,92	38,86
7	3,37	26,52
8	1,29	11



Şekil 4.10. pH’ ın toplayıcı Aero830+Aero825 etkisi grafiği

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Çizelge 4.28’de yer alan özellikler incelendiğinde ve bu veriler yerleştirildiğinde Şekil 4.10’da yer alan grafik oluşturulmuş olup, en iyi sonucu pH 8 de % 1,29 % Cr₂O₃ iken verimi % 11 olduğu görülmüştür.

Flotasyon koşulları;

Katı oranı: % 30

Köpürtücü: Çamyağı; 100g/t

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

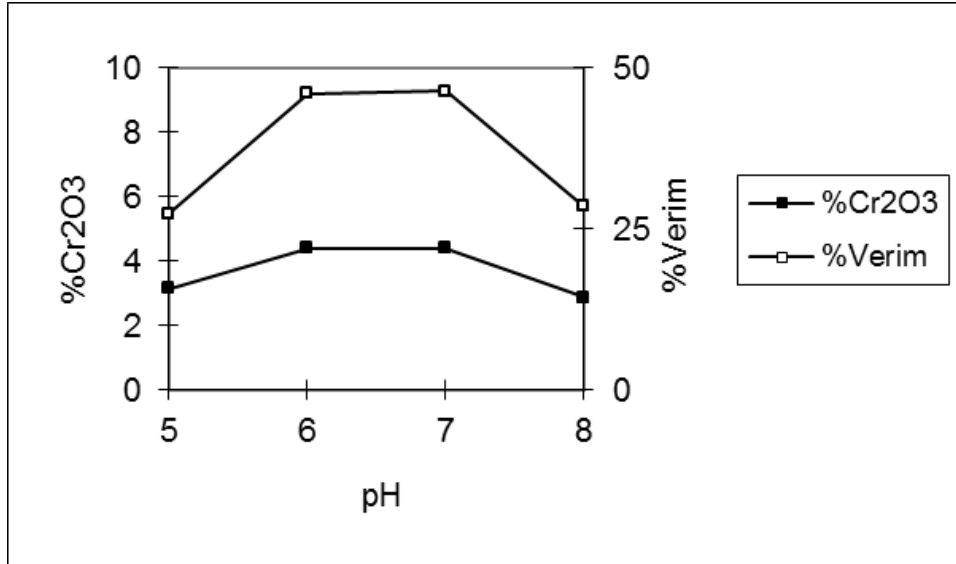
Bastırıcı: Na₂SiO₃;700g/t

Toplayıcı: Aero830+Aero845; 100g/t

Flotasyon süresi:5 dk

Çizelge 4.29. pH’ın toplayıcı Aero830+Aero845 etkisi

pH	% Cr ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃ Verimi
5	3,14	27,37
6	4,39	46,03
7	4,40	46,04
8	2,88	28,53



Şekil 4.11. pH’ın toplayıcı Aero830+Aero845 etkisi grafiği

Çizelge 4.29'da yer alan özellikler incelendiğinde ve bu veriler yerleştirildiğinde Şekil 4.11'de yer alan grafik oluşturulmuş olup, en iyi sonucu pH 8 de % 2,88 % Cr₂O₃ iken verimi % 28,53 olduğu görülmüştür.

Flotasyon koşulları;

Katı oranı: % 30

Köpürtücü: Çamyağı; 100g/t

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Flotasyon süresi: 5 dk

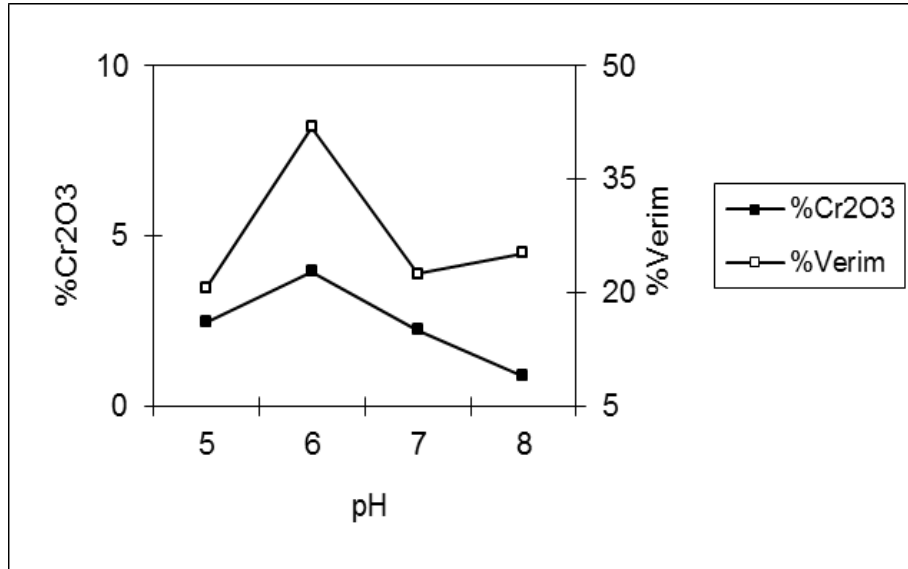
Bastırıcı: Na₂SiO₃;700g/t

Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

Toplayıcı: Aero825; 100g/t

Çizelge 4.30. pH'ın toplayıcı Aero825 etkisi

pH	% Cr ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃ Verimi
5	2,46	20,55
6	3,96	41,87
7	2,25	22,48
8	0,89	25,24



Şekil 4.12. pH'ın toplayıcı Aero825 etkisi grafiği

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Çizelge 4.30'da yer alan özellikler incelendiğinde ve bu veriler incelendiğinde Şekil 4.12'de yer alan grafik oluşturulmuş olup, en iyi sonucu pH 8 de % 0,89 % Cr₂O₃ iken verimi % 25,24 olduğu görülmüştür.

Flotasyon koşulları;

Katı oranı: % 30

Köpürtücü: Çamyacı; 100g/t

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Flotasyon süresi:5dk

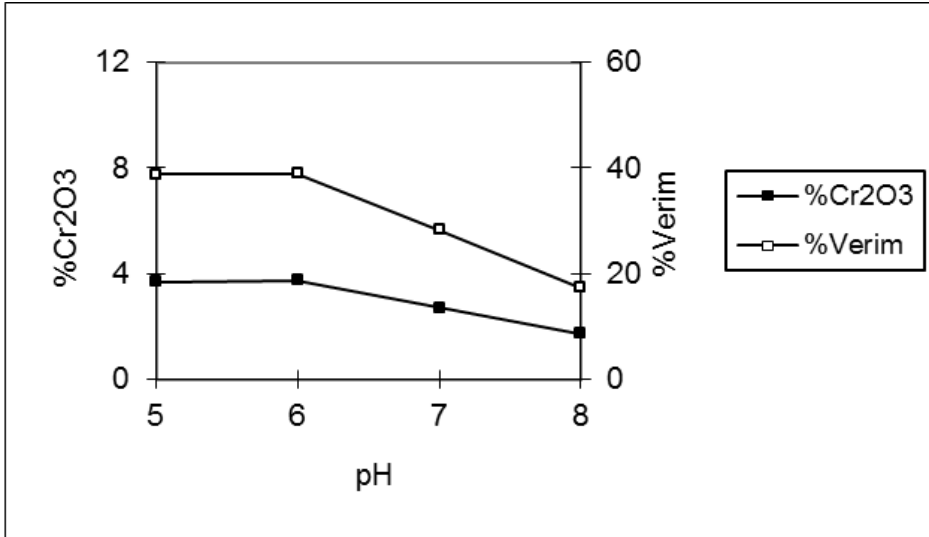
Bastırıcı: Na₂SiO₃;700g/t

Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

Toplayıcı: Aero830; 100g/t

Çizelge 4.31. pH'ın toplayıcı Aero830 etkisi

pH	% Cr ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃ Verimi
5	3,71	38,77
6	3,75	38,89
7	2,71	28,30
8	1,73	17,43



Şekil 4.13. pH'ın toplayıcı Aero830 etkisi grafiği

Çizelge 4.31'de yer alan özellikler incelendiğinde ve bu veriler yerleştirildiğinde Şekil 4.13'te yer alan grafik oluşturulmuş olup, en iyi sonucu pH 8 de % 1,73 % Cr₂O₃ iken verimi % 17,43 olduğu görülmüştür.

