

**SPIRAL ZENGİNLEŞTİRİCİLERDE
TANE BOYUNUN PERFORMANSA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**AN INVESTIGATION OF THE EFFECT OF
PARTICLE SIZE ON THE PERFORMANCE OF
SPIRAL CONCENTRATORS**

DAMLA GÜÇBİLMEZ

Prof. Dr. Ő. LEVENT ERGÜN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim - Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliğı Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2013

DAMLA GÜÇBİLMEZ'in hazırladığı “**Spiral Zenginleştiricilerde Tane Boyunun Performansa Etkisinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

(Prof. Dr., M. Ümit ATALAY)

Danışman

(Prof. Dr., Ş. Levent ERGÜN)

Üye

(Prof. Dr., Zafir EKMEKÇİ)

Üye

(Yrd. Doç. Dr., N. Metin CAN)

Üye

(Yrd. Doç. Dr., İlkay B. ÇELİK)

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

28 / 06 / 2013

imza

DAMLA GÜÇBİLMEZ

ÖZET

SPIRAL ZENGİNLEŞTİRİCİLERDE TANE BOYUNUN PERFORMANSA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

DAMLA GÜÇBİLMEZ

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ş. LEVENT ERGÜN

Haziran 2013, 105 sayfa

Bu çalışmada; yerçekimi ile ayırma ekipmanlarından olan spiral zenginleştiricilerde, kromit cevherinin bağlı ve serbest olduğu durumlarda tane boyuna bağlı zenginleşme davranımlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla; 60 cm çaplı bir mineral zenginleştirme spirali, karıştırıcılı bir hazne ve pompa kullanılarak kapalı devre çalışacak şekilde bir deney düzeneği kurulmuştur.

Deney numunesi olarak, kromit cevheri ve kuvars-kromit suni karışımı kullanılmıştır. Kromit zenginleştirme tesisinin değirmen çıkışından alınan kromit numunesi şlam atma işlemi uygulandıktan sonra spiral zenginleştirici beslemesi olarak kullanılmıştır. Hazırlanan suni karışım ise, şlam içermeyen kütlece %80 kuvars kumu ile %20 kromit konsantresinin karıştırılmasıyla elde edildikten sonra besleme olarak kullanılmıştır.

Farklı debi ve bıçak ayarında zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Kararlı durumda çalışırken spiral ürünlerinden eşzamanlı numuneler alınmış ve debileri ölçülmüştür.

Çalışmalar neticesinde; tane boyu yaklaşık 250 μm 'a kadar arttıkça verimde artış olduğu gözlenmiş ancak, bu tane boyundan itibaren tane boyu irileştikçe verimde bir düşüşün yaşandığı gözlenmiştir. Ayrıca suni karışımla yapılan deneylerde yüksek verimlerde kromit kazanımı gözlenirken, kromit cevheri ile yapılan çalışmalarda çok daha düşük verimlerde kazanım olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Spiral zenginleştirici, kromit cevheri, yer çekimiyle ayırma, tane boyu analizi.

ABSTRACT

AN INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PARTICLE SIZE ON THE PERFORMANCE OF SPIRAL CONCENTRATORS

DAMLA GÜÇBİLMEZ

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ş. LEVENT ERGÜN

June 2013, 105 pages

In this study the aim was to investigate the enrichment characteristic of locked and liberated chromite particles on a spiral concentrator which is one of the gravity concentration devices.

For this purpose, a closed circuit experimental set up, that includes a 60-cm-diameter spiral concentrator, a stirred sump and a pump, was established.

Chromite ore and quartz-chromite artificial mixture were used as test samples. Chromite ore sample which was taken from the mill discharge of a chromite processing plant was used as spiral concentrator feed after desliming process. The artificial mixture, prepared by mixing 80% of deslimed quartz sand and 20% of chromite concentrate by mass, was also used as spiral concentrator feed.

The concentration tests were carried out in different flow rates and in different positions of the splitters. In steady state conditions the samples were taken simultaneously from the product discharge of the spiral and the flow rates were measured.

As a result of the study; it was observed that as the particle size was increased up to approximately 250 μm , the recovery was also increased. After that certain size, as the particle size was increased more, the recovery was decreased. Furthermore, the test results indicated that the recovery values were much higher in artificial feed results rather than the chromite feed results indicated the importance of liberation.

Keywords: Spiral concentrator, chromite ore, gravity concentration, particle size analysis.

TEŞEKKÜR

Bölüm imkanlarından yararlanmamı sağlayan Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sn. Prof. Dr. A. Hakan BENZER'e,

Tez çalışmalarım sırasında bilgisi ve tecrübesiyle yol gösterici olan, gelişimim için her türlü imkanı sağlayan ve manevi desteğini her zaman hissettiğim tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Ş. Levent ERGÜN'e,

Gerek deneysel çalışmalarımda göstermiş olduğu yardımlardan, gerekse tez yazım aşamasındaki manevi desteklerinden ve sabrından ötürü Araş. Gör. A. Tuğba CEBECİ'ye,

Deneysel çalışmalarımda yardımları olan ve manevi desteğini esirgemeyen Araş. Gör. Özgür ÖZCAN'a,

Deneysel çalışmalarım sırasında emeği geçen Aydın AKTAR ve Buse UÇAR'a,

Çalışmalar için gerekli teknik yardımı sağlayan bölümümüz teknisyenleri Mustafa YILMAZ'a, Işın ASLIYÜKSEK'e,

Moral ve motivasyon konusunda desteklerini esirgemeyen Araş. Gör. S. Yasin KILLIOĞLU ve Araş. Gör. M. Suphi ÜNAL'a,

Tez yazım süresince destek ve anlayışını esirgemeyen Mehmet İZERDEM'e,

Hayatımda çok büyük yerleri olan annem Emel GÜÇBİLMEZ ve babam Ahmet GÜÇBİLMEZ ile aile büyüklerim Sakibe GÜÇBİLMEZ, Ülkü ÖLMEZ ve Zihni ÖLMEZ'e,

Yardım ve desteğini her zaman yanımda hissettiğim dostlarıma,

teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. YER ÇEKİMİ İLE ZENGİNLEŞTİRME.....	3
3. YER ÇEKİMİ İLE ZENGİNLEŞTİRME EKİPMANLARI.....	5
3.1. Jig.....	6
3.1.1. Harz Jigi	8
3.1.2. Denver Mineral Jigi.....	9
3.1.3. IHC Jigi.....	9
3.1.4. Baum ve Batac Jigleri.....	10
3.1.5. Kelsey Jigi	11
3.1.6. IPJ Jigleri (InLine Pressure Jigs).....	11
3.2. Akan Sıvı Zenginleştiricileri.....	11
3.2.1. Oluklar.....	12
3.2.2. Koniler	13
3.3. Sallantılı Masa	15
3.3.1. İkiz Masalar (Gemeni).....	17
3.4. Bartles Zenginleştirme Bandı.....	17
3.5. Merkezkaç Kuvveti Uygulanan Zenginleştiriciler	18
3.5.1. Falcon Zenginleştiricisi	18
3.5.2. Knelson Zenginleştiricisi.....	21
3.5.3. Yüksek Yerçekimli Ayırıcılar	23

4.	SPIRAL ZENGİNLEŞTİRİCİLER.....	26
4.1.	Spiral Zenginleştirici Tasarımı ve Çalıştırma Prensipleri.....	26
4.1.1.	Tarihçe	26
4.1.2.	Kullanım Amaçları	27
4.1.3.	Avantajları	28
4.2.	Spiral Zenginleştiricilerdeki Değişkenlerin Ayırma Etkisi.....	28
4.2.1.	Tasarım Değişkenleri	28
4.2.2.	İşlem Değişkenleri.....	32
4.3.	Spiral Zenginleştirici Çeşitleri.....	36
4.3.1.	Çoklu Çıkış Ağzına Sahip Spiraller.....	37
4.3.2.	Sınırlı Çıkış Ağzına Sahip Spiraller	39
4.4.	Spiral Akışına Etki Eden Kuvvetler ve Modelleme Çalışmaları	40
4.4.1.	Akışa Etki Eden Kuvvetler	41
4.4.2.	Modelleme Çalışmaları.....	43
5.	KROMİT CEVHERİ	44
5.1.	Kromit Cevheri Zenginleştirme Yöntemleri.....	44
5.2.	Kromit Zenginleştirme Akım Şemaları.....	45
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	50
6.1.	Çalışmanın Amacı	50
6.2.	Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Deney Düzeneği	50
6.2.1.	Besleme Malzemeleri ve Numune Hazırlama	50
6.2.2.	Deneyde Kullanılan Ekipmanlar ve Deney Düzeneği	50
6.3.	Deney Koşulları	53
6.3.1.	Kromit Cevheri ile Yapılan Çalışmaların Koşulları	54
6.3.2.	Suni Karışım ile Yapılan Çalışmaların Koşulları	57
7.	DENEYSEL SONUÇLAR	60
7.1.	Kromit Cevheri ile Yapılan Çalışmaların Sonuçları	60

7.1.1. Kromit Cevherinden Elde Edilen Konsantre Numunelerine Ait Sonuçlar	62
7.1.2. Kromit Cevherinden Elde Edilen Atık Numunelerine Ait Sonuçlar	64
7.2. Suni Karışım ile Yapılan alışmaların Sonuçları	65
7.2.1. Suni Karışımdan Elde Edilen Konsantre Numunelerine Ait Sonuçlar ..	68
7.2.2. Suni Karışımdan Elde Edilen Atık Numunelerine Ait Sonuçlar	71
8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMEĞİ	74
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR.....	78
EK	83
ÖZGEçMİş	95

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

° Derece

Kısaltmalar

Cr Krom

O Oksijen

Si Silisyum

Fe Demir

Al Alüminyum

Mg Magnezyum

Cr₂O₃ Kromit

SiO₂ Kuvars

µm Mikrometre

mm Milimetre

cm Santimetre

m Metre

m² Metrekare

m³ Metreküp

lt Litre

sn Saniye

g g-kuvveti (Bir kütleye etki eden hızlanma)

1. GİRİŞ

Mineralleri, aralarındaki özgül ağırlık farkına bağlı olarak birbirinden ayırmak, en eski cevher zenginleştirme yöntemlerinden biridir. Gelişen teknolojiyle birlikte, farklı tane boylarında farklı zenginleştirme yöntemleri tasarlanmış ve kömürden altına, demir cevherlerinden endüstriyel minerallere kadar birçok türde cevherin zenginleştirilmesine yönelik uygulamalarda bulunulmuştur.

Yerçekimiyle zenginleştirmede 1940'lardan beri kullanılmakta olan ekipmanlardan biri de spiral zenginleştiricilerdir. Spiral zenginleştiriciler; kömür ve metalik mineraller gibi farklı cevher türlerini zenginleştirme amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadırlar. İlk yatırım ve işletme maliyetlerinin düşük olması, birim alanda az yer kaplamaları, uygulama değişkenlerinin basit olması ve hareket eden parçalarının olmaması sebebiyle endüstride tercih edilmektedirler.

Ülkemizde faaliyet gösteren yer çekimi ile zenginleştirme tesisleri incelendiğinde; aralarında, farklı kapasitelerde çalışan çok sayıda kromit zenginleştirme tesisinin olduğu görülmektedir. Bunların büyük çoğunluğunda sallantılı masalar kullanılmaktadır. Giderek düşen besleme tenörü nedeniyle maliyetler artmaktadır. Spirallerin özellikle ön zenginleştirme amacıyla kullanılması, bu maliyetleri önemli ölçüde düşürme potansiyeline sahiptir. Buna karşın, ülkemizde spiral zenginleştiricilerle ilgili çelişkili görüşler ortaya çıkmış ve başlanan bir kaç uygulama terkedilmiştir. Bunun nedenleri konusunda sistematik çalışmalar yapılmamıştır.

Spiral zenginleştiriciler ile ilgili yapılan çalışmalar genel olarak, spirallerdeki işlem değişkenlerinin ve spiral tasarımının değiştirilmesi üzerine olmuştur [1], [2]. Bunun yanı sıra, spiral zenginleştiricilere beslenen tanelerin akıştaki davranımına ilişkin modelleme çalışmaları da yapılmaktadır [3], [4]. Bu sayede; deneme-yanılmaya dayalı, uygulamalı deneysel çalışmalardan; bilgisayar destekli çalışmalarla, akıştaki değişikliklerin gözlemlenmesi ve buna bağlı olarak gerçek hayata uygulanması hedeflenmektedir.

Spirallerde çok ince taneler ayırma verimini düşürdüğünden; bu ekipmanlara beslenecek olan malzemeler, şlamından arındırılmış olmalıdır. Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde; spiral zenginleştiricilerde tane boyunun ayırma üzerine olan etkisinin, deneysel olarak kapsamlı bir şekilde çalışılmadığı görülmektedir. Bu

konuda önemli noktalardan biri, kromit cevherlerinde tane boyu ve serbestleşmenin ayırma etkisinin belirlenmesidir.

Bu çalışmada, spiral zenginleştiricide tane boyunun ayırma olan etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır. İdeal serbestleşmeye sahip kromit-kuvars karışımı ve kromit cevheri kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ürünlerin pompa havuzuna döndüğü kapalı devre bir deney düzeneği kullanılarak farklı koşullarda test çalışmaları yürütülmüştür. Besleme ve ürünlerin tane boyu analizleri yapılmış ve her bir fraksiyona krom analizi uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Spiral zenginleştiricilerde, tane boyuna bağlı ayırım performanslarının incelenmesinin yanı sıra, farklı serbestleşme derecelerindeki kromit beslemelerinin performans karşılaştırılmasının yapılması da hedeflenmiştir.

2. YER ÇEKİMİ İLE ZENGİNLEŞTİRME

Yer çekimi ile zenginleştirmede, mineralleri birbirinden ayıran en önemli özellikleri, yoğunlukları arasındaki farklılıklarıdır. Yoğunluğu ve boyutu farklı olan malzemelerin, akışkan ve hava ortamlarındaki davranışları da farklı olmaktadır. Özgül ağırlıkları, boyları ve şekilleri farklı olan cevher tanelerinin, yer çekimi kuvveti veya zenginleştirme ekipmanlarında yaratılan merkezkaç kuvvetlerinin etkisiyle birbirlerinden ayrılması, yer çekimi ile zenginleştirme yöntemi olarak adlandırılmaktadır.