Flotasyon koşulları;

Katı oranı : % 30

Köpürtücü: Çamyağı; 100g/t

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Flotasyon süresi:5dk

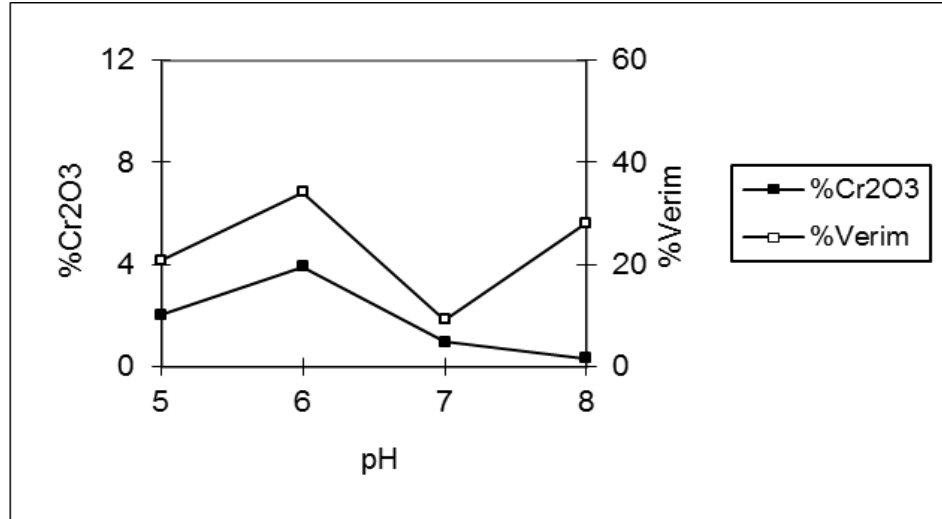
Bastırıcı: Na_2SiO_3 ;700g/t

Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

Toplayıcı: Aero845; 100g/t

Çizelge 4.32. pH'ın toplayıcı Aero845 etkisi

pH	% Cr_2O_3	Cr_2O_3 Verimi
5	2,05	20,83
6	3,93	34,24
7	0,99	9,25
8	0,32	28,11



Şekil 4.14. pH'ın toplayıcı Aero845 etkisi grafiği

Çizelge 4.32'de yer alan özellikler incelendiğinde ve bu veriler yerleştirildiğinde Şekil 4.14'te yer alan grafik oluşturulmuş olup, en iyi sonucu pH 8 de % 0,32 % Cr_2O_3 iken verimi % 28,11 olduğu görülmüştür.

Flotasyon koşulları;

Katı oranı : % 30

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Bastırıcı: Na_2SiO_3 ;700g/t

Toplayıcı: Aero208; 100g/t

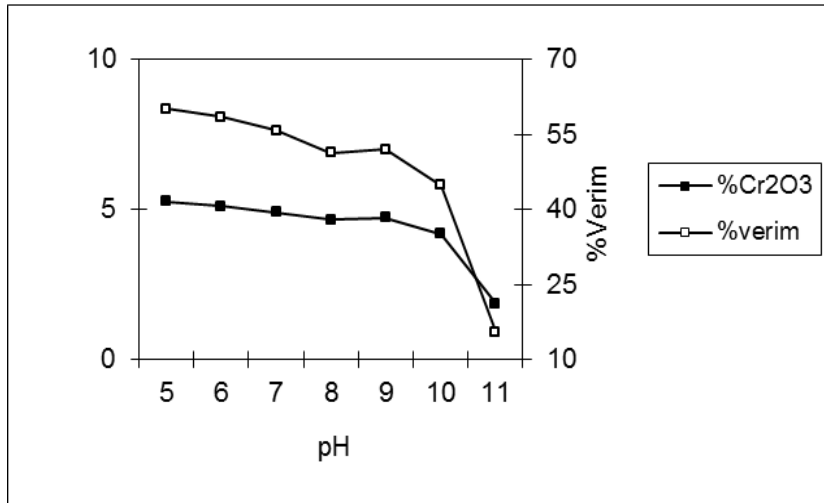
Köpürtücü: Çamyağı; 100g/t

Flotasyon süresi:5dk

Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

Çizelge 4.33. pH'ın toplayıcı Aero208 etkisi

pH	% Cr_2O_3	Cr_2O_3 Verimi
5	5,27	60,1
6	5,1	58,48
7	4,9	55,80
8	4,65	51,25
9	4,71	52
10	4,17	44,78
11	1,85	15,46



Şekil 4.15. pH'ın toplayıcı Aero208 etkisi grafiği

Çizelge 4.33'te yer alan özellikler incelendiğinde ve bu veriler yerleştirildiğinde Şekil 4.15'de yer alan grafik oluşturulmuş olup, en iyi sonucu pH 8 de % 4,65 % Cr_2O_3 iken verimi % 51,25 olduğu görülmüştür.

Flotasyon koşulları;

Katı oranı : % 30

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Bastırıcı: Na_2SiO_3 ;700g/t

Toplayıcı: Aero238; 100g/t

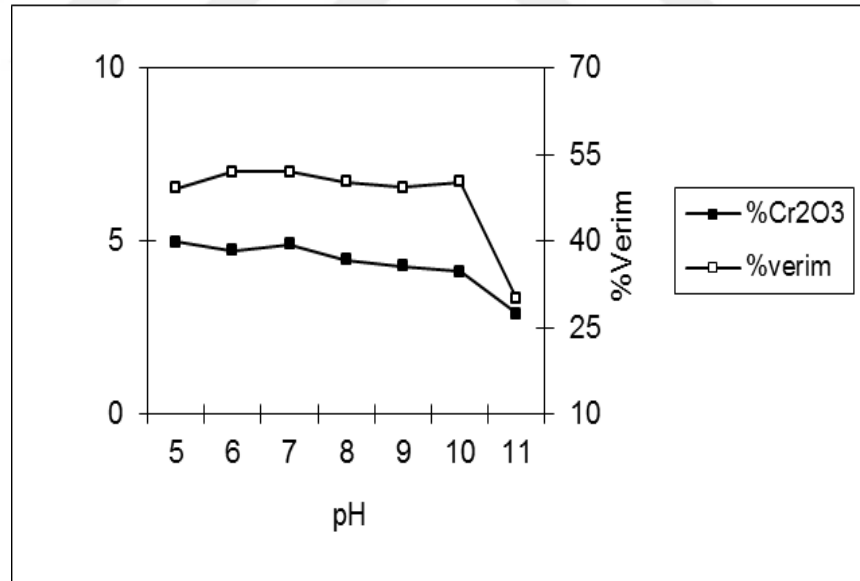
Köpürtücü: Çamyağı; 100g/t

Flotasyon süresi:5dk

Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

Çizelge 4.34. pH'ın toplayıcı Aero238 etkisi

pH	% Cr_2O_3	Cr_2O_3 Verimi
5	4,96	49,19
6	4,72	52
7	4,9	52
8	4,44	50,17
9	4,26	49,30
10	4,11	50,26
11	2,89	29,92



Şekil 4.16. pH'ın toplayıcı Aero238 etkisi grafiği

Çizelge 4.34'te yer alan özellikler incelendiğinde ve bu veriler yerleştirildiğinde Şekil 4.16'da yer alan grafik oluşturulmuş olup, en iyi sonucu pH 8 de % 4,44 % Cr_2O_3 iken verimi % 50,17 olduğu görülmüştür.

Flotasyon koşulları;

Katı oranı : % 30

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Bastırıcı: Na_2SiO_3 ;700g/t

Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

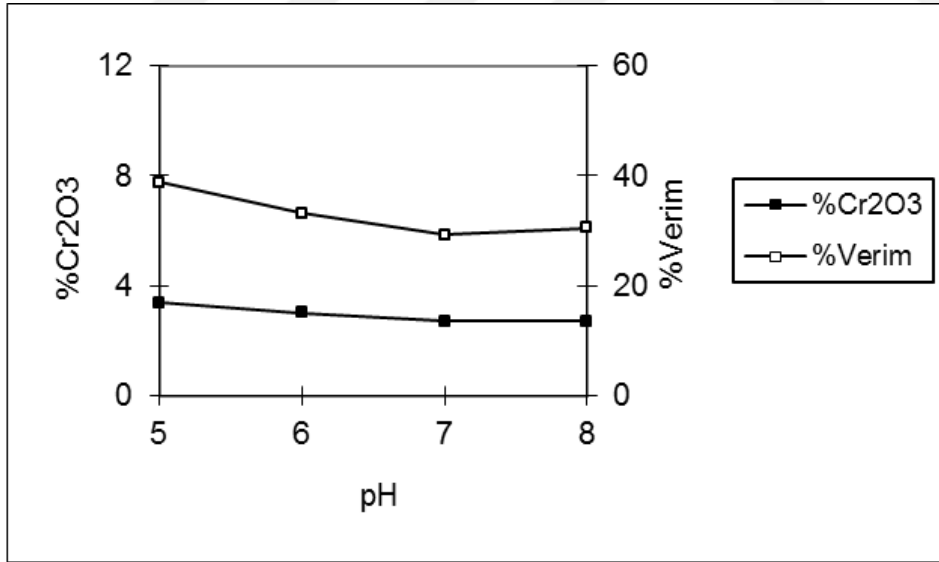
Toplayıcı: Gazyağı; 100g/t

Köpürtücü: Çamyacı; 100g/t

Flotasyon süresi:5dk

Çizelge 4.35. pH'ın toplayıcı gazyağı etkisi

pH	% Cr_2O_3	Cr_2O_3 Verimi
5	3,38	38,78
6	3,02	33,25
7	2,72	29,22
8	2,72	30,51



Şekil 4.17. pH'ın toplayıcı gazyağı etkisi grafiği

Çizelge 4.35'de yer alan özellikler incelendiğinde ve bu veriler yerleştirildiğinde Şekil 4.17'de yer alan grafik oluşturulmuş olup, en iyi sonucu pH 8 de % 2,72 % Cr_2O_3 iken verimi % 30,51 olduğu görülmüştür.

Flotasyon koşulları;

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Ph : 8

Bastırıcı: Na_2SiO_3 ;700g/t

Toplayıcı: 100g/t

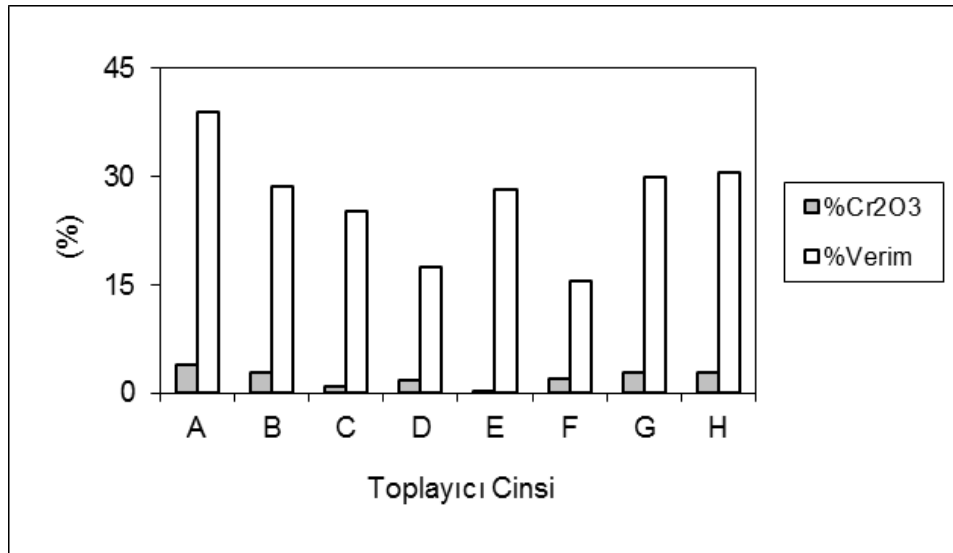
Köpürtücü: Çamyacı; 100g/t

Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

Flotasyon süresi:5dk

Çizelge 4.36. A: Aero830+Aero825, B: Aero830+Aero845, C: Aero825,
D: Aero830, E: Aero 845 F: Aero208, G: Aero238, H: Gazyağı

	% Cr_2O_3	Cr_2O_3 Verimi
A	3,97	38,87
B	2,88	28,53
C	0,89	25,24
D	1,73	17,43
E	0,32	28,11
F	1,85	15,46
G	2,89	29,92
H	2,72	30,51



Şekil 4.18. A: Aero830+Aero825, B: Aero830+Aero845, C: Aero825,
D: Aero830, E: Aero 845 F: Aero208, G: Aero238, H: Gazyağı
Grafığı

Çizelge 4.36’da yer alan A, B, C, D, E, F, G, H’in % Cr₂O₃ ve verim değerleri dikkate alınarak Şekil 4.18’de yer alan toplayıcı cinsi grafiği çizilmiştir.

pH 8 de Cr₂O₃ en düşük tenöre sahip olduğunu Çizelge 4.32’de yer alan özellikler incelendiğinde % 0,32 % Cr₂O₃ tenörlü konsantre % 28,11 verimle Aero845 toplayıcıda elde edilmiştir.

4.4.3. Asidik Ortam Flotasyonu

Flotasyon koşulları;

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Köpürtücü: Çamyacı; 100g/t

Bastırıcı: Na₂SiO₃; 0 g/t

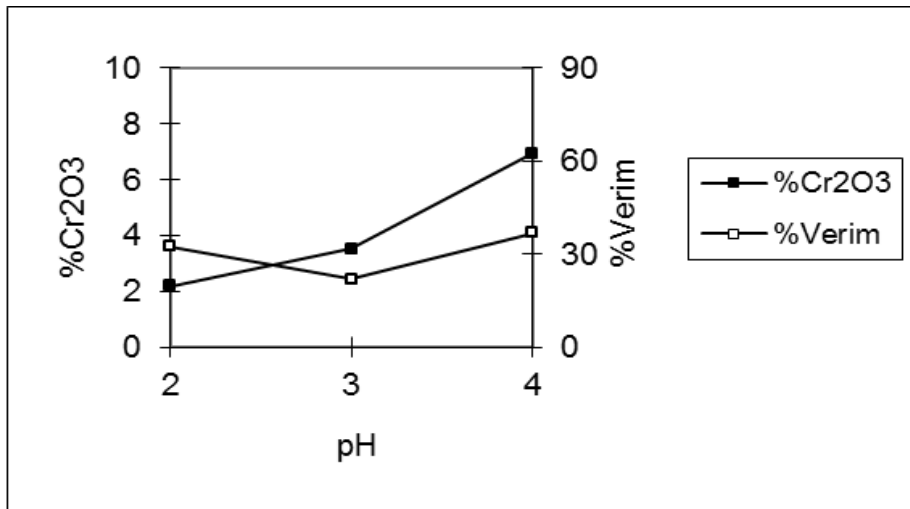
Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

Toplayıcı: Aero 825; 100g/t

Flotasyon süresi:5dk

Çizelge 4.37. Aero 825 kolektörünün 0 bastırıcı ile flotasyonu

pH	% Cr ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃ Verimi
2	2,18	32,22
3	3,51	21,78
4	6,92	36,62



Şekil 4.19. Aero 825 kolektörünün 0 bastırıcı ile flotasyonu grafiği

Flotasyon koşulları;

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Köpürtücü: Çamyağı; 100g/t

Bastırıcı: Na_2SiO_3 ;1000g/t

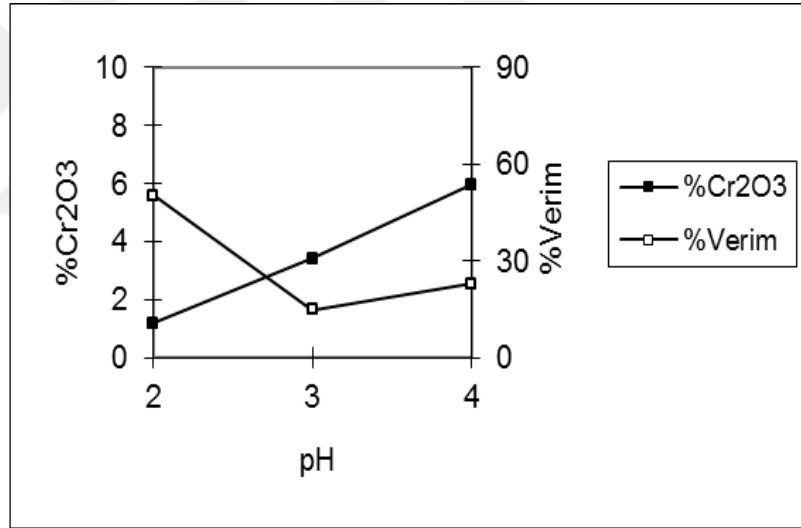
Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

Toplayıcı: Aero825; 100g/t

Flotasyon süresi:5dk

Çizelge 4.38. Aero 825 kolektörünün bastırıcı ile flotasyonu

pH	% Cr_2O_3	Cr_2O_3 verimi
2	1,17	50,27
3	3,41	14,67
4	5,96	22,78



Şekil 4.20. Aero 825 kolektörünün bastırıcı ile flotasyonu grafiği

Aero825 kullanılıp bastırıcı sıfır (0) olduğu zaman Şekil 4.19 incelendiğinde asidik ortamda en uygun pH 4 seçilmiştir. Konsantresi % 6,92 % Cr_2O_3 , %36,62 verimle elde edilmiştir (Çizelge 4.37). Aero825 kullanılıp bastırıcı 1000 gram/ton olarak alındığı ve canlandırıcı sıfır (0) olarak alındığı zaman ise pH 4’de en uygun sonuç gerçekleşmiş olup Şekil 4.20’de grafiği çizilmiştir. Konsantresi % 5,96 % Cr_2O_3 % 22,78 verimle elde edildiğini görürüz (Çizelge 4.38). Bastırıcı miktarının artması ile konsantre tenörünün ve veriminin azaldığı gözlemlenmiştir.