Reaktif kullanımı olmadığından buna bağlı ek maliyetinin olmaması, uygulama kolaylığı, çevre kirliliğine sebebiyet vermemesi ve bunların sonucu olarak ekonomik ve ekolojik açıdan kabul gören sistemler olması sebebiyle yer çekimi ile zenginleştirme uygulamaları oldukça yaygın olarak birçok mineral ve kömür zenginleştirilmesi işleminde kullanılmaktadır. Yer çekimi ile zenginleştirilen minerallerde serbestleşmenin iri boylarda olması, devreyi kapasite anlamında rahatlatmakta ve bu ünitelerden daha verimli sonuçlar alınmasını sağlamaktadır [5].

Ancak her mineral türünün yer çekimi ile zenginleştirme için uygun olması söz konusu olmayabilir. Minerallerin, yer çekimi ile zenginleştirme yöntemi kullanılarak birbirinden ayrılabilmesi için, yoğunlukları arasında belirli bir farkın olması gerekmektedir. Bu fark, konsantrasyon kriteri (K.K.) eşitliği ile ifade edilmektedir. Konsantrasyon kriteri, tane boyuna bağlı olarak uygulanabilecek en uygun ayırma yönteminin belirlenmesini sağlamaktadır [6].

$$K.K. = \frac{D_a - D_o}{D_h - D_o}$$

D_a : Ağır minerallerin özgül ağırlığı

D_h : Hafif minerallerin özgül ağırlığı

D_o : Ayrım ortamının özgül ağırlığı

Bu kriter, tane şekli ve ortam viskozitesinin etkilerini içermemektedir. Aşağıdaki çizelgede, konsantrasyon kriterinin değerine karşılık gelen tane boyu limitleri ve yer çekimi ile zenginleştirme yönteminin bu boylardaki uygulanabilirlik durumları verilmektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1: Konsantrasyon kriterine uygun tane boyu ve zenginleştirme türü seçimi

Konsantrasyon Kriteri	Tane Boyu Limiti	Ayırım
>2.50	75 µm ve inceler	Yer çekimi ile zenginleştirmeye uygun.
1.75-2.50	150 µm'a kadar	Yer çekimi ile zenginleştirme mümkün.
1.50-1.75	1.70 mm'e kadar	Yer çekimi ile zenginleştirme zor.
1.25-1.50	6 mm'e kadar	Yer çekimi ile zenginleştirme çok zor.
<1.25	-	Yer çekimi ile zenginleştirme mümkün değil. Ağır ortam ile ayırma uygun.

Taggart tarafından 1945'te verilen bu tane boyu limitleri, modern yer çekimi ile ayırma ekipmanlarında daha ince tane boylarına kadar inmektedir.

Yer çekimi ile ayırma temelde, farklı boydaki ve yoğunluktaki tanelerin çökme hızları ya da terminal hızlarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. İnce tanelerin çökme hızları Stokes Yasası'na göre belirlenirken, iri tanelerin çökme hızları Newton Yasası'na göre belirlenmektedir. Yer çekimi ile ayırma uygulamalarında iri taneler ince tanelere göre daha fazla etkilenmektedirler. Bu sebeple, tane boyu irileştikçe yer çekimiyle ayırmanın verimi de artmaktadır. İnce tanelerde ise çökme yavaş olduğundan, ayırım üzerinde olumsuz bir etki oluşturması mümkündür [6].

Bu yöntemde, cevher taneleri arasındaki ayırt edici özellik tanelerin özgül ağırlıkları olduğundan, tane boyunun ayırma olan etkisini azaltmak amacıyla, zenginleştirme ekipmanına mümkün olduğunca dar tane boyu aralığında besleme hazırlanması gerekmektedir [5].

3. YER ÇEKİMİ İLE ZENGİNLEŞTİRME EKİPMANLARI

Minerallerin hareketlerini, bulunduğu ortam içerisinde uygulanacak farklı yöntemlerle elde etmek ve buna bağlı olarak da farklı türdeki zenginleştirme ekipmanlarını sınıflandırabilmek mümkündür [7]. Taneler arası yoğunluk, tanelere verilen titreşime bağlı olarak gerçekleşen tabakalanma, akan sıvı sistemlerinde palp akışındaki tanelerin hareketleri ve yatay yönde uygulanan sallantıya bağlı olarak tanelerin tabakalanması gibi etkiler göz önünde bulundurularak farklı türde yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanları geliştirilmektedir [8].

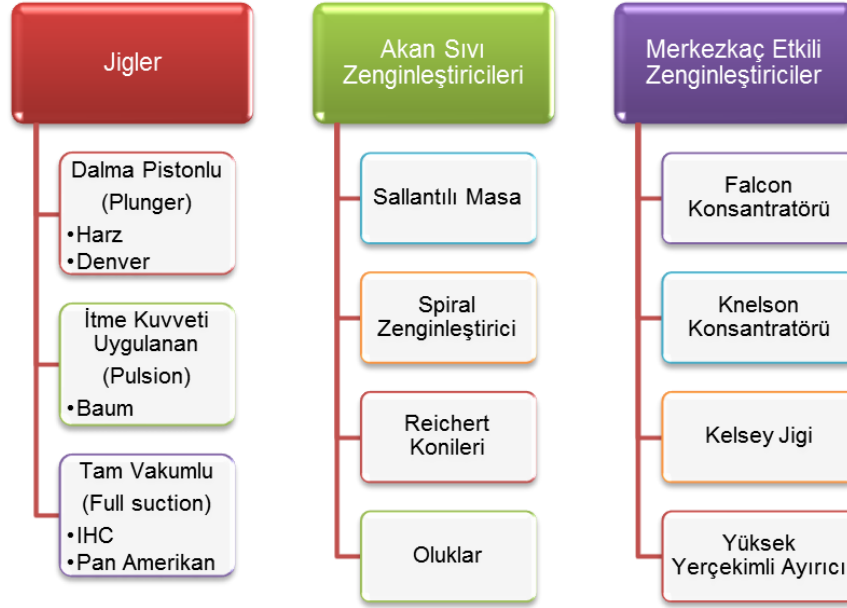
Yer çekimi ile ayırma yöntemleri ve ekipmanlarından hangisinin seçilmesi gerektiği konusunda en etkili parametrelerden biri, ayırım yoğunluğuna yakın ($\pm\%10$) malzeme miktarıdır. Çizelge 3.1.'de bu parametreye bağlı olarak kullanılması önerilen ekipmanlar verilmektedir [9].

Çizelge 3.1: Ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarına bağlı olarak önerilen zenginleştirme ekipmanları

Ağırlık (%)	Ekipman
0 – 7	Oluklar, Jig
7 – 10	Reichert konileri
10 – 15	Sallantılı masa, Spiral zenginleştirici, Ağır ortam ayırıcıları
15 - 25	Ağır ortam ayırıcıları

Yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanlarında, diğer zenginleştirme yöntemlerine göre, daha geniş tane boyu aralığında çalışılması mümkündür. Ancak hiçbir ekipmanın, tüm tane boylarını aynı anda, verimli bir şekilde zenginleştirebilmesi olası değildir. Temelde malzeme sınıflandırmasına olanak sağlayan jigler, Reichert konileri, Knelson ve Falcon zenginleştiricileri gibi ekipmanlar geniş tane boyu aralığında çalışabilmektedirler; ancak iri, orta ve ince boylarda bir miktar verim düşüşü gözlenmektedir. Diğer yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanları ters sınıflandırma ya da akan sıvı filmleri sistemine göre çalışmaktadırlar. Bunlar; spiraller, yüksek yer çekimli zenginleştiriciler, masalar gibi sınıflandırılmış beslemeyle çalışan ekipmanlardır [10].

Şekil 3.1'de bazı yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanlarının, kendi kullanım türlerine uygun olarak sınıflandırılmış şemasını görmek mümkündür [11].

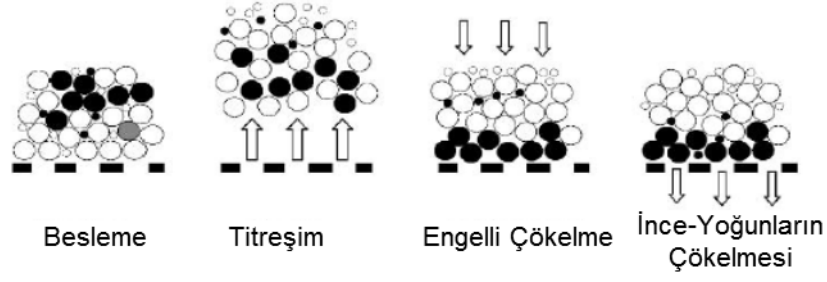


Şekil 3.1: Yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanlarından bazıları

3.1. Jig

Jiglerin çalışma prensibi, su dolu bir tekne içerisine yerleştirilmiş ızgara veya elek yüzeyi üzerindeki, boyut ve yoğunluğu değişik minerallerin, suyun aşağı yukarı (emme-basma) hareketinden ve tanelerin hareket farklılığından yararlanılarak mineral zenginleştirilmesi ilkesine dayanmaktadır [12].

Jiglerde emme-basma hareketi genellikle eşit genlikle hareket eden piston ile sağlanmaktadır. Emme ile basma süreci arasında, malzemenin engelli çökmesi sonucunda, tabanda bir yatak oluşmaktadır. Jiglerde basmadan sonra emme süreci başladığında çökmüş olan, yoğunluğu yüksek malzemelerden boyutça küçük olanları büyük olanlarının arasından geçerek tabanda birikme eğilimindedirler (consolidated trickling). Bu hareketin gerçekleşmesine kolaylık sağlamak ve oluşacak yatağın sıkışmasını engelleyerek yatağı açık tutmak amacı ile sisteme su verilmektedir. Verilen su, taneler hazneye tamamen çökmeden önce, ince ve hafif yoğunluklu malzemenin, yatağın içine sıkışmadan yukarıya taşınmasını sağlarken; yoğunluğu yüksek küçük tanelerin de yatağın arasındaki boşlukları doldurmasını sağlamaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Jig hareketine bağlı yataкта oluşan değişim¹

Jiglerde ayrılmış olan malzemeler iki şekilde alınmaktadır. Jiglerde kullanılan elek açıklığı boyutu, zenginleştirilmiş minerallerin tane boyundan daha küçük ise, malzeme elek üstünden kapak sistemi ile alınmaktadır. Elek açıklığının büyük olması durumunda malzeme, dipteki kanallardan alınırken hafif malzeme de üstten taşmaktadır. Sistemdeki akış bu şekilde kontrol altında tutulabilmektedir.

Jigler genellikle 0.5-200 mm boyutundaki malzemelerin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadırlar. Ayırma işlemine göre suya dakikada yaklaşık 50-300 kez hareket verilmektedir. Jiglerde kullanılan elek açıklığı 2-5 mm arasında değişmektedir.

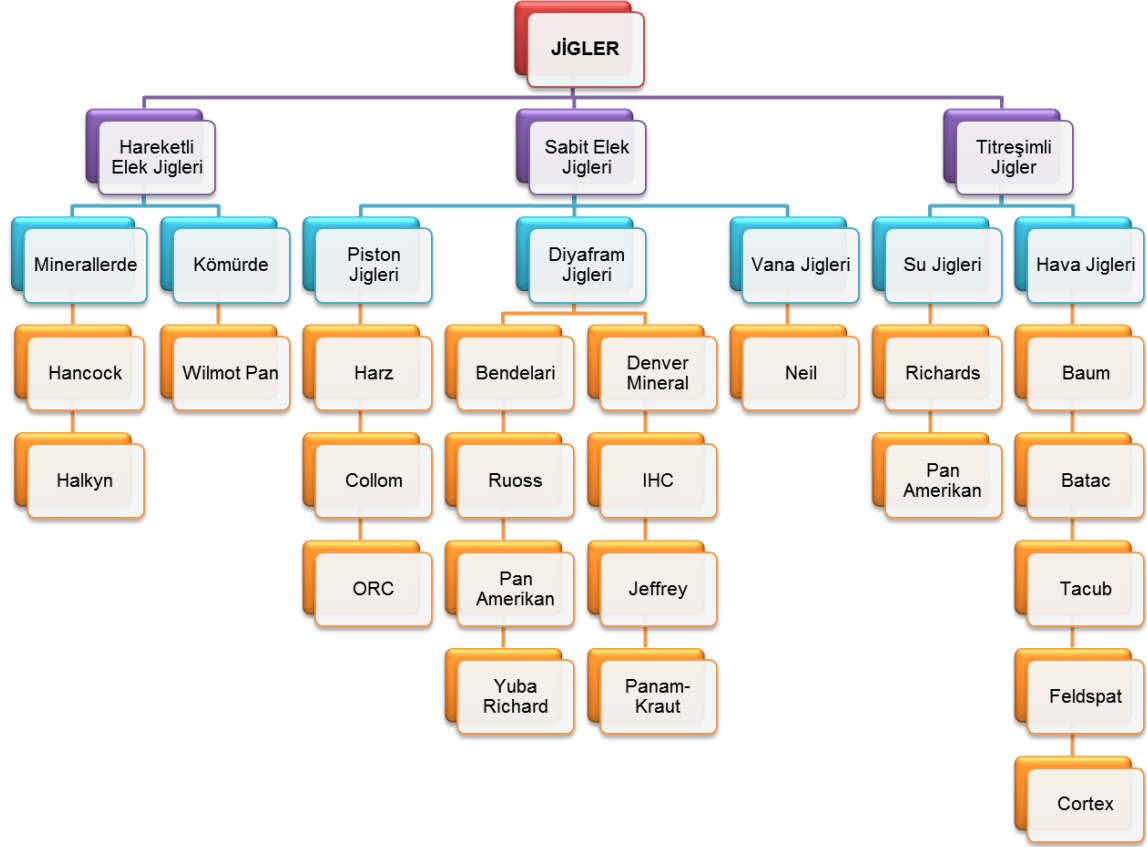
Jigler, kömür yıkama ekipmanı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Kömürler sınıflandırılmaya gerek olmadan kömür jiglerine beslenebilmektedirler. Kolay yıkanabilir kömürlerde yoğunluk farkının az olması bu jiglerdeki ayırım açısından bir sorun teşkil etmemektedir [5]. Kömür jiglerinin temizleme kapasitesi 150 mm'lik boyutta 24 ton/saat/m², 12 mm'lik boyutta 12 ton/saat/m² olarak değişmektedir [9].