Flotasyon koşulları;

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Köpürtücü: Çamyağı; 100g/t

Bastırıcı: Na_2SiO_3 ; 0g/t

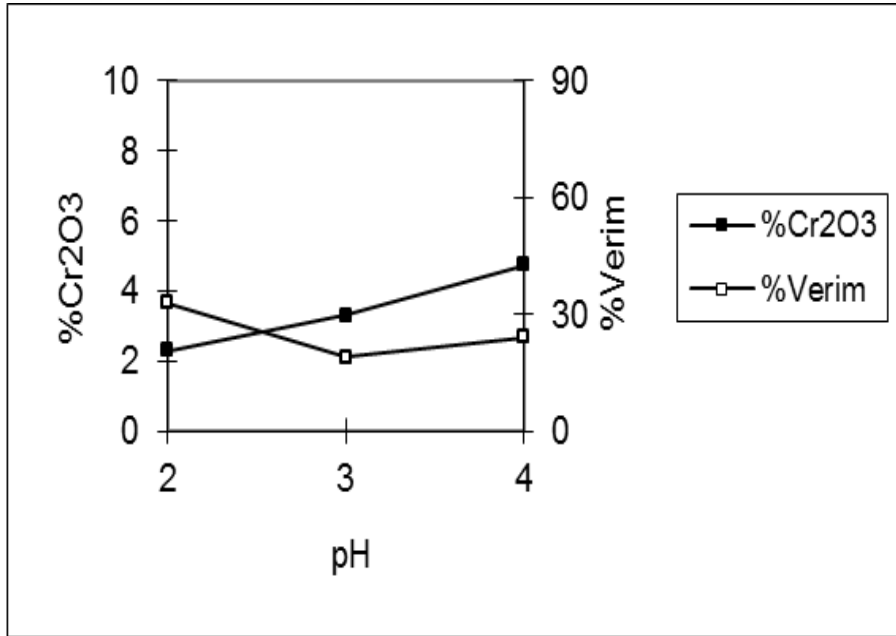
Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

Toplayıcı: Aero830; 100g/t

Flotasyon süresi:5dk

Çizelge 4.39. Aero 830 kolektörünün 0 bastırıcı ile flotasyonu

pH	% Cr_2O_3	Cr_2O_3 verim
2	2,29	32,92
3	3,3	18,89
4	4,73	24,07



Şekil 4.21. Aero 830 kolektörünün 0 bastırıcı ile flotasyonu grafiği

Flotasyon koşulları;

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Köpürtücü: Çamyağı; 100g/t

Bastırıcı: Na₂SiO₃;1000g/t

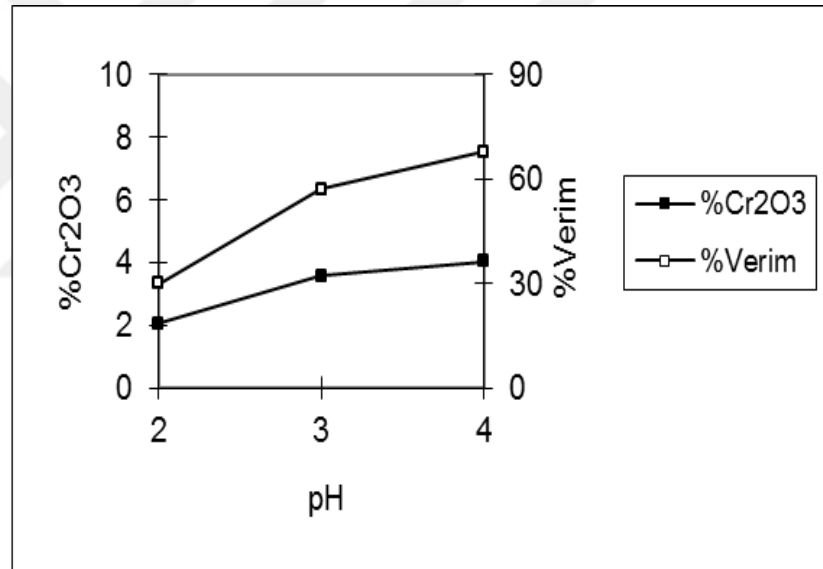
Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

Toplayıcı: Aero830; 100g/t

Flotasyon süresi:5dk

Çizelge 4.40. Aero 830 kolektörünün bastırıcı ile flotasyonu

pH	% Cr ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃ verim
2	2,06	29,92
3	3,56	57
4	4,02	67,67



Şekil 4.22. Aero830 kolektörünün bastırıcı ile flotasyonu grafiği

Aero830 bastırıcı sıfır (0) alındığında ve canlandırıcı da sıfır (0) olduğu zaman Şekil 4.21 incelendiğinde pH 4 ile çalışmak uygun olacaktır. Konsantresi % 4,73 Cr₂O₃, % 24,07 verimle elde edilmiştir (Çizelge 4.39). Aero830 bastırıcı 1000 gram/ton olduğu zaman ise pH 4 ile çalışmak uygun sonucu vermiş olup Şekil 4.22’de grafiği çizilmiştir. Konsantresi % 4,02 Cr₂O₃, % 67,67 verimle elde edilmiştir (Çizelge 4.40). Bastırıcı eklendiği zaman konsantrenin azaldığı verimin arttığı görülmüştür.

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Flotasyon koşulları;

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Köpürtücü: Çamyağı; 100g/t

Bastırıcı: Na_2SiO_3 ; 0g/t

Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

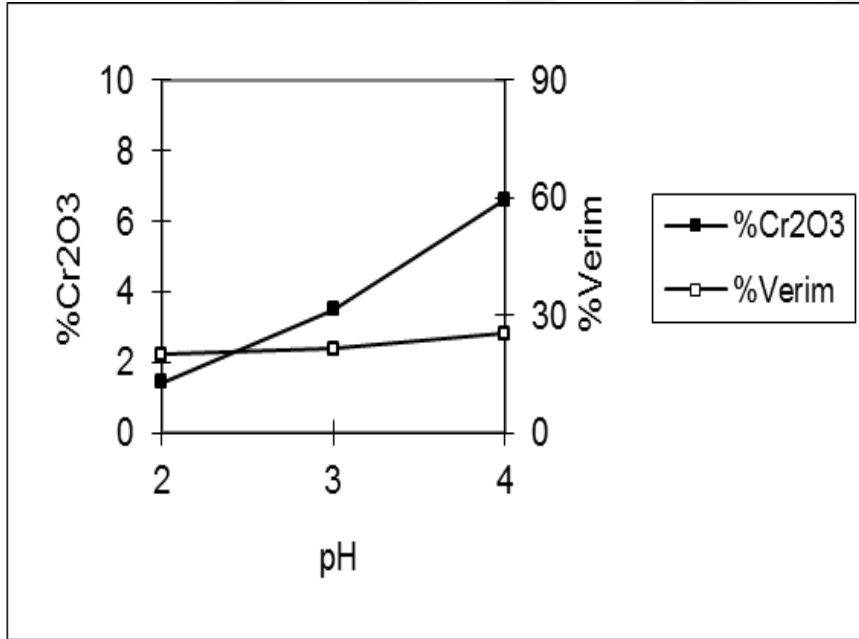
Canlandırıcı: 0 g/t

Flotasyon süresi:5dk

Toplayıcı: Aero845; 100g/t

Çizelge 4.41. Aero845 kolektörünün 0 bastırıcı ve 0 canlandırıcı ile flotasyonu

pH	% Cr_2O_3	Cr_2O_3 verim
2	1,43	19,91
3	3,48	21,25
4	6,6	25,36



Şekil 4.23. Aero845 kolektörünün 0 bastırıcı ve 0 canlandırıcı flotasyon grafiği

Çizelge 4.41'deki veriler incelendiğinde pH 4'te en iyi sonucu vermiştir. Konsantresi % 6,6 Cr_2O_3 , % 25,36 verimle elde edilmiş olup Şekil 4.23'de grafiği çizilmiştir.

Flotasyon koşulları;

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Bastırıcı: Na_2SiO_3 ; 1000g/t

Canlandırıcı: 0 g/t

Toplayıcı: Aero845; 100g/t

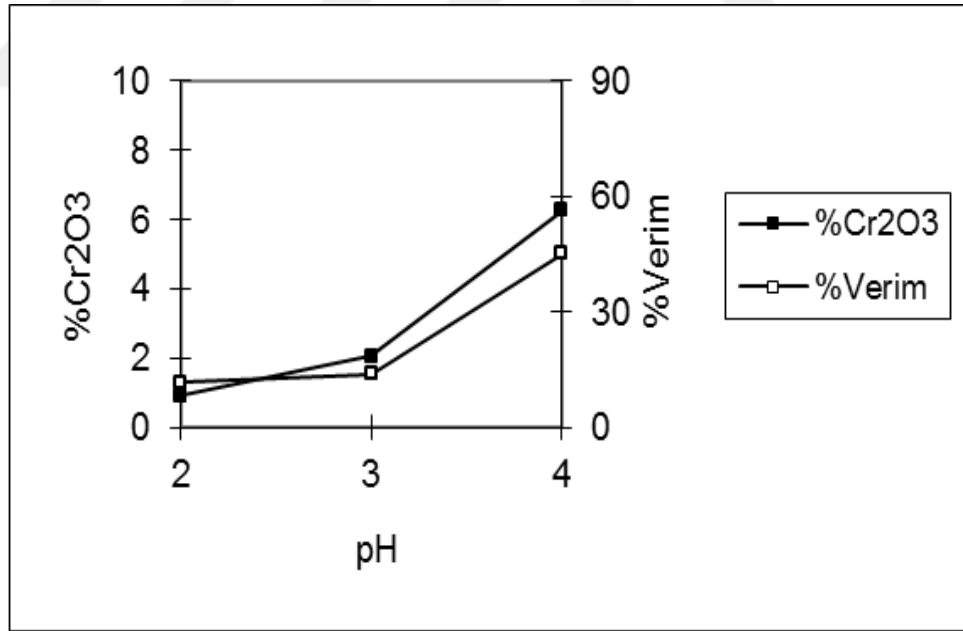
Köpürtücü: Çamyağı; 100g/t

Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

Flotasyon süresi: 5dk

Çizelge 4.42. Aero 845 kolektörünün bastırıcı ve 0 canlandırıcı flotasyonu

pH	% Cr_2O_3	Cr_2O_3 verim
2	0,91	11,59
3	2,05	13,68
4	6,26	45,01



Şekil 4.24. Aero 845 kolektörünün bastırıcı ve 0 canlandırıcı flotasyonu grafiği

Çizelge 4.42'deki veriler incelendiğinde pH 4'te en iyi sonucu vermiştir. Konsantresi % 6,26 Cr_2O_3 , % 45,01 verimle elde edilmiş olup Şekil 4.24'te grafiği çizilmiştir.

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Flotasyon koşulları;

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Köpürtücü: Çamyağı; 100g/t

Bastırıcı: Na_2SiO_3 ;1000g/t

Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

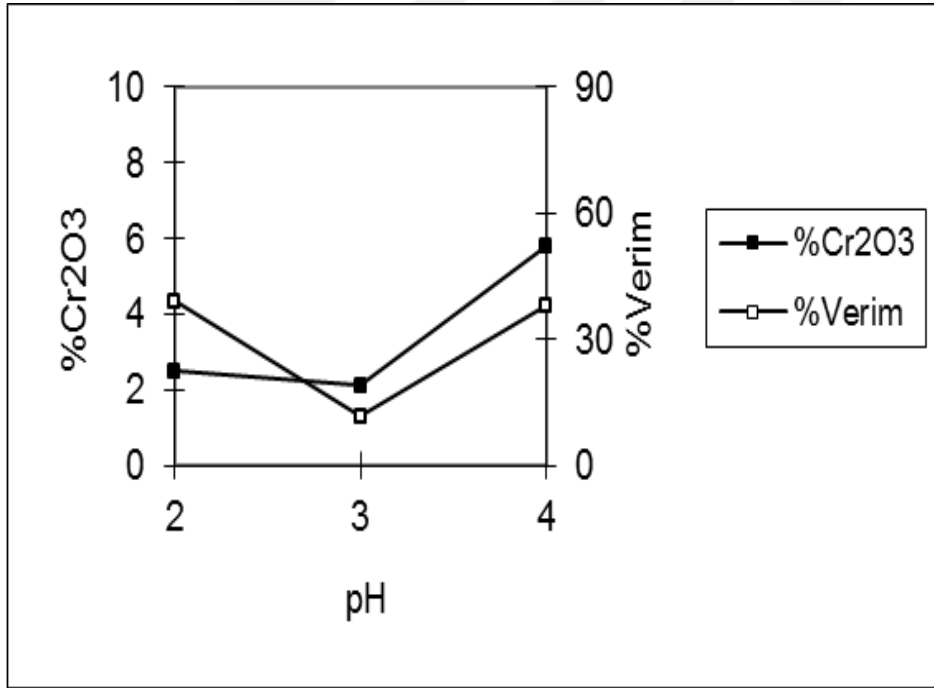
Canlandırıcı: $\text{FeCl}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 500g/t

Flotasyon süresi:5dk

Toplayıcı: Aero845; 100g/t

Çizelge 4.43. Aero 845 kolektörünün bastırıcı ve canlandırıcı flotasyonu

pH	% Cr_2O_3	Cr_2O_3 verim
2	2,48	38,86
3	2,11	11,67
4	5,78	38,02



Şekil 4.25. Aero 845 kolektörünün bastırıcı ve canlandırıcı ile flotasyonu grafiği

Çizelge 4.43'deki veriler incelendiğinde pH 4'te en iyi sonucu vermiştir. Konsantresi % 5,78 Cr_2O_3 , % 38,02 verimle elde edilmiş olup Şekil 4.25'de grafiği çizilmiştir.

Flotasyon koşulları;

Karıştırma hızı: 1000d/dk

Bastırıcı: Na_2SiO_3 ; 0g/t

Canlandırıcı:
 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; 500g/t

Toplayıcı: Aero845; 100g/t

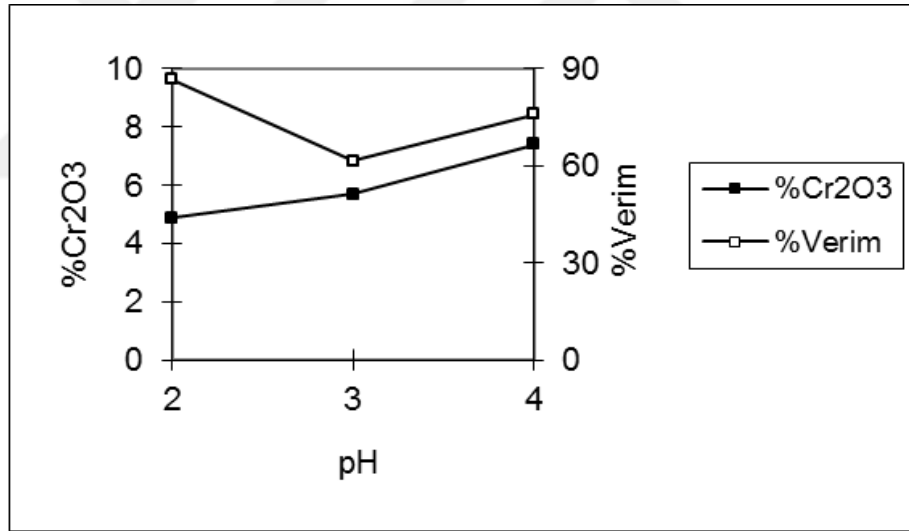
Köpürtücü: Çamyacı; 100g/t

Koşullandırma süresi: 10+10+5 dk

Flotasyon süresi: 5dk

Çizelge 4.44. Aero 845 kolektörünün 0 bastırıcı ve canlandırıcı flotasyonu

pH	% Cr_2O_3	Cr_2O_3 verim
2	4,87	86,52
3	5,67	61,47
4	7,40	75,70



Şekil 4.26. Aero 845 kolektörünün 0 bastırıcı ve canlandırıcı flotasyonu grafiği

Çizelge 4.44'teki veriler incelendiğinde pH 4'te en iyi sonucu vermiştir. Konsantresi % 7,40 Cr_2O_3 , % 75,70 verimle elde edilmiş olup Şekil 4.26'da grafiği çizilmiştir.

Aero845 bastırıcı sıfır (0) ve canlandırıcı sıfır (0) olduğu zaman en uygun pH 4 olduğu görülmüştür. Konsantresi % 6,6 Cr_2O_3 ve % 25,36 verim elde edilmiştir (Çizelge 4.41). Aero845 bastırıcı 1000 gram/ton ve canlandırıcı sıfır (0) olduğu zaman

en uygun pH 4 seçilmiştir. Konsantresi % 6,26 Cr₂O₃ ve % 45,01 verimle elde edilmiştir (Çizelge 4.42). Aero845 bastırıcı 1000 gram/ton ve canlandırıcı 500 gram/ton olduğu zaman en uygun pH 4 seçilmiştir. Konsantresi % 5,78 Cr₂O₃ ve % 38,02 verimle elde edilmiştir (Çizelge 4.43). Aero845 bastırıcı sıfır (0) ve canlandırıcı Pb(CH₃COOH)₂ 3H₂O olduğu zaman en uygun pH 4 seçilmiştir. Konsantresi % 7,40 Cr₂O₃ ve % 75,70 verimle elde edilmiştir (Çizelge 4.44).