Mineralleri zenginleştirme amacıyla kullanılan jiglerde, dar tane boyu aralığında sınıflandırılmış malzemeler kullanılmakta ve ağır minerallerin özgül ağırlıklarına bağlı türde jigler seçilmektedir. Mineral jiglerine beslenen palpin katı oranı %30-70 arasında olabilmektedir. Tekne konsantresindeki katı oranı ise yaklaşık olarak %10 civarında olmaktadır [12].

Mineral jiglerinin kapasiteleri; standart olarak dikdörtgen şeklinde olan jig yatağının alanına, beslenen cevherin tane boyuna, şekli ve yoğunluğu gibi diğer özelliklerine bağlıdır.

¹ Mineral Processing Design and Operations; A. Gupta ve D. S. Yan; 2006; Sayfa 508.

Hava, su, mekanik piston, diyafram, pnömatik piston gibi farklı uygulamalarla farklı tipteki jiglerin üretimi birçok firma tarafından yapılmaktadır. Kömür ve mineraller için farklı tasarlanan jigler mevcuttur. Şekil 3.3'de endüstride kullanılan farklı türdeki bazı jiglerin isimleri yer almaktadır [8].



Şekil 3.3: Endüstride kullanılan bazı jig türleri

3.1.1. Harz Jigi

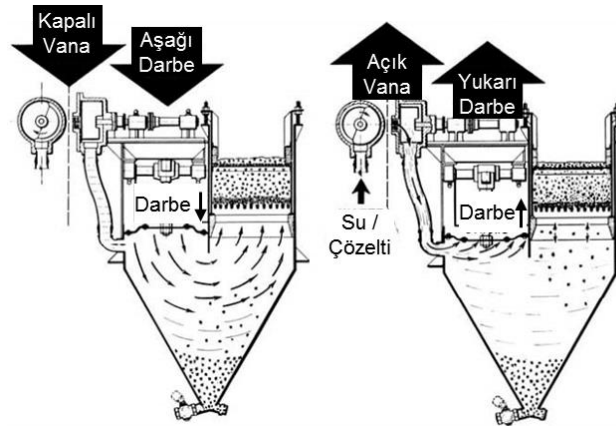
Harz jigleri, sabit elekli pistonlu jiglerdendir. Harz jigi uygulamalarında, jig içerisinde ayrı bir bölümde yer alan piston, dikey olarak aşağı yukarı hareket ederek palp hareketini sağlamaktadır. Altı ya da daha fazla bölüm, seri olarak jigin içerisine yerleştirilebilmektedir. Bu bölümlerin sayısı, zenginleştirilecek olan beslemenin tane boyu ve ayırım zorluğuna göre değişebilmektedir. Yüksek tenörlü konsantre ilk bölümden alınırken düşük tenörlü konsantre diğer bölümlerden alınmaktadır. Atıklar ise son bölümden üst akım olarak alınmaktadır [5].

Harz jigleri elek üstü tipinde üniteler olduğundan, elek açıklığından büyük tane boyuna sahip konsantreler kaçınılmaz olarak devrede kalmakta ve belirli aralıklarla manuel şekilde sistemden uzaklaştırılmaktadırlar [8].

3.1.2. Denver Mineral Jigi

Denver mineral jigleri, özellikle ağır mineralleri kapalı devre öğütme sisteminden uzaklaştırmak ve bu şekilde aşırı öğünmelerini engellemek amacıyla özel olarak tasarlanmışlardır [5]. Standart jiglerde kullanılan tane boylarından daha ince boyları zenginleştirmek amacıyla kullanılmaktadırlar. Açık devre uygulamaları da yapılabilmektedir [8].

Denver mineral jigleri sabit elekli diyafram jiglerindedir. Bu tür jigler, iki bölümlü gövdeden oluşmaktadır. Bir kenarında eksantrik milin hareket ettirdiği diyafram yer alırken, diğer kenarında elek kutusu bulunmaktadır (Şekil 3.4). Eksantrik mil yardımıyla jig üzerine, basit harmonik hareket uygulanmaktadır. İleri doğru uygulanan hareket ile su aşağıya itilmekte, milin geri hareketinde ise aşağıya itilmiş su tekrar eski seviyesine çekilmektedir. Bu hareketin sürekli olarak tekrarlanması, suyu aşağı-yukarı hareket ettirmektedir. Suyun bu hareketi sonucunda malzemeler birbirinden ayrılmakta, ayrılan malzeme de ortamdan kolaylıkla alınabilmektedir [9].



Şekil 3.4: Mineral jiglerinin çalışma sistemi²

3.1.3. IHC Jigi

Geleneksel mineral jigleri, kare ya da dikdörtgen şeklinde, 2 ile 4 hücrenin seri olarak bağlı olduğu tanklardan oluşmaktadır. Jiglere eklenen suyun, akışta oluşturduğu etkiyi dengelemek amacıyla ikizkenar yamuk geometrisine sahip jigler geliştirilmiştir. Bu jiglerin bir araya getirilmesi ile dairesel yapıda bir jig sistemi elde edilmektedir. Besleme, sistemin ortasından yapılmaktadır ve zamanla merkezden yayılarak jig yatağının atık çıkışına doğru ilerleme eğilimi sergilemektedirler.

² Gravity Concentration Technology; Richard O. Burt; 1984; sayfa 198.

IHC jiglerinin en büyük avantajı çok yüksek kapasiteli olmalarıdır. Bu jigler tesis uygulamaları anlamında ilk olarak, Malezya ve Tayland'daki kalay cevherlerinin zenginleştirilmesinde kullanılmışlardır. Aynı zamanda altın, elmas, demir vb. cevherlerin zenginleştirilmesi işlemlerinde de kullanılmaktadırlar.

7.5 m'lik çapa sahip olan IHC jiginin, en iri tane boyu 25 mm olan beslemeyi, saatte 300 m³ gibi bir kapasite ile işleyebildiği bilinmektedir. Sabit elekli diyafram jigleri türünden olan IHC jiglerinde, klasik anlamda kullanılan jiglerin salınım hareketinin yerine; yukarı yönlü hızlı bir atım hareketini takip eden aşağı yönlü yavaş bir atım hareketi uygulanmaktadır. Bu sayede ince tanelerin yataktaki akışı sırasında çökmeleri için daha elverişli bir ortam sağlanmış olmakta ve atıktan kaybedilmelerinin önüne geçilebilmektedir. IHC jiglerinde 60 µm'a kadar tanelerin kazanımı mümkündür [5].

3.1.4. Baum ve Batac Jigleri

Baum ve Batac türlerindeki havalı jigler kömür endüstrisinde yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Zaman içerisinde standart Baum jigleri ufak değişiklikler geçirmiş olsalar da, günümüzde hala temel kömür yıkama jigleri olarak kullanılmaktadırlar.

Baum ve Batac jiglerinde suya hareket, kesikli olarak verilen basınçlı hava ile sağlanmaktadır. Mineral jiglerine benzer iki bölmeli yapıya sahip olan Baum jiglerinin bir bölümünden basınçlı hava verilirken diğer bölümünde malzemelerin ayrımını sağlayan elek yer almaktadır. Baum jigleri verilen havaya bağlı olarak suyun hareketlendirmesi sistemine göre çalışmakta iken; Batac jiglerinde aynı yöntem, birden fazla bölmenin seri olarak jig içerisine yerleştirilmesiyle elde edilmektedir [5]. Batac jiglerindeki kontrol edilebilir hava vanaları sayesinde, kömür tipine ve besleme yapılan kömürün türüne uygun olacak şekilde düzenlemeler yapılabilmektedir. Tüm bu değişkenlerin kontrollü olarak ayarlanabilmesi hem uygulama açısından bir kolaylık sağlamakta hem de iri ve ince tanelerde başarılı bir ayırım yapmayı mümkün kılmaktadır [13].

Kömür jiglerinde gerekli kapasite, çok bölmeli jiglerin yeterli sayıda yan yana kullanılması ile sağlanabilmektedir. Kömür jiglerin boyutları 1-7 m arasında değişebilmekte ve 10-150 mm boyutundaki kömürü saatte 840 ton kapasiteyle zenginleştirebildiği bilinmektedir [9].

3.1.5. Kelsey Jigi

Kelsey jigleri; klasik jig hareketinin yanı sıra, titreşim hareketi sırasında mineral yatağına yüksek hızda merkezkaç kuvveti de uygulanarak ince tanelerin kazanımı amacıyla geliştirilmişlerdir. Bu jiglerde uygulanan merkezkaç kuvveti, ayırım sırasında mineraller arasındaki yoğunluk farkının etkinliğini arttırmaktadır. Kelsey jiglerinde, klasik jiglerdeki değişkenlerin yanı sıra, uygulanan merkezkaç kuvvetinin büyüklüğü de değiştirilebilmektedir [5]. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, 45 µm'dan ince ve özgül ağırlığı 4.4 olan zirkon ile özgül ağırlığı 3.2 olan kyanitin birbirinden başarılı bir şekilde ayrılabilirdiği görülmektedir [9].

3.1.6. IPJ Jigleri (InLine Pressure Jigs)

IPJ jigleri, geliştirilen en yeni jig türlerindedir. Serbest halde bulunan altın, sülfürlü cevher, nabit bakır, kalay, elmas vb. minerallerin zenginleştirilmesi işlemlerinde kullanılmaktadırlar [5]. IPJ jiglerinin çalışması, tamamen kapalı bir jig içerisine basınç uygulanarak jigin tamamının palp ile dolması sistemine dayanmaktadır [14]. Bu anlamda diğer jiglerden tamamen farklı bir yöntem izlemektedirler.

Jig içerisinde oluşan yatak, dairesel bir yapıda olmakla birlikte, bu yatak içerisinde düşey olarak hareket etmekte olan bir elek yer almaktadır. IPJ jiglerin içerisine 200kPa'a kadar basınç uygulanabilmekte ve bu basıncın yardımıyla jigin tamamının palp ile dolması sağlanmaktadır. Bu şekilde palpın hızı yavaşlamakta, hava-su arasında oluşan yüzey gerilimi düşmekte ve verimin artması hedeflenmektedir.

IPJ'ler genellikle öğütme devrelerinde kullanılmaktadırlar. Bu şekilde, devreden yükten serbest minerallerin kazanımı sağlanabilmektedir. Düşük su tüketimi IPJ'lerin en büyük avantajlarından biridir. Bu jiglere saatte 110 tona kadar besleme yapılabilmekte ve 30 mm'e kadar taneler zenginleştirilebilmektedir [6].

3.2. Akan Sıvı Zenginleştiricileri

Akan sıvı zenginleştirilmesi sistemleri, eğimli bir yüzeyde akmakta olan palp içerisindeki, farklı boy ve yoğunluğa sahip tanelerin, çökme hızlarının farklılığından yararlanılarak su akışı ile ayrılmaları prensibine dayanmaktadır. Hafif tanelerde olduğu gibi, çökme hızı yavaş olan ve henüz çökemeyen taneler, su ile birlikte eğimli yüzeyden aşağıya hızlıca sürüklenmektedirler. Yüzeye ulaşan tanelerde ise, tane boyuna bağlı bir taşınma gerçekleşmektedir. Küçük olan taneler yüzeye daha yakın olduğundan, suyun taşıma etkisinden daha az

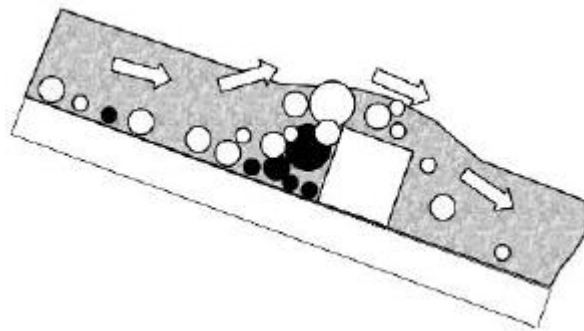
etkilenirken; büyük olan taneler ise suyun taşıma hızının kendilerine daha fazla etki etmesi sebebiyle, aşağı yönlü daha hızlı bir taşınmaya maruz kalmaktadırlar.

Oluklar, koniler, sallantılı masalar, spiral zenginleştiriciler, yüksek yer çekimli zenginleştiriciler ile merkezkaç kuvveti uygulanan zenginleştiriciler temel olarak, akan sıvı zenginleştirme prensibine bağlı olarak ayırım yapan ekipmanlardandır [6].

3.2.1. Oluklar

Oluklar, çok uzun yıllardır kullanılmakta olan, akan sıvı zenginleştirme sistemlerinin en basit uygulamalarındandır. Başta Amerika ve Rusya olmak üzere dünyanın pek çok ülkesinde, özellikle altın cevherinin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadırlar [10].

Oluklar; her iki ucu açık, eğimli bir kanaldan oluşmaktadır. Palp, sisteminin üst kısmından bütün bir yüzeye yayılacak şekilde beslenmektedir ve eğimli yüzeyde aşağıya doğru aktıkça ayırım gerçekleşmektedir. Palpın oluklardaki akışı sırasında; küçük-ağır taneler alt tabakaya giderek çökmekte, hafif taneler ise suyun akışı ile birlikte üst tabakaya doğru taşınarak ince bir yatak oluşturmaktadırlar. Bu akışkan tabakanın oluşumu, eğimli oluk yüzeyindeki pürüzlü dokuya ya da yüzeye çapraz şekilde yerleştirilmiş olan eşiklere bağlıdır. Bu eşikler, akış sırasında türbülans etkisinin oluşmasını sağlamaktadır. Bu sayede yatağın alt tabakasındaki tanelerin eşikler tarafından tutulması, üst tabakasındaki tanelerin ise suyla birlikte akması sağlanmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Oluk yüzeyindeki eşiklerin ayırma etkisi³

Oluklar, kesikli zenginleştirme yöntemlerindedir. Uygulamalar sonunda, yüzeydeki engeller arasına çöken ağır mineraller birikmekte ve bu şekilde

³ Mineral Processing Design and Operations; A. Gupta ve D. S. Yan; 2006; sayfa 523.

uygulama devam ettiği sürece suyla birlikte atığa yıkanmaya başlamaktadır. Bu sebeple, belirli periyotlarla akış kesilerek, yüzeydeki ağır mineraller yıkanmaktadır. Yıkama sıklığı; besleme tenörüne, besleme hızına ve oluğu boyutuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir [6].