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Adana (Aladağ) krom cevherinin özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra içerdiği krom metalinin istatistiksel yöntem kullanılarak sallantılı masa ile zenginleştirilebilirliği deneysel olarak incelenmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Literatür araştırması ve ön flotasyon deneyleri sonucunda krom flotasyonu için en etkili parametrelerin pH, toplayıcı cinsi ve asidik ortam olduğu belirlenmiş ve söz konusu parametreler dikkate alınarak flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Kimyasal analizi yapılan krom cevherinin tam analiz sonucunda %37,91 MgO, %27,46 SiO₂, % 15,04 Cr₂O₃ içerdiği belirlenmiştir.

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 çalışmada 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.

Deneylerde Wilfley laboratuvar tipi sallantılı masa kullanılmıştır. Sallantılı masa kullanılırken 4 faktör incelenmiştir. Bunlar; eğim (2-3⁰) , genlik (7-8 mm) hız (350-400 d/dk) , tane iriliği (+0,1 ve +0,2 mm)' dir. Her birinin iki seviye seçilmesi ortogonal dizi oluşumunda etkili olmuştur. Böylelikle Taguchi deneyinde kullanmak

üzere sallantılı masa için belirlenen parametreler ve bu parametrelerin seviyeleri tespit edilerek zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Parametreler belirlendikten sonra uygun deney tasarımı yani ortogonal dizi seçilmiştir. Faktör ve etkileşimler kolonlara aktırılmıştır ve analiz sonucunda elde edilen verilerde kolonlarda yerini almıştır. Bu durum normal zenginleştirme işleminden daha kısa zaman ve maliyet açısından farklı bir bakış açısı yakalamamızı sağlamıştır. Her bir değer için minimum ve maksimum değerler belirlenmiştir ve elde edilen deneyler istatistiksel işlemlere tabi tutulmuş ve en etkili parametre belirlenmiştir (D). Esas karar verebilmek ve değişken sayısının netliği için hem ortalama istatistiğine göre hem de S/N istatistiğine göre varyans tablosu oluşturulmuştur. Tablolarda elde edilen F değerleri anlamlılık düzeyinin belirlenmesi açısından F tablo değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ortalamaya göre A ve D faktörleri anlam kazanırken, S/N varyansına göre D anlamlı olmuştur.

Daha sonra sallantılı masa artıklarının da işleme tabi tutulması gerçekleşmiştir. Gang ile birlikte bulunan değerli minerallerin serbestleşmesi için belirli sürelerde öğütme ve eleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Krom mineralinin çubuklu değirmenle yapılan öğütme çalışmalarında kullanılan her öğütme süresi sonunda elde edilen ürünlerin tane boyu dağılımları şekil ve çizelgelerle gösterilmiştir. Öğütme ve mikroskop çalışmaları neticesinde 0,038 mm de serbestleşebildiği tespit edilmiştir. Öğütme koşulları belirlenerek her süre için aynı tutularak 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 dakikalık süreler için öğütme yapılmıştır. Kümülatif elek altı ve kümülatif elek üstü oranları belirlenerek grafikleri ayrı ayrı çizilmiştir. Karşılaştırmalı kümülatif elek altı belirlenerek grafiği çizilmiştir.

5 dakika öğütülen cevher elek analizine tabi tutulduğunda 0,038 mm (Çizelge 4.19) oranlarının % 8,33 ve grafiği Şekil 4.1 iken 10 dakika (Çizelge 4.20) % 9,33 ve grafiği Şekil 4.2'de, 15 dakika (Çizelge 4.21) % 5,33 ve grafiği Şekil 4.3'de, 20 dakika (Çizelge 4.22) % 15,67 ve grafiği Şekil 4.4'te, 25 dakika (Çizelge 4.23) % 10,33 ve grafiği Şekil 4.5'de, 30 dakika (Çizelge 4.24) % 11,66 ve grafiği Şekil 4.6'da, 35 dakika (Çizelge 4.25) % 18,67'ye ulaştığı ve grafiğinin Şekil 4.7 olduğu gözlenmiştir. Öğütme sürelerinin karşılaştırmalı sonuçları Çizelge 4.26'da ve grafiği ise Şekil 4.8' de gösterilmiştir.

Sallantılı masa sonrasında 0,1 mm altındaki artık numuneleri ile gereken öğütmeler gerçekleştirdikten sonra flotasyon ile zenginleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Farklı öğütme sürelerine sahip numunelerin flotasyon grafiği çizilmiştir (Şekil 4.9). En iyi sonucunun 20 dakikada %5,4 Cr_2O_3 ve %48,36 verim ile gerçekleştiği görülmüştür (Çizelge 4.27).

Flotasyon koşulları aynı tutularak toplayıcı olarak Aero830 + Aero825, Aero830 + Aero845, Aero825, Aero830, Aero845, Aero208, Aero238 ve Gazyağı kullanıldığında pH 8'de en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir.

Bundan dolayı pH 8 için toplayıcı cinsi tablosu oluşturulmuş ve toplayıcı cinsleri % Cr_2O_3 ve % verim oranları Çizelge 4.36'da yerleştirilip Şekil 4.18'de grafiği çizilmiş ve en iyi sonucu Aero825, Aero830, Aero 845 verdiği belirlenmiştir.

Asidik ortam flotasyona etkileri incelenirken pH 2,3,4 dikkate alınarak yapılmıştır. Aero825 kullanılıp bastırıcı sıfır (0) olduğu zaman asidik ortamda en uygun pH 4 seçilmiştir. Konsantresi % 6,92 % Cr_2O_3 , % 36,62 verimle elde edilmiştir (Çizelge 4.37).

Aero825 kullanılıp bastırıcı 1000gram/ton olarak alındığı ve canlandırıcı sıfır (0) olarak alındığı zaman ise pH 4'de en uygun sonuç gerçekleşmiştir. Konsantresi % 5,96 % Cr_2O_3 % 22,78 verimle elde edildiğini görürüz (Çizelge 4.38).

Aero 830 bastırıcı sıfır (0) alındığında ve canlandırıcı da sıfır (0) olduğu zaman pH 4 ile çalışmak uygun olacaktır. Konsantresi % 4,73 Cr_2O_3 , % 24,07 verimle elde edilmiştir (Çizelge 4.39).

Aero830 bastırıcı 1000 gram/ton olduğu zaman ise pH 4 ile çalışmak uygun sonucu vermiştir. Konsantresi % 4,02 Cr_2O_3 , %67,67 verimle elde edilmiştir (Çizelge 4.40).

Aero845 bastırıcı sıfır (0) ve canlandırıcı sıfır (0) olduğu zaman en uygun pH 4 olduğu görülmüştür. Konsantresi % 6,6 Cr_2O_3 ve % 25,36 verim elde edilmiştir (Çizelge 4.41).

Aero845 bastırıcı 1000 gram/ton ve canlandırıcı sıfır (0) olduğu zaman en uygun pH 4 seçilmiştir. Konsantresi % 6,26 Cr₂O₃ ve % 45,01 verimle elde edilmiştir (Çizelge 4.42).

Aero845 bastırıcı 1000 gram/ton ve canlandırıcı 500 gram/ton olduğu zaman en uygun pH 4 seçilmiştir. Konsantresi % 5,78 Cr₂O₃ ve % 38,02 verimle elde edilmiştir (Çizelge 4.43).

Aero845 bastırıcı sıfır (0) ve canlandırıcı Pb(CH₃COOH)₂ 3H₂O olduğu zaman en uygun pH 4 seçilmiştir. Konsantresi % 7,40 Cr₂O₃ ve % 75,70 verimle elde edilmiştir (Çizelge 4.44).

pH 5'de krom en iyi Aero208 ile yüzdürülmüş ve elde edilen konsantre % 5,27 Cr₂O₃ tenör ve % 60,1 verimle elde edilmiştir. Elde edilen konsantre 2 temizleme flotasyona tabi tutularak % 33,04 Cr₂O₃ tenör ve % 42,01 verimle kazanılmıştır.

Aero845 2 temizleme yapılmış ve nihai konsantre % 39,48 Cr₂O₃ tenör ve % 49,85 verimle elde edilmiştir.