Oluklar, yüzey özellikleri ve geometrik özelliklerine bağlı olarak sabit, eşikli ve daralan oluklar olarak sınıflandırılmaktadırlar. Daralan oluklar, akış yönünde daralan eğimli bir kanaldan oluşmaktadırlar. İnce ağır taneler oluğu dar olan çıkış ağızındaki tabakanın alt kısmına yerleşerek akarken, hafif taneler tabakanın üst kısmında toplanmaktadırlar. Bunun sebebi, oluktaki daralmaya bağlı olarak film tabakasının kalınlaşması sonucunda, engelli çökelme koşullarının oluşması ve taneler arası boşluklardan sızma olayının gerçekleşmesi ile açıklanmaktadır [8]. Sisteme %50-65 civarında katı içerikli besleme yapılmaktadır [5]. Oluğu çıkışında uygun bir yere konumlandırılan blcyle veya yarıkla ağır ve hafif minerallerin ayrılması mümkün olmaktadır [15].

Daralan oluklar farklı üretici firmalar tarafından geliştirilmekte ve farklı türleri piyasaya sunulmaktadır. Daralan oluk türlerinden bazıları; Cannon dairesel zenginleştiricisi, Carpco Fanning zenginleştiricisi, York olukları, Cudgen çok değişkenli oluğu, Diltray, Wright arpma levhalı olukları vb. şeklindedir. Zaman içerisinde, bazı oluk türleri kullanımdan kalkarken, bazılarının kullanımına hala devam edilmektedir [16].

Oluğu eğimi ve boyutu, akışkan tabakanın kalınlığı, su miktarı, kanal yüzeyinin pürüzlülüğü, atık ve değerli mineral arasındaki yoğunluk farkı, tanelerin boyutu ile palp yoğunluğu oluklardaki ayrımı etkileyen önemli değişkenlerdendir. Akan sıvılarla gerçekleştirilen zenginleştirme uygulamalarında besleme boyunun ayarlanması, n zenginleştirme açısından önem arz etmektedir [6].

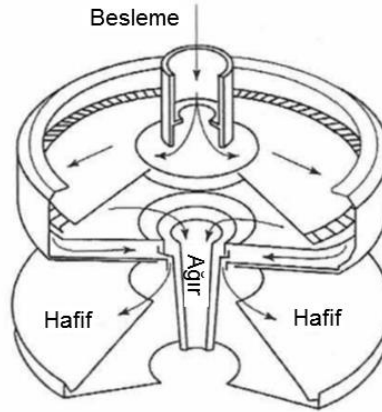
Oluklar genellikle iri tanelerin kullanımında kullanılmakla birlikte, 150 μm 'dan ince tanelerin zenginleştirilmesi için uygun değildir [10]. Olukların uzunluğu, uygulamaya ve türüne bağlı olarak, 100 m'ye kadar çıkabilmektedir [6].

3.2.2. Koniler

1960'lı yıllarda sahil kumlarından ağır minerallerin kazanımı için geliştirilen koniler, daha sonraki zamanlarda kalay, demir, altın cevherleri ve silis kumu gibi malzemelerin zenginleştirilmesi için de kullanılmaya başlanmıştır.

Zenginleştirme konileri, birkaç konik düzeneğin yatay olarak birbiri üstüne yerleştirilmesi ile elde edilmektedir. 2-3.5 m çapında değişen modelleri olan koniler 3 mm'ye kadar taneleri işleyebilmektedirler. Koniler fiberglastan yapılmaktadır ve ekipman üzerinde herhangi hareketli bir parça bulunmamaktadır [5]. Normal çalışma aralıkları 40-800 µm olan konilerin, altın cevherlerinde kullanımında, 30 µm'a kadar ince tanelerle çalışılabilmektedir [12].

Kullanımına en çok rastlanan konik zenginleştiriciler Reichert konileridir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi Reichert konilerine besleme, ortadan yapılmakta ve palp, koninin tüm yüzeyine yayılmaktadır. Ters çevrilmiş şekilde, üstteki koniyle bitişik olarak duran eğimli koniler, Reichert konilerinin ayırım yüzeyini oluşturmaktadır. Palp akışı, koninin merkezine doğru ilerlerken, ağır olan taneler alt tabakaya doğru birikip yüzeye yakın temas haline geçmekte ve koninin altında yer alan dairesel boşluktan konsantre olarak alınmaktadır. Boşluğun üzerinden su ile akmakta olan hafif taneler ise atık olarak sistemden ayrılmaktadırlar [6].



Şekil 3.6: Reichert konisi⁴

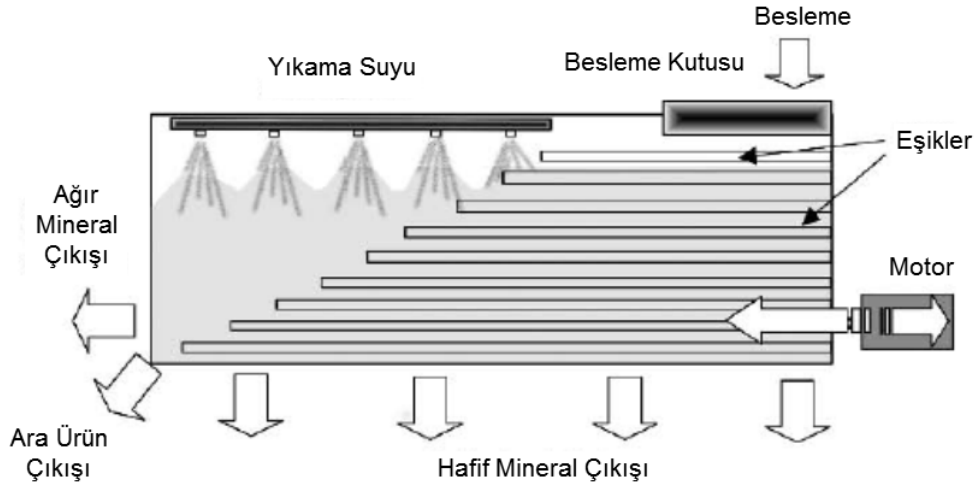
Reichert konilerinin işletim ve ilk yatırım maliyetleri oldukça düşüktür. Konilerin ayırım performansı düşük olmakla birlikte, istenen verime ulaşabilmek için işlemin birkaç defa tekrarlanması gerekmektedir. Koniler, yüksek kapasite ile çalışmaktadırlar. Beslenen palpın katı oranının %55-70 olduğu koşullarda, çapa ve kullanılan devre düzenine göre, Reichert konileri saatte 40-300 ton kapasiteyle çalışabilmektedirler [6].

⁴ Mineral Processing Plant Design, Practice and Control Proceedings; Andrew L. Mular, Doug N. Halbe ve Derek J. Barratt; 2002; sayfa 988.

Konsantre, ara ürün ve atık ürünlerindeki katı oranları sırasıyla yaklaşık olarak %70, %65, %30 civarındadır. Beslemedeki katıların ürünlere olan dağılımı her bir uygulamaya göre değişmekle birlikte, konsantreye genellikle %10-30, ara ürüne %10-20, atığa ise %50-80 oranında katı gelmektedir [12].

3.3. Sallantılı Masa

Sallantılı masalar, yatay su akımında ayırım yapan, üzerinde belli yükseklikte ve düzende çitalar bulunan eğimli yüzeylerdir. Masaların şekli; dikdörtgen, yamuk ya da V şeklinde değişik boyutlarda olabilmektedir. Masa, yatay ile birkaç derece açı yapacak şekilde yerleştirilmektedir [8]. Zenginleştirilecek malzemeye bağlı olarak, masanın belirli bir genlikte, ileri-geri hareket etmesi sağlanmaktadır. Masa üzerinde, belirli aralıklarla, yüksekliği uçta sıfırlanan eşikler mevcuttur. Malzeme, masanın bir köşesinden palp olarak beslenmekte ve masanın üst bölümünden yıkama suyu ilave edilmektedir (Şekil 3.7). Mineraller ile safsızlıkları arasındaki yoğunluk ve boyut farklılıkları, akış sürecinde masanın eğimi ve ileri-geri salınım hareketi ile masa yüzeyindeki çitalardan kaynaklanan akış farklılıkları gibi sebeplerle minerallerin sınıflandırılması sağlanmaktadır. Genellikle ağır-iri taneler masanın en yakın kısmına doğru ilerlerken, hafif-ince taneler ise masanın en uzak köşesine doğru ilerleme eğilimindedirler [6].



Şekil 3.7: Sallantılı masa düzeni⁵

⁵ Mineral Processing Design and Operations; A. Gupta ve D. S. Yan; 2006; Sayfa 516.

Masalarda malzemeler genellikle konsantre, ara ürün ve atık olarak ayrılmaktadır. Alınan ara ürün tekrar masaya beslenebildiği gibi, yeterli serbestleşme sağlanamadığı takdirde öğütme devresine geri de gönderilebilmektedir.

Sallantılı masalar, büyük boyutlu hafif minerallerin, küçük boyutlu ağır minerallerden ayrılmasında çok iyi sonuç verdiklerinden, masaların genellikle, mineralleri çökme hızlarına göre birkaç ürüne sınıflandıran hidrolik sınıflandırıcılardan sonra kullanılması oldukça yaygındır. Masalarda zenginleştirilecek olan malzemenin dar tane boyu aralığında olması gerekmektedir. Bu sebeple masalardan önce, çok gözlü hidrolik ayırıcıların kullanılması ve her kademedeki çıkan malzemenin ayrı masalara gönderilmesi, ayırım üzerindeki verimi arttırmaktadır. Hidrolik sınıflandırıcılar veya spiral gibi sınıflandırıcı ekipmanlar bu amaçla masalardan önce kullanılmaktadır.

Masaların beslemesinde, taneler mümkün olduğunca iri boyutta serbestleştirilmekte, fazla küçük boyuta öğütülmemektedir. Bunun için çubuklu değirmenler tercih edilmektedir. Masalardan elde edilen ara ürün, bilyalı değirmenlerde öğütüldükten sonra tekrar hidrolik sınıflandırıcıya gönderilebilmektedir [9].

Sallantılı masaların kapasitesi ve özelliklerine göre masaya beslenen malzemenin boyutu, masanın hızı, eğimi, hareket genliği, yıkama suyu miktarı ve beslenen malzeme miktarı değişiklik göstermektedir. Kaba ayırmada uzun genlik-düşük salınım hareket sistemleri kullanılırken, ince ayırmada kısa genlik-yüksek salınımlı hareket sistemleri kullanılmaktadır.

Üzerinde belli düzende eşiklerin bulunduğu masalar normalde 100 µm - 3 mm tane boyu aralığındaki malzemeleri işleyebilmektedir. 100 µm'dan ince tanelerin bulunduğu hidrolik sınıflandırıcının üst akımı, hidrosiklona gönderildikten ve 10 µm'un altındaki tanelerden arındırıldıktan sonra şlam masalarına beslenebilmektedir. Düz yüzeyli şlam masalarında 10-15 µm'a kadar tanelerin işlenmesi mümkündür [5].

Sallantılı masalara beslenen palpın katı oranı değişmekle birlikte mineraller için yaklaşık %20-25, kömür için %35-40'tır. Konsantre, ara ürün ve atıktaki katı oranları ise sırasıyla, yaklaşık olarak %80, %70, %20'dir [12].

Masaların cevher işleme kapasiteleri tane boyuna ve konsantrasyon kriterine göre değişmektedir. Masalar 1.5 mm tane boylarındaki mineralleri 2 ton/saat, 100-150 µm tane boylarındakileri ise ancak 0.5 ton/saat kapasite ile işleyebilmektedirler. Yıkama suyu gereksinimleri 1-4 m³/saat civarında olmaktadır. Kömür uygulamalarında işlenebilen tane boyu 15 mm'e kadar çıkabildiği için, işlenebilen malzeme kapasitesi daha yüksek olmaktadır [17].

Yerleşim sorununun olduğu tesislerde aynı hareket sistemlerine bağlanmış katlı masalar kullanılabilirdiği gibi, sallantılı masalar seri ya da paralel olarak da kullanılabilir. En çok kullanılan standart sallantılı masa türleri Wilfley ve Deister masalarıdır. Masaların bu şekilde sınıflandırılmasının sebebi, masa yüzeyindeki eşiklerin tasarım farklılıklarından ya da masaya verilen salınım hareketinin farklılığından kaynaklanabilmektedir [8]. Bunların dışında ikiz masalar, şlam masaları gibi farklı uygulamalara da rastlamak mümkündür.

3.3.1. İkiz Masalar (Gemeni)

İkiz masalar şekil olarak klasik sallantılı masalardan farklı ancak çalışma prensibi olarak aynıdır. Masaların üzerinde yükselticiler yerine kanallar mevcuttur. Besleme, masanın uç kısmından verilmekte, masanın hareketiyle birlikte ürünler kenarlara doğru dağılmaktadır. Yıkama suyu masaya ortadan, masa boyunca verilmektedir. Ağır metaller masa ortasına yakın kanallarda toplanmakta ve uçtan akmaktadırlar. Bu masalar başta altın olmak üzere kromit, zirkon, rutil gibi ağır metallerin kazanımında başarıyla kullanılmaktadırlar.

Düşük kapasiteli olan bu masalara genellikle altın beslenirken, malzeme boyutu 800 µm - 1 mm civarında değişmektedir. 2 m uzunluğa, 1.32 m genişliğe sahip bu tür bir masada, en iri boy 850 µm olmak üzere besleme yapıldığı takdirde, saatte 120 kg malzeme zenginleştirilebilmektedir [6].

3.4. Bartles Zenginleştirme Bandı

Bartles zenginleştirme bandı, masalardan elde edilen -100+5µm boyutundaki konsantrenin zenginleştirilmesi için dizayn edilmiştir. 2.5 m genişliğindeki bant, merkezinden yanlara doğru çok hafif meyilli tasarlanmıştır. Bant dört yanından çelik halat ile şase üzerinde askıya alınmıştır. Bant dönerken, aynı zamanda bütün şase de yörüngesel olarak hareket etmektedir.

Zenginleştirilecek olan malzeme, bandın ilk bölümüne ortadan yapılmaktadır. Bandın hareketi ve suyun akışı ile ağır mineraller bant üzerinde kalırken, bandın yörüngesel hareketi ile askıda kalan hafif mineraller de bant kenarlarına doğru dışarı akma eğilimindedirler. Hafif mineraller alındıktan sonra bant üzerindeki ara ürün yıkanarak bandın yan kısımlardan alınmakta iken, konsantre de bandın uç kısmından alınmaktadır.

Bartles zenginleştirme bantlarıyla saatte 0.5 ton malzeme zenginleştirilmesi mümkündür [9].

3.5. Merkezkaç Kuvveti Uygulanan Zenginleştiriciler

Stokes yasasına göre, taneler inceldikçe çökme süreleri uzamaktadır. İnce-ağır tanelerin yer çekimi ile zenginleştirilmesi bu sebeple oldukça zor olmaktadır. Ancak, uygulanacak olan merkezkaç kuvveti ile tanelerin çökme süreleri kısaltılabilmektedir. Merkezkaç kuvveti uygulanan ekipmanlarda ince tanelerde ve toplamda verim artmakta, su tüketimi azalmakta ve kapasite artmaktadır.

Son dönemlerde kullanılmakta olan merkezkaç kuvveti uygulamalı ekipmanlar, Falcon zenginleştiricisi, Knelson zenginleştiricisi ve yüksek yer çekimli ayırıcılarıdır [11].

3.5.1. Falcon Zenginleştiricisi

Farklı endüstrilerde kullanılmak üzere, ince mineralleri kazanmak amacıyla, yüksek yer çekimi kuvveti uygulanması prensibine dayalı yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanları geliştirilmiştir.

Bu amaçla geliştirilen Falcon zenginleştiricilerindeki modellerin çalışma sistemi, dönen bir hazneye yüksek yer çekimi kuvveti uygulanması prensibine dayanmaktadır. Ancak ürünleri toplama ve konsantre üretme konularında modeller birbirlerinden farklılık göstermektedir [18].

Zenginleştirici ekipmanın gövdesi iki kısımdan oluşmaktadır. Alt bölüm konik olup, aşındığında değiştirilebilen lastik astarlı olarak üretilmektedir. Tabanda kanatlı, döner bir palet mevcuttur. Üst bölüm ise paslanmaz çelikten üretilmiş olup, aşındığında değiştirilebilmektedir [9].

Bu ekipmanlarda yüksek yer çekimi kuvveti, taneler arasındaki yoğunluk farkını ortaya çıkarmak amacıyla kullanılmaktadır. Böylelikle, daha ince tanelerde daha temiz bir ayırım gerçekleşmektedir [18].

Üstten beslenen malzeme yüksek yer çekimi kuvvetinin etkisi ile yoğunluk farkına bağlı olarak konik gövdede tabakalanmaktadır. Konik gövde, tabakalaşmanın oluşmasına olanak sağlayacak yüksekliğe sahiptir. Malzeme üst bölgeye ulaştığında yoğunlukça yüksek olan mineraller, dairesel şekildeki yatay toplayıcıda birikmektedir. Biriken malzeme belirli aralıklarla yıkanarak buradan alınmaktadır [9].

Hem laboratuvar kullanımı için taşınabilir, küçük ölçekli; hem de tesis üretimleri için kapasiteleri 400 ton/saat'e kadar çıkabilen büyük tasarımı Falcon zenginleştiricileri üretilmektedir.

Falcon ismiyle üretilen bu merkezkaç etkili yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanları 3 farklı modelde tasarlanmıştır. Bunlar; sürekli zenginleştirme (continuous concentrator), yarı kesikli zenginleştirme (semi-batch concentrator) ve ultra ince mineral zenginleştirme (ultra-fine concentrator) uygulamaları için olmak üzere sınıflandırılmışlardır [18].

3.5.1.1. Falcon Sürekli Zenginleştiricisi

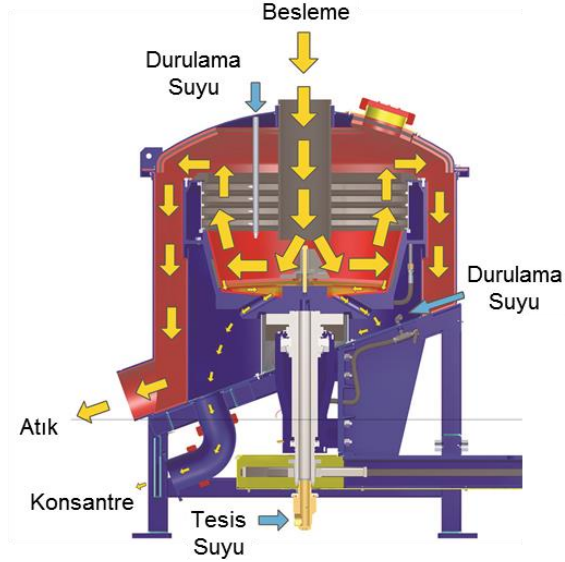
Falcon Sürekli Zenginleştiricileri, düşük yer çekimi kuvveti uygulayan ekipmanlarda ve flotasyonda kaybedilen ince tanelerin yeniden kazanımı için kullanılmaktadır. Kalay, tantal, tungsten, krom, kobalt, demir, ince oksitlenmiş kömür ve uranyum minerallerinin zenginleştirilmesi için uygundur. 10 µm'a kadar ince tanelerin zenginleştirilme işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Bu tip zenginleştiriciler, yüksek miktarda konsantre üretimi için tercih edilmektedir. %70 ve daha fazla katı içeriğine sahip beslemeden konsantre üretimi yapmak amacıyla kullanılmaktadırlar. Asıl amaçları verimi arttırarak, takip eden akışlardaki tonajı azaltmaktır.

İşlemler sırasında su kullanımı olmadığından, ön zenginleştirme ya da süpürme devrelerinde kullanım için uygun ekipmanlardır. Konsantreyi almak için zenginleştirme işlemine ara verilmemektedir. 100 ton/saat'e varan uygulamaları mevcuttur. İşletim maliyetleri düşük ve kapladığı alan küçük olan bu ekipmanlar tam otomatize olarak çalışmaktadırlar [19].

3.5.1.2. Falcon Yarı Kesikli Zenginleştiricisi

Falcon Yarı Kesikli Zenginleştiricileri, altın, platin ve gümüş grubu metalleri zenginleştirme işleminde kullanılmaktadırlar (Şekil 3.8). Bu ekipmanlarla, cevher

hazırlama endüstrisindeki en yüksek yer çekimi kuvveti uygulanarak zenginleştirme yapılmakta, bu şekilde çok ince tanelerde daha yüksek verim sağlanmaktadır.



Şekil 3.8: Falcon yarı kesikli zenginleştiricisi⁶

Ekipmanın yarı kesikli olarak adlandırılıyor olması; çalışma sırasında beslemeyi sürekli olarak kabul etmesine rağmen, konsantre üretimini yalnızca durulama sırasında yapmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan uygulamaya göre değişmekle birlikte, çalışma devresinin süresi 5 dakika ya da birkaç saat sürebilmektedir. Yıkama devresi ise 1 dakikadan az sürede işlemi tamamlamaktadır. Bu süre zarfında döner hazne durdurularak konsantre yıkanmakta ve sistem tekrar eski hızına ulaştırılmaktadır.

Bu tip ekipmanların en yaygın kullanım alanlarından biri, öğütme devresi bünyesinde serbest haldeki altın, gümüş ve platin gibi oldukça düşük tenörlere sahip değerli metallerin kazanımıdır [19].

3.5.1.3. Falcon Ultra İnce Zenginleştiricisi

Kalay, tantal, tungsten vb. mineral türlerindeki ultra ince tanelerin (şlam) zenginleştirilmesi için kullanılmaktadır. Şlam olarak sistemden uzaklaştırılan 3 µm'a kadar ince tanelerin kazanımında kullanılmak için uygundur. Şlam siklonlarının üst akımından malzeme kazanmak için de kullanılabilirler [19].

⁶ http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Falcon_SemiBatch_Concentrator_Cross_Section.gif internet sitesinden alınmıştır.

3.5.2. Knelson Zenginleştiricisi

Knelson zenginleştiricisi, mineraller arası yoğunluk farklılıklarından yararlanılarak, yer çekimi ve merkezkaç kuvvetlerinin etkisi ile taneleri ayırmada kullanılan yer çekimiyle ayırma ekipmanlarından. Özellikle altın madenciliği endüstrisinde, serbest halde bulunan ince altın tanelerini kazanmak amacıyla kullanılmaktadırlar.

Ekipmanın temel parçası olan konik şeklindeki konsantre haznesi, yüksek hız uygulanarak dönmekte ve basınçlı bir su çeperi bu hazneyi sarmaktadır. Ekipmana öncelikle su beslenmektedir. Genellikle %35-40 katı içeriğine sahip palp makineye beslenmektedir. Ortadan tabana inen palp, yüksek yer çekimi kuvvetinin etkisi ile konik yüzeyde yukarıya doğru yükselmektedir. Yükselme sırasında, üzerine etki eden yüksek yer çekimi kuvvetinin etkisi ile ağır mineraller gövdedeki spirallerin tabanına doğru hareket etmektedir. Spirallerin yüzeyinde biriken yoğunluğu yüksek mineraller, üzerlerinde bulunan vanaların kısa süreli açılması ile konsantre olarak alınmaktadır [9]. Değirmen çıkışı ya da siklon altı akışları, zenginleştiriciye besleme olarak kullanılmaktadır.

Bu ekipmanlar laboratuvar ölçekli olan küçük kapasitelerde üretilbildiği gibi, saatte 1000 ton katiya kadar malzeme işleyen büyük kapasitelerde de üretimler yapılabilmektedir. Beslenen malzemenin boyutu genellikle 1.5 mm civarında olmaktadır.

Geliştirilen bu yeni nesil yer çekimi ile ayırma ekipmanı; jigler, daralan oluklar, koniler ve spiraller gibi geleneksel olarak kullanılmakta olan yer çekimi ile ayırma ekipmanları yerine kullanılmaya başlanmıştır.

Brezilya, Peru, İspanya, Avusturalya, Rusya, Kanada, Tanzanya, Mali ve Gana gibi ülkelerde Knelson zenginleştiricisi ile cevher zenginleştirme uygulamaları yapılmaktadır [20]. Knelson zenginleştiricilerinde farklı türdeki uygulamalar, kesikli (semi-continuous "batch" concentrators) ve sürekli (continuous variable-discharge concentrators) zenginleştirme olmak üzere çeşitlilik göstermektedir.

3.5.2.1. Knelson Kesikli Zenginleştiricisi

Kesikli olarak çalıştırılan Knelson zenginleştiricisinde; besleme sürekli olarak yapılmakta, ancak konsantre çıkışı belirli periyotlarda su yardımıyla olmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Knelson kesikli zenginleştiricisi⁷

Haznenin üstünden palp şeklinde besleme yapılmaktadır. Beslenen malzeme tekneye değdiği anda, dönmenin de etkisi ile dış çeperlere doğru hareket etmektedir. Uygulama sırasında hafif taneler oluklar üzerinde yukarı doğru akarken, ağır taneler oluklar arasında kalmaktadır. Belirli noktalardaki su girişlerinden, sisteme basınçlı su verilmektedir. Bu sayede hafif tanelerin akışkan bir yatak oluşturması sağlanırken, ağır tanelerin daha kolay şekilde konsantre oluşturmaya olanak sağlanmaktadır.

Altın, platin, gümüş, civa ve nabit bakır kazanımında başarılı uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Bu tür Knelson zenginleştiricilerinin farklı modelleri geliştirilmektedir [20].

3.5.2.2. Knelson Sürekli Zenginleştiricisi

Knelson sürekli zenginleştiricisi, belirli mineralleri yalnızca sınırlı miktarlarda alarak zenginleştirme yapmaktadır. Ancak istenen mineralin beslemede yüksek içerikli olarak bulunması durumunda verimli şekilde kullanılmaktadırlar. Kesikli sistemdeki aynı prensibi kullanarak ayırım yapmaktadır. Ancak, akışkan yatakta oluşan konsantreyi kesiksiz olarak alabilecek şekilde tasarlanmıştır. Seçimli değerli metal kazanımı uygulamalarında ve krom, bakır, nikel, çinko, kasiterit, şelit vb. endüstriyel minerallerin zenginleştirilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar.

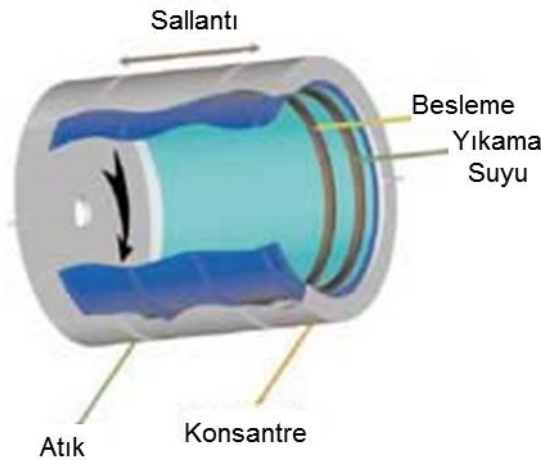
⁷ <http://www.knelsongravitysolutions.com/page417.htm> internet sitesinden alınmıştır.

3.5.3. Yüksek Yerçekimli Ayırıcılar

Dünya genelindeki cevher hazırlama tesislerinde gerçekleştirilen uygulamalar incelendiğinde, ince boydaki değerli minerallerin %25'ten fazlasının kazanılamadığı görülmektedir.

Yüksek yerçekimli ayırıcılar (Multi Gravity Separators), cevher hazırlama tesislerindeki ince atıkların içerdiği ve ekonomik olarak kazanımı zor olan bazı mineralleri, yer çekimi ile zenginleştirme yöntemi kullanarak kazanmaya olanak sağlamaktadırlar. %80'i 6 µm'dan ince olan kalay, krom, altın, tungsten ve nadir metaller ile düşük değerli demir cevheri, barit, kömür ve benzeri mineraller bu yöntemle ekonomik olarak zenginleştirilebilmektedirler.