Öneriler;

Taguchi yöntemi sonucu elde edilen verilerin minitab programı ile doğrulamaları yapılabilir. Aynı zamanda deney düzeneğiyle ilgili birleştirilmiş ortogonal dizinler kullanılabilir. Sallantılı masa konsantresi yerine artıkları yada ara ürünleri üzerinde taguchi uygulamaları yapılabilir. % 5 lik anlamlılık düzeyi ile değil %1 lik anlamlılık düzeyinin sonuçlara etkisi incelenebilir.

Çubuklu değirmen yerine bilyalı yada otojen öğütme yöntemine başvurulabilir. Kuru öğütme yerine yaş öğütme gerçekleştirilebilir. Flotasyon kaba flotasyondan ziyade aşamalı flotasyon şeklinde gerçekleştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

Ağaçayak, T., 2004, Selçuk Üniversitesi, Topraktepe (Yeşildağ – Beyşehir – Konya) Kromitlerinin Araştırma Yöntemlerinin Araştırılması, 3 – 4

Alp, İ., Celep, O., Deveci, H. ve Yazıcı, E., 2004a, Processing of Gold From Mastra (Gümüşhane - Turkey) Ore by Knelson Gravity Concentrator, SGEM 2004, Bulgaristan, Bildiriler Kitabı, 259- 266.

Anagün, A.S., 2000. Kalite kontrolde ileri teknikler ders notları.

Aslan, N. 1996. Değişik hammaddelerin multi gravite separatörü ile zenginleştirme parametrelerinin araştırılması, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas. 121.

Atak, S., 1982. Flotasyon, ilkeleri ve Uygulaması, İTÜ Maden Fakültesi Yayınları, Sayfa:222. İstanbul.

Atak, S. 1990. Flotasyon. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı, Yayın No:34, Sayfa:222. İstanbul.

Atak , S. ve Tolun, R., 1994. Flotasyon , Cevher Hazırlama El Kitabı, (G. Önal. ve G. Ateşok, editör), Yurt Madenciligi Geliştirme Vakfı, İstanbul, 207-290.

Ayhan, F.D., 1996. Kompleks Bakır Cevherlerinin Optimal Flotasyon Şartlarının Tesbiti, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.88s.

Ayhan, F.D., 2003. Investigation of Processing Conditions of Bitlis Kyanite Ores, PhD Thesis, 159.

Aydın, M.E., 2001. Etibank Guleman Kef konsantratör tesisi kromit artıklarının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır. 38.

Bayat, O., 2009. Cevher Hazırlama Zenginleştirme Laboratuvarı Ders Notları (Yayınlanmamış Rapor), Çukurova Üniversitesi, 1 – 2.-- Şubat 2009, Metalik Cevherleri Zenginleştirme Yöntemleri Ders Notları (Yayınlanmamış Rapor), Çukurova Üniversitesi, 12 – 13.

Celep, O., Alp, İ., Deveci, H., Vıçıl, M. ve Yılmaz, T. 2006. Knelson santrifüj gravite ayırıcısıyla Mastra (Gümüşhane) cevherinden altın kazanımı, *Yer bilimleri Dergisi*, 19(2), 175-182.

Crozier, R.D., 1992. Flotation, ISBN: 008-041864-3, Pergamon Press, Oxford.

Cynamid., 1986. Mining Chemicals Handbook, Copyright by American Cynamid Company, Mineral Dressing Notes No:26, 178. USA.

- Çelik, C., 1993. Kalite geliştirmede tasarım eniyileme problemine taguchi yöntemlerinin uygulanmasında sistematik bir yaklaşım, Doktora tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir. 138.
- Çınarlıdere, G., 2012. Kromit minerali zenginleştirilmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak. 30.
- Çilingir, Y., 1990, Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri, C.1, İzmir.
- Çilingir, Y. 1996. Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri (2.Baskı). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları. 198. İzmir.
- Çömlekçi, N., 2003. Deney tasarımı ilke ve teknikleri, Alfa Yayınları Ders Kitapları. 468s.
- Deniz, V., 1992, Burdur – Yeşilova Yöresi Kromitlerinin Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir. 101.
- Develi, Y. 2014. Hatay Yöresi Tekcrom Maden A.ř Krom işletmesi triyaj artıklarının zenginleştirilebilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 100.
- Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu, Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı Ankara 2001, DPT: 2626 - ÖİK: 637, 1 – 8, 11 – 14,
- Engelbrecht , J.A. ve Woodburn, E.T., 1975. The effects of froth height, aeration rate, and gas precipitation on flotation, *J. of South African Ins. of Mining and Metal.*, Oct., 76,125-132.
- Ergin, Z., Cöcen, İ. ve Semerkant, O. 1998. Cevher zenginleştirme laboratuvar ders notları (3. baskı). D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi. İzmir.
- Er, B., 2011. Multi gravite cihazlarının krom cevheri zenginleştirmesindeki etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Fuerstenau, D.W., 1962. Forth Flotation 50th Anniversary Volume, AIME, 677.
- Fuerstenau, M.C., 1995. Oxide and silicate flotation, Flotation science and engineering (Ed: K.A. Matis), Marcel Dekker Inc., ISBN:0-2847-9264-5, New York, 89-126.
- Fuerstenau, M.C. ve Palmer, B.R., 1976. Anionic flotation of oxides and silicates, Flotation A.M. Gaudin memorial volume I (Ed: M.C. Fuerstenau), AIMME, New York, 148-196.
- Gence, N., 1985, Elazığ Kafdağı Kromitlerinin Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Gökçe, A. 1995. Maden yatakları. Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, Yayın No:59, Sayfa:307. Sivas.

Güney, A., 1990, Etibank Üçköprü Krom Zenginleştirme Tesisi Artıklarından Küçük Boyutlu Kromitin Zenginleştirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 123.

Hacıoğlu, S., 2010. Kayseri Pınarbaşı kromitlerinin kuru zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 83.

Hamzaçebi, C., Kutay, F., 2003. Taguchi metodu bir uygulama, Gazi Üniversitesi, *Teknoloji Dergisi*, Sayı:3-4, 7-17.

Huang, L., 1996, Upgrading of Gold Gravity Concentrates: A Study of the Knelson Concentrator, Doctor of Philosophy, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal. 290.

Işık, F. 2000. Taguchi Metodu ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul. 75.

Karahan, Y.Z.Ö. 2011. madencilik türkiye 15 temmuz 2011 makale Yusuf ziya özkan sabri karahan

Kasman, Ş., 2009. Lazer Mikro İşleme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine Etkisinin Deneysel Tasarım Yöntemiyle Belirlenmesi.5. Uluslar. İleri Tek. Sem. (IATS'09), Karabük, Türkiye.

Kaya, M. ve Laplante, A., 1988. Evaluation of the potential of washwater addition and froth vibration on gangue entrainment in mechanical flotation cells, II. Uluslararası cevher hazırlama sempozyumu bildirileri (Ed: Y. Aytakin), İzmir, 175-184.

Khosrow, D. 1989 . Quality Control, Robust Design And The Taguchi Method “ Kackar Raghu N, Taguchi Quality Philosophy: Anallysis And Commentary ” , Bölüm 1 , syf 3-4.

Kıdıman, F. B. 2009. Düşük tenörlü krom cevherlerinin zenginleştirilmesinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 90.

Kirjavainen, V.M., 1996. Review and analysis of factors controlling the mechanical flotation of gangue minerals, *Inter. J. Miner. Process.*, 46(1-2): 21-34.

Kirjavainen, V.M. ve Laapas, H.R., 1988. A study of entrainment mechanism in flotation, XVI Inter. Mineral processing congress (Ed: K.S.E Forssberg), Elsevier, Amsterdam, 665-677.

Klassen, V.I., and Mokrousov, V.A., 1963. An Introduction to the Theory of Flotation, Butterworths, 492s.

Knelson, B. ve Jones, R., 1993, A New Generation of Knelson Concentrators a Totally Secure System Goes on Line, *Mineral Engineering*, 7,201-207.

Kumar, C.G., Tripathy, S., Rao, D.S., 2009. Characterisation and pre-concentration of chromite values from plant tailings using floatex density separator, *Journal of Minerals& Materials Characterization& Engineering*, Vol. 8, No:5, 367-378.

Kurşun, H. 1993. Karanlıkdere düşük tenörlü kromit cevherinin optimum zenginleştirme koşullarının araştırılması çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.

Kurşun, İ. 2003. Karadeniz bölgesi sahil kumlarının titanyum açısından değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 169.

Laskowski, J.S., 1999. Weak electrolyte collectors, Advances in flotation technology (Ed: B.K. Parekh ve J.D. Miller), SME, ISBN: 0873351843, Littleton, 59-82.

Leja, J., 1982. Surface chemistry of flotation, ISBN: 0-306-40588-1, Plenum Press, New York.