Yüksek yer çekimli ayırıcılar, sallantılı masa düzeneğinin tambura uyarlanmış hali olarak tanımlanabilmektedir. Tambur, paslanmaz çelikten oluşan silindirik bir gövde olup, bir ucu kapatılmış ve iç yüzeyi aşınmaya karşı poliüretan ile kaplanmıştır. Astar, açık dış uca doğru daralarak konik bir yapı oluşturmaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Yüksek yerçekimli ayırıcı⁸

Tamburun eksenine ile yatay arasındaki eğim açısı, beslenecek olan malzemenin özelliğine bağlı olarak 0-5 derece arasında değişmektedir. İnce boyutlu ve düşük yoğunluklu mineraller için küçük, iri boyutlu ve yüksek yoğunluklu mineraller için ise büyük eğim aralıkları zenginleştirmede tercih edilmektedir.

⁸ <http://1053.ca.all.biz/axsia-mozley-multi-gravity-separator-g174#!prettyPhoto> internet sitesinden alınmıştır.

Hareketli tamburun orta noktasından iç yüzeye, belirli bir basınçla, %10-15 katı oranında palp beslenmektedir. Bu şekilde yapılan besleme, oluşacak türbülans akışın etkisini azaltmakta ve tambur yüzeyinde spiral bir akış olmasını sağlamaktadır.

Yüksek yoğunluklu mineraller, dönüş hareketinin oluşturacağı merkezkaç kuvveti ve yer çekimi kuvvetinden daha büyük bir kuvvetin etkisi ile tambur yüzeyine tutunmakta ve yarı katı bir tabaka oluşturmaktadırlar. Bu tabakanın hemen üzerinde, akışkan olan ikinci bir tabaka oluşmaktadır. Bu tabakanın üst yüzeyleri büyük oranda katı taneler içermeyen su tabakası halindedirler.

Taneler üzerinde etkin olan merkezkaç kuvveti, klasik sallantılı masalar üzerindeki etkin yer çekimi kuvvetinden yaklaşık olarak 6-24 g kat daha büyüktür. Buna bağlı olarak, özgül ağırlıkları farklı tanelerin ayrılma zamanı düşmekte, kapasite için gerekli birim ayırma alanı azalmaktadır. Gövdeye verilen salınım hareketi ile akışkan tabaka içindeki tanelere ek bir ayırma kuvveti uygulanmaktadır. Tüm bu uygulanan kuvvetler, yüksek yerçekimli ayırıcıların, klasik yerçekimi ile zenginleştirme ekipmanlarına göre 5 kez daha küçük boyutlu taneleri ayırmasına olanak sağlamaktadırlar.

Zenginleştiriciyi, klasik yerçekimi ile zenginleştirme yapan tesis ekipmanlarından ayıran en önemli özelliklerinden birisi sıyırıcılarıdır. Tambur içinde; tambur eksenine paralel ve birbirleri ile 90° açılı olacak şekilde yerleştirilmiş sıyırıcı kollar bulunmaktadır. Bu kolların her biri üzerinde eşit aralıklarla yerleştirilmiş olan, belirli uzunlukta 8-9 adet sıyırıcı palet mevcuttur. Tambur eksenine 60° açı yapacak şekilde konumlandırılmış sıyırıcılar, tambur yüzeyine çok yakın yerleştirilmiştir. Sıyırıcılar yüzeyde hareket ederken, taneciklerden oluşan tabakayı sıyırmakta, böylelikle dereceli tabakalaşmaya olanak sağlamaktadırlar.

Tamburun iç yüzeyine tutunarak hareket eden yüksek yoğunluklu taneler, sıyırıcılar tarafından taşınarak üst çıkıştan, hafif yoğunluklu taneler ise yıkama suyu etkisi ile alt çıkıştan alınmaktadırlar. Yıkama suyu, tamburun üst çıkış ağzına yakın bir noktadan verilmekte, miktarı ve akış hızı, ayırımı önemli ölçüde etkilemektedir.

Ayırma yüzeyinde ince bir akışkan tabakanın oluşması, tane hareketini artırıcı salınım, düşük hızlı tambur hareketi, ayarlanabilen tambur eğim açısı, yıkama

suyu miktarı, besleme miktarı ve hızı ile palpın katı oranı, ayrımı etkileyen bazı önemli değişkenlerdendir.

Ayırma kapasitesi tambur çapı ile bağlantılı olmakla beraber; endüstriyel uygulamalarda kömür için 50 ton/saat, ağır mineraller için ise 30 ton/saat olarak değişmektedir [9].

4. SİRİRAL ZENGİNLEŞTİRİCİLER

Spiral zenginleştiriciler; düşük değerdeki cevherleri ön zenginleştirme yapmak amacıyla cevher hazırlama sektöründe kullanılmakta olan, düşük maliyetli yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanlarıdır. Yıllar içerisinde farklı tasarımlarda modern spiral zenginleştiriciler üretilmiş olsalar da, 1940 yılında piyasaya sunulduğundan beri, spirallerin temel prensipleri hemen hemen hiç değişiklik göstermemiŐtir [21].

Metalik cevherler, endüstriyel mineraller ve sahil kumları gibi malzemelerden konsantre elde etmek amacıyla ve kömür endüstrisinde kullanılmak üzere spiral zenginleştirici uygulamaları dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır [2].

Spiral zenginleştiriciler, beslenecek olan mineral tipine uygun ve yeterli sayıda seçildikleri takdirde kullanımı oldukça rahat olan, yüksek verimli ve basit teçhizatlardır. Bu ekipmanlarla istenilen konsantreye ulaşılması; uygun besleme koşulları altında, küçük operasyonel parametre değişiklikleriyle rahatlıkla mümkündür.

4.1. Spiral Zenginleştirici Tasarımı ve Çalıştırma Prensipleri

Spiral zenginleştiriciler, birden fazla dönemeçten oluşan yarım daire kesitine sahip ve palp akışına uygun bir oluğun, merkezi destek oluŐturan bir kolon etrafına sarılmasıyla oluşan ekipmanlardır. Spiral zenginleştiricilere besleme malzemesi, besleme kutusu tarafından verilmektedir. Besleme kutusu, akışın hızını yavaşlatarak sarmal yüzeyde düzgün bir palp akışı oluşmasına yardımcı olmaktadır.

Spiralin alt kısmında, belirli aralıklarla dizilmiş ve ürünlerin alınabileceği farklı sayıda çıkış ağızları yer almaktadır. Ürün çıkışında yer alan bölmelerin sayısı 15'e kadar çıkabilmektedir. Bunun yanı sıra, spiralin merkezi destek kolonu, konsantreyi toplama amacıyla çıkış borusu olarak görev yapabilmektedir [8].

4.1.1. Tarihçe

Spiral zenginleştiricilerin tasarımına ilk olarak, eski kamyon tekerlerinin birleŐtirilip kurşun plakalarla tutturulduktan sonra spiral şeklinin verilmesi ile başlanmıştır. Humphreys Altın Şirketi başkan yardımcısının, şirketteki altın verimini pahalı olmayan yöntemlerle arttırmaya yönelik yaptığı bu girişim, spiral zenginleştiricilerin ortaya çıkmasını sağlamıştır [21].

İlk ticari spiral tesisi, krom konsantresi elde etmek amacıyla 1943 yılında Oregon'da kurulmuştur. 2. Dünya Savaşı sırasında Amerika'nın hayati önem arz eden ham madde ihtiyacı, burada üretilen konsantre ile büyük ölçüde temin edilmiştir [22], [23]. Tesis faaliyetleri, 2. Dünya Savaşı sonlarına doğru, Akdeniz hattı açılıp Türkiye'de üretilen kromlar tekrar Kuzey Amerika'da kullanılabilir hale gelene kadar devam etmiştir.

Spiral zenginleştiriciler, kullanım kolaylığı ve düşük maliyetleri sebebiyle endüstride hızla kabul görmüşlerdir. Kısa zaman içerisinde, sahil kumu, demir ve volframit cevherleri için de üretim tesislerinde spiral ünitelerinin kullanımına başlanmıştır. Kömür yıkama amacıyla ise, spiraller ilk kez 1945 yılında kullanılmışlardır.

4.1.2. Kullanım Amaçları

Spiral zenginleştiriciler; yoğunluğu ya da tanecik şekilleri birbirinden farklı olmak koşuluyla, belli bir serbestleşme derecesindeki ve 30 µm - 2 mm arasında bulunan farklı mineralleri birbirinden ayırmak için kullanılmaktadır.

Spirallerdeki zenginleştirme uygulamaları kademeli olarak yapılabilmektedir. Buna göre, kaba zenginleştirme devresini takip eden bir ya da iki aşamalı temizleme devreleri bulunmaktadır. Kaba zenginleştirme ünitelerine, yüksek kapasiteli besleme verilerek yüksek tenörlü konsantre alınması hedeflenmektedir. Bu sebeple kaba zenginleştirme ünitelerin kapasiteleri, temizleme ünitelerinin kapasitesinden iki kat veya daha fazla büyüklüğe sahip olmaktadır.

- Kaba zenginleştirme devresinde konsantre ve atık elde etmek,
- Temizleme devresinde nihai konsantre üretmek,
- Birden fazla ağır mineral içeriğine sahip toplu konsantre ve temiz atık elde etmek,

gibi amaçlar doğrultusunda spiral zenginleştiriciler kullanılabilirlerdir.

Ayrıca kapalı öğütme devrelerinde, yüksek değerdeki metal oksitlerin kazanımı amacıyla, serbest ağır tanelerin serbest olmayan ağır tanelerden ayrılması amacıyla da kullanılmaktadırlar. Böylelikle, serbest olmayan tanelerin, yeniden öğütme devresine döndürülmesi sağlanmaktadır [21].

4.1.3. Avantajları

- Spiraller çok yönlü kullanılabilen ve mekanik anlamda basit olan ünitelerdir,
- İlk yatırım ve işletme maliyetleri oldukça düşüktür,
- Çevresel ve ekonomik anlamda değerlendirildiğinde, herhangi bir kimyasal kullanımına ihtiyaç duyulmamaktadır,
- Enerji tüketimleri düşüktür,
- İşletme parametrelerinde yapılan ufak değişikliklerle, değişen besleme koşullarına kolaylıkla uyum sağlayabilmektedirler [24].

4.2. Spiral Zenginleştiricilerdeki Değişkenlerin Ayrım Etkisi

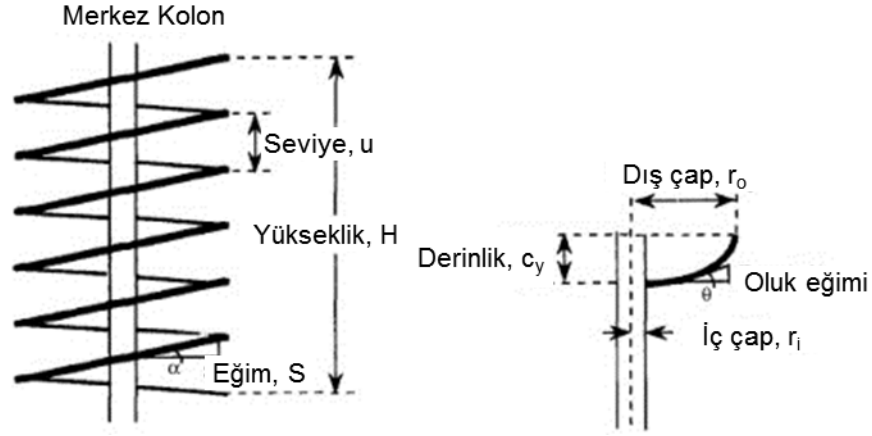
Spiral teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak farklı tür cevherlerdeki spiral performansını optimize edebilmek amacıyla, üretici firmalar tarafından çeşitli parametrelerde değişiklikler yapılmıştır. Bunlardan bazıları; sarmal kesitlerin profillerinin, çaplarının ve eğimlerinin değiştirilmesi, yıkama suyu olmayan spirallerin üretilmesi, tek konsantre alınacak şekilde çıkış ağızlarının modifiye edilmesi vb. şeklindedir [25].

Yıllar içerisinde spirallerde metalürjik performans artmış, spiral üretiminde kullanılan malzemeler modernize edilmiş, birim kapasite arttırılmış ve operasyonel işlemler basitleştirilmiştir.

4.2.1. Tasarım Değişkenleri

Spirallerin tasarım parametreleri; spiralin kesit alanının yapısı, oluğun çapı, sarmalın eğimi, sarmal sayısı, spiralin uzunluğu, spiralin yüzey özellikleri, bölücü bıçak pozisyonları ve yıkama suyu olarak sınıflandırılabilir (Şekil 4.1).

Bu tür değişkenler, spiral zenginleştiricilerdeki ayrımı doğrudan etkileyerek performansının değişmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple, farklı besleme türleri kullanılarak spiraldeki tasarım değişkenlerinin ayırım performansı üzerine etkilerinin incelenmesi, araştırmacılar tarafından tercih edilen konulardan olmuştur.



Şekil 4.1: Spiral zenginleştirici geometrisi⁹

4.2.1.1. Spiral Kesiti ve Eğim

Üretilen farklı türdeki spiral kesitleri, ürünlerin farklı verimlerle elde edilmesini sağlamaktadır. Bu konuda özellikle Reichert tarafından çok sayıda çalışma yapılmış ve ürettikleri farklı türdeki spiral kesitleri piyasaya sürülmüştür. Buna göre; yüzeyi farklı eğimlerde olan, çıkış ağızı spiralın merkez kolonuna yakın ya da uzak olacak şekilde konumlandırılmış çok sayıda spiral kesiti tasarımı yapılmıştır [26]. Sovyetler Birliği'nde farklı kesit alanına sahip spirallerle yapılan çalışmalarda, optimum spiral kesitinin elips şeklinde olduğu sonucuna varılmıştır [27].

Spiralin kesit alanı tasarlanırken göz önünde bulundurulacak çap, eğim ve kesit yapısı gibi parametreler, akışın değişmesine sebep olan temel değişkenlerdendir. Kesitin herhangi bir noktasında meydana gelecek en ufak bir eğim farklılığı aşağı yönlü ve çapraz yönlü oluşan akış hızlarının değişmesine sebep olmaktadır. Akış hızlarındaki değişim, palpın sistemde geçirdiği zamanı etkilemekte ve buna bağlı olarak, spiralın sarmal sayılarının yeterli ya da yetersiz olduğu bilgisini ortaya koymaktadır [24].

4.2.1.2. Spiral Yüzeyi

Spirallerde ayırım üzerine etkili olan bir diğer parametre ise spiral yüzeyidir. Tek parça olarak dökümü yapılan sarmallarda, ek yerlerinde meydana gelebilecek süreksizlikler önlenerek düzenli bir akış oluşması sağlanmaktadır. Spirallerin yüzeyinde, konsantreyi taşımak için kanallar yer almaktadır. Bu kanallar arasındaki

⁹ Numerical simulation of particulate-flow in spiral separators: Part I. Low solids concentration; M. A. Doheima, A. F. Abdel Gawadb, G. M. A. Mahranc, M. H. Abu-Alia, A. M. Rizka; 2013; sayfa 198-215

mesafe, akış sırasında tabakalanmayı sağlayarak ağır minerallerin atıktan ayrılmasına yardımcı olmaktadır. Kanalların çapı yaklaşık 50 mm olmakla birlikte, her bir dönemeçte 2 veya 3 tane bulunmaktadır.

İlk yapılan spirallerin spiral yüzeyleri plastik iken, zaman içerisinde gelişen teknolojiyle birlikte fiberglastan yapılan ve aşınmayı önleyici malzemelerle kaplanan spiral yüzeyleri kullanılmaya başlanmıştır [8].

4.2.1.3. Çap

Spiral çapının tane boyuna olan etkisini inceleyen çalışmalara bakıldığında; 50-200 µm boyutundaki ince tanelerde zenginleştirme için uygun olan spiral çapının 400-500 mm gibi küçük spiraller olduğu görülürken, 1-2 mm gibi iri taneler için uygun olan spiral çapının 1000-1500 mm olduğu görülmektedir [28]. Daha sonraki çalışmalarda ise spiral çapının metalürjiden çok kapasite üzerine etkili olduğu görülmüştür [29].

4.2.1.4. Boy

Standart türde üretilen 60 cm çapındaki Humphreys spiralleri, 5 ya da 7 dönemeçten oluşacak şekilde tasarlanmaktadır. Spirallerin uzunluğuna etki eden sarmal sayılarının, ayırım üzerinde de etkisi olmaktadır. Yüksekliği uzun olan spirallerde, palpın sistemde kalma süresi daha uzun olacağından, kısa spirallere göre daha yüksek performans ile ayırımın gerçekleştiği bilinmektedir.

Spirallerin kullanım amacına göre, daha uzun spiral kullanmak bir avantaj ya da dezavantaj oluşturabilmektedir. Aynı tonajda benzer performansı daha az sayıda spiral kullanarak yakalamak avantajlı bir durum oluşturmaktayken; temizleme devrelerinde daha uzun boyda spiral kullanımı fazla bir avantaj sağlamamaktadır [1].

4.2.1.5. Bölücü Bıçak

Spiral çıkışında yer alan ve alınacak ürünlerin miktarını belirlemek için konumlandırılabilen bölücü bıçaklar yer almaktadır. Spirale monte edilmiş olan bu bıçakların pozisyonları değiştirilerek farklı tenörlerde ürün alınması sağlanabilmektedir.

Bölücü bıçak pozisyonlarının mekanik olarak sabit olmaması durumunda, istenen ürüne ulaşamayacağı gibi ekipmanın verim ve performansında da çarpıcı düşüşlerin gözlenmesi kaçınılmazdır. Bölücü bıçak pozisyonları değiştirilerek

sonsuz sayıda kombinasyon yapılması mümkündür. Ancak bıçak ayarı manuel ve gözleme dayalı olarak yapılmaktadır. Operasyon sırasında konsantre ve atık bandındaki akış karakteristiğine göre ayarlanan bıçak pozisyonlarıyla istenen ürünün alınması muhtemeldir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Spiral bölücü bıçakları¹⁰

Ayrıcı bıçakların pozisyonlarının belirlenmesi, spiralin hangi amaç için kullanıldığı ile de ilgilidir. Kaba ayırma ve süpürme devrelerinde kullanılacak spiraller için verim önemli olduğundan; bölücü bıçakların, konsantre bandını daha geniş alacak şekilde konumlandırılmaları uygundur. Temizleme devresinde kullanılacak spiraller için ise hedef, yüksek tenör elde etmek olduğundan; bölücü bıçakların, merkez kolona daha yakın şekilde konumlandırılmaları uygun olmaktadır [8]. Spiral zenginleştiricilerin türüne bağlı olarak, bölücü bıçak sayıları 1'den 10'a kadar değişiklik gösterebilmektedir [1].

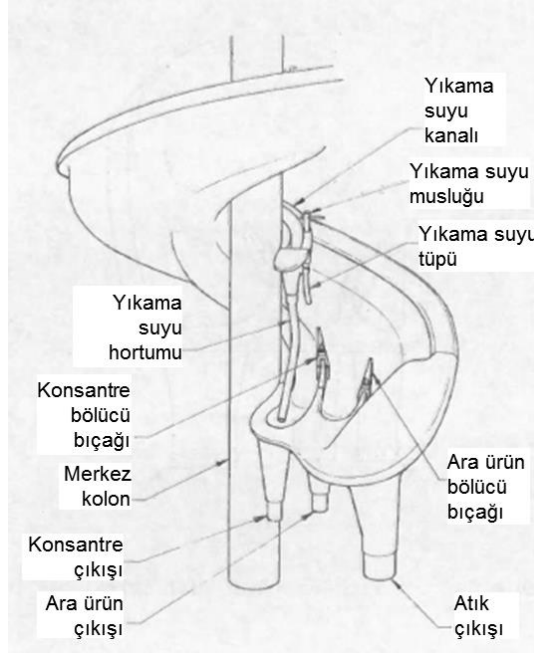
4.2.1.6. Yıkama Suyu

Spiral zenginleştiricilerde yıkama suyu, iç yarıçapta tabakalanmış olan ağır mineral yatağının üstünde yer alan hafif tanelerin yıkanmasına yardımcı olmak amacıyla kullanılmaktadır. Kullanımına bazı tür spirallerde rastlanan yıkama suyu, spiral yüzeyindeki yıkama kanalları aracılığı ile iç yarıçapa yakın olan kısımdan sisteme verilmektedir. Farklı spiral türlerindeki yıkama suyu tasarımı da farklı olabilmektedir (Şekil 4.3).

Sisteme verilecek olan yıkama suyu miktarı; beslemede kullanılan malzeme türüne, besleme yoğunluğuna ve beslemedeki tanelerin yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Beslemenin; iri tanelerden oluşması, yüksek katı

¹⁰ <http://www.multotec.com/products/sx4-coal-spiral-concentrators> internet sitesinden alınmıştır.

içeriğine sahip olması ve fazla miktarda yüksek yoğunluklu mineral içeriyor olması, hacimce daha fazla yıkama suyunun kullanılmasını gerektiren durumlardandır [1].



Şekil 4.3: Yıkama suyuna sahip spiraller¹¹

Kaba zenginleştirme ve süpürme devrelerinde sisteme geri döndürülen su, yıkama suyu olarak kullanılabilir. Ancak temizleme devresinde temiz su kullanılması gerektiğinden, sisteme geri döndürülmüş suyun kullanımı tercih edilmemektedir. Temiz olmayan sudaki safsızlıklar konsantreye gitme ve konsantre tenörünü düşürme eğiliminde olduğundan, yıkama suyu içerisinde; sistemin düzenini bozacak türden tanelerin yer almamasına dikkat edilmeli, suyun yoğunluğunun değişmesine sebep olan safsızlıkların olması durumunda bu su, yıkama suyu olarak kullanılmamalıdır.

Yeni üretilen spiraller, ek olarak yıkama suyuna ihtiyaç duyulmayacak şekilde tasarlandığından, yıkama suyu sebebiyle sistemde oluşabilecek düzensizliklerin önüne geçilmiş, sudan tasarruf sağlanmış ve sistem sadeleştirilmiştir [8].

4.2.2. İşlem Değişkenleri

Spiral zenginleştiricilerde besleme olarak kullanılan malzemelerin tane boyu dağılımı, şlam miktarı, serbestleşme dereceleri, beslemenin içerdiği katı miktarı,

¹¹ The Development of High Efficiency Spiral Separators; Reaveley, Bernard J.; Ritchie, Ian C.; 1986; sayfa 95.

besleme içerisindeki malzemelerin yoğunluğu, tane şekilleri gibi birçok özellik; spiraldeki akış davranımını değiştirerek ayrımı etkileyen işlem değişkenlerindedir.

4.2.2.1. Tane Boyu

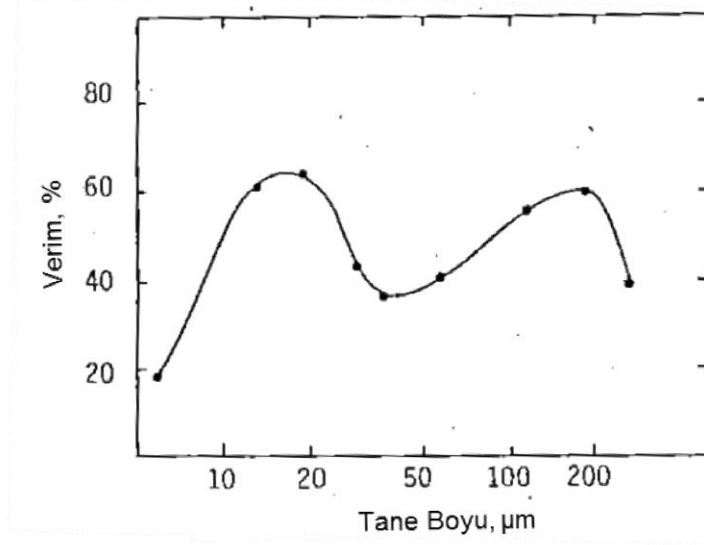
Mineraller, öğütülüp belli bir serbestleşmeye ulaştıktan sonra, spirallerde zenginleştirme için uygun hale gelmektedirler. Spiral zenginleştiricilerde minerallerin düzgün ayrımı için olması gereken üst tane boyu 1 mm iken; iyi bir kömür ayrımı için olması gereken en iri tane boyu 6 mm olarak belirlenmiştir [30].

Spiral beslemesinin üst tane boyunun, etkili bir eleme ile kontrol edilmesi gerektirmektedir. İri taneler, asılı kalmadığı ve çöktüğü, bunun sonucunda da çeşitli bariyerler ve tıkanmalar oluşturarak sistem akışını bozduğu gerekçesiyle sisteme dahil edilmemesi gereken boylardandır.

Spiral zenginleştiriciler, özellikle serbest minerallerde, beslemenin geniş tane boyu aralığında kullanımı için uygundur. Ancak tüm yer çekimiyle ayırma ekipmanlarında olduğu gibi, spiral zenginleştiricilerde de bağlı tanelerin olması durumunda beslemenin dikkatle hazırlanması gerekmekte ve çok ince tanelerin sisteme dahil edilmemesi için özen gösterilmesi gerekmektedir.

Spiral zenginleştiricilerde etkili bir ayırım 50 μm 'a kadar yapılabilmektedir. Kömürde ise etkili bir temizlemenin, 75 μm 'dan iri tanelerde yapılabilmesi mümkündür [31].

Şekil 4.4'te görüldüğü üzere, özellikle süpürme devrelerinde çift kambur yapan bir verim eğrisi gözlenmektedir. Kompleks yapıya sahip yer çekimi ile zenginleştirme tesislerinde, diğer devrelerde istenmeyip atılan tanelerin süpürme devresine gelmesi ve sistemi etkilemesi sonucunda bu tür grafiklerin elde edilmesi mümkündür. İri tanelerde verim düşüşünün sebebi bağlı taneler olarak açıklanmakta iken, ince tanelerdeki verim düşüşünün sebebinin mekanik kayıplardan kaynaklandığı söylenebilmektedir [8].



Şekil 4.4: Spiral zenginleştiricilerde çok ince tanelerin verimi¹²

4.2.2.2. Tane Şekli

Spiral zenginleştiricilerde ayrılacak olan tanelerin şekillerinde belirgin bir farklılık mevcutsa, konsantrasyon kriteri 1.0'e ulaşsa dahi etkili bir ayırım gözlenmesi mümkündür. Bu konuyla ilgili olarak mikayı kuvars ve feldspattan ayırmaya yönelik yapılan çalışmada; yassı yapıya sahip mikanın, suyla birlikte spiralin dış çeperine giderek atığa ayrılma eğiliminde olduğu gözlenirken, kuvars ve feldspatın ise merkez kolon etrafındaki spiralin iç çeperine birikme ve konsantre çıkışına gitme eğiliminde oldukları bilinmektedir [32].

4.2.2.3. Besleme Tenörü

Spirallerin bölücü bıçakları belirli bir besleme tenörüne göre ayarlanıp sabitlendikten sonra besleme tenöründe meydana gelecek dalgalanmalar spiral performansının olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır. Spiral zenginleştiricilerde ayırım performansının etkilenmemesi için, spirale gönderilen beslemenin tenöründe aşırı değişiklikler olmamalıdır [8].