Lima, R.M.F., Brandao, P.R.G. ve Peres, A.E.C., 2005. The infrared spectra of amine collectors used in the flotation of iron ores, *Minerals Engineering*, 18, 267-273.

Magumbe, L., 2002, Process Design for Gold Recovery from The Chester Deposit, Yüksek Lisans Tezi, Laurentian Üniversitesi.

Murthy, Y.R., Tripathy, S.K., Kumar, C.R., 2011. Chrome ore beneficiation challenges & opportunities – A review, *Minerals Engineering*, 24, 375-380.

Orel, K., İmre, Ü., 1967. Cevher Zenginleştirme Hakkında Ana Bilgiler, *Madencilik Dergisi*, Mayıs Cilt: -VI, Sayı: 2, 125.

Önal, G. (1980). Cevher hazırlamada flotasyon dışındaki zenginleştirme yöntemleri. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversite Matbaası.

Önal, G., Güney, A., 1988, Türkiye’de krom madenciliği, İstanbul.

Öztürk, F.D., Temel, H.A.. 2014. Enrichment of Bingöl (Yedisu), Diyarbakır (Hani and Ergani) and Elazığ (Alacakaya) Chromite, *Mühendislik Dergisi*, Cilt 5, Sayı 2, 81-88.

Öztürk, F.D., Temel, H.A., 2016. Beneficiation of Konya-Beyşehir chromite for producing concentrates suitable for industry, *JOM*, Vol. 68, No. 9, 2449-2454

Palanikumar, K., (2011). Experimental investigation and optimisation in drilling of GERP composites, *Measurement*, 44, 21382148.

- 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.
- Papp, J. F., 1994. Chromium life cycle study, U.S. Bureau of Mines information Circular 9411, 94, U.S.
- Patchejieff, B., Gaidarjiev, S. ve Lazarov, D., 1995, Opportunities for Fine Gold Recovery from a Copper Flotation Circuit using a Knelson Concentrator, *Minerals Engineering*, 7 (2/3): 405- 409
- Pearse, M.J., 2005. An overview of the use of chemical reagents in mineral processing, *Minerals Engineering.*, 18 (2): 139-149.
- Pobb, J.F., 1997, Chromium: USGS-Mineral Information.
- Ren, X., Li, Q., Zhang, Y. ve Liu, D., 1994, A New Centrifugal Separator for Recovering Minerals from Fine and Ultrafine Sizes, Innovations in Minerals Processing, Sudbury, 349-355.
- Ross, V.E., 1990. Flotation and entrainment of particles during batch flotation tests, *Minerals Engineering.*, 3(3-4): 245-256.
- Ross, V.E., 1991a, The behaviour of particles in flotation froths, *Minerals Engineering.*, 4(7-11): 959-974.
- Ross, V.E., 1991b, Comparison of methods for evaluation of true flotation and entrainment, Trans. Inst. Min. Metall. (Sect.C.Mineral Process. Extr. Metall), 100, C121-C126.
- Ross, P.J., 1996. Taguchi techniques for quality engineering, McGraw – Hill International book company, ISBN 0-07-114663-6, 1-73.
- Samanlı, S., 1998, Kromit Tesis Artıklarının Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 63.
- Scheffler, E., 1997. Statische versuchplanung und auswertung, Eine Einführung in die Praxis der statistischen Versuchsplanung, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Stuttgart, ISBN 3-342-00366-9, 1-50.
- Shaw, D.J., 1970. Introduction to colloid and surface chemistry, ISBN: 0408700211, 2.baskı, Butterworth & Co.Ltd., London, 55-186.
- Smith, R.W. ve Akhtar, S., 1976. Cationic flotation of oxides and silicates, Flotation A.M. Gaudin memorial volume I (Ed: M.C. Fuerstenau), AIMME, New York, 87-116.

Smith, P.G. ve Warren L.J., 1989, Entrainment of particles into flotation froths, Frothing in flotation (Ed: J.S. Laskowski), Gordon and Breach Science, 123-145.

Stechemesser, H. ve Nguyen A.V., 1999. Time of gas-solid-liquid three-phase contact expansion in flotation, *Int. J. Miner. Process.* 56, 117-132.

Subrahmanyam, T.V., Monte, M.B.M., Middea, A., Voldiviezo, E. ve Lins, F.F., 1999. Contact angles of quartz by capillary penetration of liquids and captive bubble techniques, *Minerals Engineering.*, 12(11): 1347-1357.

Sundar – Murti, N.S., Shah, K., Gadgeel, V.L., and Seshandri, V., 1993, Effect of Lime Addition on Rate of Reduction of Chromite by Graphite, Trans. Inst. Min. Metall. (Sect. C: Mineral Process. Extr. Metal.), 92.

Şanyılmaz, M., 2006, Deney tasarımı ve kalite geliştirme faaliyetlerinde Taguchi yöntemi ile bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya. 106.

Şirvancı, M., 1997. Kalite için deney tasarımı. Literatür yayınları. İstanbul, 110s.

Taggart, A.F. 1951. Elements of ore dressing. New York: John Wiley and Sons.

Taguchi, G., Chowdury, S., Wu, Y., 2005. Taguchi's quality engineering handbook. ASI consulting group, LLC, Livonia, Michigan, ISBN 0-471-41334-8.

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.

Taylan, D. (2009). Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta. 73.

Temur, S. 1997. Metalik maden yatakları. Konya Selçuk Üniversitesi Basımevi.

Tolun, R., 1960. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara. Minerallerin Ayrılma Prensipleri ve Maden Sanayiindeki Tatbikatı., 1.

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.

Tripathy, S.K., Murthy, Y.R., Singh, V., Suresh, N. 2016. Processing of Ferruginous Chromite Ore by Dry High-Intensity Magnetic Separation, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 37(3): 196-210.

Turgut, B., 1995, Düşük Tenörlü Karaburhan Kromitlerinin Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir. 64.

Uyğur, B. 2009 . Açık Ocaklarda Patlatma Kaynaklı Sarsıntıların Taguchi yöntemi kullanılarak parametre optimizasyonu ile azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya. 221.

Weiss, N.L., 1985. Mineral processing handbook, ISBN: 0-89520-433-6, SME, New York, 5.1-5.110.

Wills, B.A., 1997. Mineral processing technology, ISBN: 0-7506-2838-3, 6th edt., Butterworth- Heinemann, Oxford, 258-341.

Yang, W.H., Tarng, Y.S., 1998. Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi Metod, *Journal of Materials Processing Technology*, 84, 123-130.

Yıldırım, S. (2011). Ürün Tasarımı Geliştirilmesi: Taguchi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 70.

Yıldız, N. 2007. Cevher hazırlama. Ankara: Ertem Basım Yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. Sayfa:492. Ankara.

Yiğit, E. 1994. Boyuta göre sınıflama ve ayıklama ile zenginleştirme. G. Önal ve G. Ateşok, (Ed.), Cevher hazırlama el kitabı içinde (131-146). İstanbul: Vitrin Yayınları.

ZEDEF V., 1995, Maden Yatakları Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya.

ZHANG, B., 1998, Recovering Gold from High Density Gangues with Knelson Concentrator, Master's thesis, McGill Üniversitesi, Kanada.

www.cevherhazirlama.com

www.mta.gov.tr

<http://www.koyunoglu.com.tr/krom-ve-dunya-piyasasi.html>

<http://www.madencilik-turkiye.com>

www.google.com



ÖZGEÇMİŞ

Yazar Diyarbakır'da doğdu. İlk, orta, lise ve üniversite eğitimini Diyarbakır'da tamamladı. 2014 yılında Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği bölümünü derece ile bitirdi. Aynı fakültede yüksek lisans eğitimine başladı.





DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

ADI VE SOYADI	Tuğba TABAZIK
ÖĞRENCİ NO	16807002
EĞİTİM - ÖĞRETİM YILI	2018-2019
YARIYIL	<input type="checkbox"/> Güz <input checked="" type="checkbox"/> Bahar
ANABİLİM DALI	Maden Mühendisliği
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Taguchi Yöntemi Kullanılarak Aladağ (Adana) Kromlarının Zenginleştirilmesi

İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ

RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	117
BENZERLİK ORANI	%22
RAPORLAMA TARİHİ	21/ 06/ 2019

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 117 sayfalık kısmına ilişkin, 21/06/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 22 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- Kabul/Onay sayfaları hariç,
- Kaynakça hariç
- Alıntılar hariç/dâhil
- Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tuğba TABAZIK
24/06/2019

Prof. Dr. Fatma Deniz ÖZTÜRK
Tez Danışmanı
24/06/2019

Prof. Dr. Mustafa AYHAN
Anabilim Dalı Başkanı
24/06/2019

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.