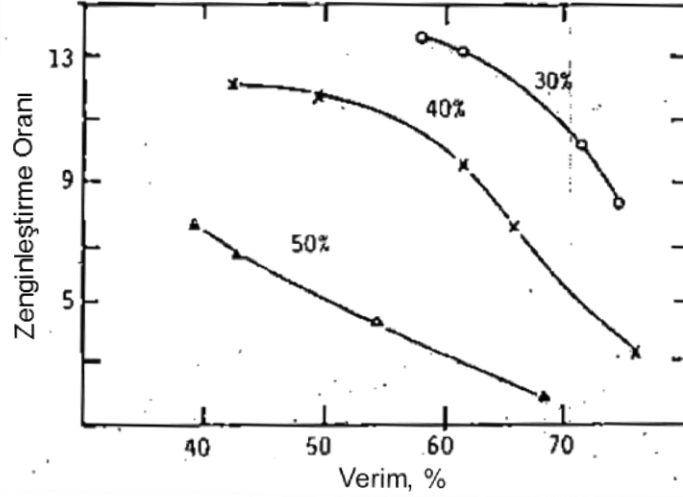
Öte yandan, farklı spiral zenginleştiricilerin performanslarını karşılaştırmaya yönelik yapılan deneysel çalışmalarda, besleme tenörlerinin sabit tutuluyor olması önemlidir. Ancak bu şekilde karşılaştırmalı sonuçların elde edilmesi mümkün olmaktadır.

¹² Gravity Concentration Technology; Richard O. Burt; 1984; sayfa 277.

4.2.2.4. Beslemenin İçerdiği Katı Miktarı

Spirallere beslenen palpın katı yoğunluğu ya da katı oranı, kullanılacak olan spiral türüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bazı spiral türlerinde %25-45'lik katı oranları uygunken, bazı spirallerde %15-35'lik katı oranları uygun olmaktadır. Yüksek eğimli spirallerin, katı içeriği yüksek olan beslemeyi zenginleştirmek için kullanılması uygundur.

Optimum palp yoğunluğu, kullanılacak olan beslemenin türüne bağlı olarak da değişiklik göstermektedir. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi; aşırı palp yoğunluğu, spiraldeki normal akış davranımında karışıklığa sebep olarak engelli çökeltme rejiminin bozulmasına ve buna bağlı olarak da spiral performansının düşmesine neden olmaktadır [8].



Şekil 4.5: Aşırı palp yoğunluğunun spiral performansı üzerine etkisi¹³

4.2.2.5. Besleme Hızı

Spirallerde besleme hızı spiral türüne göre değişmekle beraber, standart 600 mm çaplı spiral zenginleştiriciler için optimum besleme hızı 1.0-1.5 lt/sn olarak kabul edilmektedir. Klasik anlamdaki uygulamalarda saatte 0.5-1.0 ton besleme yapıldığı bilinmekle beraber; geliştirilmekte olan yüksek kapasiteli spirallerin besleme hızları 5-8 ton/saat'e kadar çıkabilmektedir [29].

¹³ Gravity Concentration Technology; Richard O. Burt; 1984; sayfa 280.

4.2.2.6. Akış Davranımı

Spiraldeki akış profili, akışın hızına ve sarmalın şekline bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Spiralin alt sarmalına doğru akış hızı artarken, palpın hızı ve merkezkaç kuvvetinin de etkisi ile ince-ağır taneler ve ara ürünlerin çoğu hızlı ve türbülans akışın olduğu atık bandına doğru gitmeye zorlanmaktadırlar ve verimi düşürmektedirler [33].

Sarmalın ilk yarım döneminde, besleme kutusundan gelen türbülans akışı etkisi önlenerek düzgün bir akış sağlanmaktadır. İri-ağır taneler hızlı bir şekilde bir araya gelerek ayrı bir bant oluşturmaya başlamaktadırlar. Yüksek tenörlü malzemelerde; toplam konsantre ağırlığının üçte ikiden fazlasının ilk iki dönemde ayrıldığı, ancak malzeme sarmaldan aşağı akmaya devam ettikçe tenörünün azaldığı gözlenmektedir.

Düşük akış hızında ise, hafif taneleri konsantre bandından ayırmaya yarayan merkezkaç kuvveti yetersiz kalacağından düşük tenörde konsantre alınmaktadır. Bunun yanı sıra konsantre kanalında iri tanelerin birikmesi sebebiyle mineral çökelmelerine bağlı bariyerler oluşarak verimsiz bir ayırım gerçekleşmesine sebep olmaktadır [8].

4.3. Spiral Zenginleştirici Çeşitleri

Humphreys Mühendislik firması, uzun seneler boyunca spiral üreticiliğini tekeline bulduran bir firma olmuştur. Ancak patentlerin diğer üretici firmalara dağıtılması ile birlikte, Humphreys spirallerinden farklı karakteristiğe sahip spiral türleri de üretilmeye başlanmıştır. Bu dönemde özellikle Avustralya'da yeni gelişmekte olan mineral kumları endüstrisi, farklı tipteki spiral zenginleştiricilerin ülke çapında gelişmesine olanak tanımıştır. Daha yeni türde spiral zenginleştiricilerin üretim merkezi Kuzey Amerika'dan Avustralya'ya kaymıştır. Sovyetler Birliği'ndeki üreticiler ise, tüm bu spiral türlerinden farklı tasarım ve kapasitede olan spiral zenginleştirici üretimine yönelmişlerdir.

Spiral üreticileri, her geçen gün, endüstriye çeşitli modellerde spiraller sunmaktadırlar. Üretilen spiral türlerinin her birinin sarmal oluşu profil tasarımı, eğimi ve performansı etkileyen diğer parametreleri, farklı özelliklerde yapılmaktadır.

Spiral zenginleştirici türleri; Humphreys tarafından geliştirilmiş ve yaygın şekilde kullanılan “Çoklu Çıkış Ağzına Sahip Spiraller” (Multi-Offtake Spirals) ile “Sınırlı Çıkış Ağzına Sahip Spiraller” (Limited-Offtake Spirals) olarak ayrılmaktadır [8].

4.3.1. Çoklu Çıkış Ağzına Sahip Spiraller

Humphreys spiralleri, Reichert spiralleri ve Vickers spiralleri, çoklu çıkış ağzına sahip spiraller kategorisinde yer alan belli başlı spiral zenginleştiricilerindedir.

4.3.1.1. Humphreys Spiralleri

Bu spiraller, helezon şekline dönüştürülmüş bir olukta akan su içerisinde, merkezkaç kuvvetinden de yararlanarak, katı taneciklerin özgül ağırlığına, boyuna ve şekline göre ayırım yapan ekipmanlardandır.

Cevher zenginleştirme amacıyla kullanılan bu spiraller, 75 µm - 1 mm tane boyu aralığındaki minerallerin ayırımında etkindirler. Bazı durumlarda üst tane boyu 3 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Genellikle 5 sarımlı olan spirallerin 7 sarımlıya kadar çıkan tasarımları da mevcuttur.

Spiralin altında yer alan konsantre çıkışında, sabitlenmiş halde duran menfezler bulunmaktadır. Bu menfezlerde, pozisyonları değiştirilerek ayarlanabilen metal bölücü bıçaklar yer almaktadır. Bölücü bıçaklar sayesinde akış kontrol edilerek, konsantreye gidecek olan miktarın ayarlanması sağlanmaktadır.

Bu tip spirallerde standart olarak kullanılan malzeme, kauçuk astarlı ya da astarsız dökme demir veya kauçuk astarlı fiberglastır.

Altın cevherindeki uygulamalarda 30 µm inceliğe kadar etkin bir ayırım yapılabilmektedir. Kömür uygulamalarında kullanılan spiraller ise 6-10 sarımlı olup, daha yayvan olukludurlar.

Spirallere beslenen palpın optimum katı oranı %35 (kömür için %40), maksimum oran ise %50'dir. Konsantredeki katı oranı tipik olarak %65 (kömür için %30), ara üründe %60, atıkta ise %30 civarındadır. Cevherin özelliğine göre değişiklik göstermekle birlikte, spirale beslenen katıların genel olarak %10'unun konsantreye, %20'sinin ara ürüne, %70'inin ise atığa gitmesi beklenmektedir.

Spirallerin optimum kapasiteleri 1.8-2.2 ton/saat kadardır. Maksimum kapasiteleri 3-4 ton/saat'e kadar çıkabilmektedir. Spirallerin birim alandaki kapasitelerini arttırmak amacıyla çoklu başlangıca sahip spiraller üreilmeye başlanmıştır.

Böylece birim tesis alanında iki veya üç kat daha fazla kapasite elde edilmektedir. Spiraller genellikle bataryalar halinde bir araya getirilerek istenilen tesis kapasitesine ulaşılmaktadır. Tesiste, ana zenginleştirme yöntemi olarak kullanıldıklarında; kaba zenginleştirme, süpürme ve temizleme amacıyla kullanılabilirler [8].

4.3.1.2. Reichert Spiralleri

Reichert spirallerinin, çift başlangıca sahip spiraller şeklinde üretimine başlanmıştır. Bu tipteki spiraller poliüretan kaplamalı fiberglas malzemedan üretilmektedirler. Parçalı sarmal yapısı yerine sürekli sarmal yapısının kullanılması, segment birleşim yerlerinde bozulduğu gözlemlenen akışın sürekliliğini sağlamaktadır. Bu şekilde daha sürekli ve kararlı bir akış elde edilmektedir.

Reichert spiralinin farklı türlerde üretimi yapılmaktadır. Bu spiral türlerinde değişiklik gösteren parametreler; spiralin eğimi, oluk özellikleri, oluğun çapı, spiralin yüksekliği, kapasitesi ve spiral beslemesinin katı oranlarındaki farklılıklardır.

Farklı türdeki bu spirallerin kesit yapısı incelendiğinde, daha düz ya da daha eğimli çıkış yapısına sahip sarmalların olduğu görülmektedir. Aynı zamanda, her bir türe ait bölücü bıçakların konumları da değişiklik göstermektedir. Bazıları merkez kolona daha yakın mesafede konumlanmaktayken, bazıları da merkez kolondan daha uzakta konumlanmış olabilirler. Tüm bu değişiklikler, konsantreye alınacak olan akıştaki malzeme içeriğinin farklı olmasına sebep olmaktadır. Bu parametrelerde yapılan değişiklikler, mineral tipine de bağlı olarak, kaba zenginleştirme, süpürme ya da temizleme aşamalarına uygun spirallerin oluşmasını sağlamaktadırlar [8].

4.3.1.3. Vickers Spiralleri

Vickers Xatal spiralleri, Humphreys spirallerin benzer profil yapısına sahip olmakla beraber, fiberglas malzemedan üretilmiş, sürekli sarmal yapısına sahip spirallerdendir. Geliştirdikleri spiral yapısına göre yıkama suyu kanalları, konsantreyi ayırmak amacıyla kullanılmaktadır [34]. Konsantre, ayarlanabilir kauçuk bölücü bıçak sayesinde, oluğun iç tarafına doğru ayrılmaktadır. Böylelikle, konsantre olarak kazanılmak istenen ince tanelerin sistemden uzaklaşmasına engel olunmaktadır.

Yıkama suyu sistemi, spiralin merkez kolonuna yerleştirilmiştir. Ayarlanabilir paslanmaz çelik vanaların sabitlendiği bu sistemde spirale, büyük çaplı küçük bir hortumla yıkama suyu verilmektedir. Böylelikle yıkama suyunun, ince taneler sebebiyle tıkanması sorununun önüne geçilmiş olmaktadır [8].

4.3.2. Sınırlı Çıkış Ağzına Sahip Spiraller

Bu türde yer alan spiral teknolojisindeki gelişmeler, çoklu ürün çıkışına sahip Humphreys spirallerindeki sistemler yerine, daha az çıkış kanallarının olduğu sistemlerdeki yenilikleri yansıtmaktadır. Tam anlamıyla zenginleştirmenin, spiral sarmalları sonunda olduğu birçok ünite geliştirilmiştir. Spirallerde geliştirilen bir diğer uygulama ise, yıkama suyu sisteminin kaldırılmasıdır. Bu tipteki spiraller Reichert ve Vickers Xatal firmaları tarafından üretilmekle birlikte, Avusturalya'da Wright ve Güney Afrika'da Spargo firmaları tarafından da üretimleri yapılmıştır. Sovyet Rusyası'nda da bu tür spiral zenginleştiriciler geliştirilmiş ve üretimleri yapılmıştır.

Reichert, konsantre, ara ürün ve atık almak üzere tasarladığı farklı profil yapısına sahip spiralleri ile dünya çapında kullanılır hale gelmiştir. Çıkış ağzına yerleştirilen ayarlanabilir iki bölücü bıçak sayesinde istenilen ürünler alınabilmektedir.

Siklo-spiraller Avusturalya'da ve Güney Afrika'da üretilen spiral türlerindedir. Farklı çıkış yapılarına sahip bu spirallerdeki değişikliklerle ağır metallerin hızı yavaşlatılarak merkez kolon etrafındaki akışta toplanmaları hedeflenmektedir. Diğer spirallerden farklı olarak bu spiral tiplerinde, son iki sarmalın alt kısmında yatay olarak görülen çıkış açıklıkları bulunmaktadır. Çıkış açıklığı ayarlanabilir olan bu sistem, ürün toplama amacıyla son iki sarmaldaki açıklığın altına yatay olarak yerleştirilen bir mekanizmadan oluşmaktadır.

Spiral türlerinin birbiriyle kıyaslanmasına yönelik literatürde çok az çalışma yer almaktadır. Düşük tenörlü tantal mineralinin atığına uygulanan süpürme devresi, 3 farklı türdeki spiralin verimini karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır [8]. Buna göre GEC, Reichert Mark 3 ve Spar siklo-spiralleri kullanılmıştır. Testler sonrasında elde edilen sonuçlara göre spirallerin verimleri arasında çok az bir fark söz konusu iken, Reichert spiralinin zenginleştirme anlamında daha iyi performans sergilediği gözlenmiştir.

Sovyetler Birliği'nde geliştirilen spiraller ise, yalnızca spiral eğimi ya da sarmal geometrisindeki değişikliklerle değil, spiral çapındaki değişikliklerle de ilgilenmekte ve kapasiteyi etkileyecek gelişmeleri hedef almaktadır [27]. Yapılan çalışmalara göre; büyük çaplı spirallerin iri taneleri, normal boyutlardaki spirallere göre daha iyi ayırdığı sonucuna varılmaktadır [28].

Sovyet spiral zenginleştiricilerinin teknolojisine bağlı olarak çok sayıda spiral üretilmiştir. Bu spirallerin özellikleri izelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Bazı Sovyet spirallerine ait zellikler¹⁴

	SV2-750	SV2-1000	SV2-1500	SV3-1500	SV4-1500	SV2-2000A	SV3-2000A
ap (mm)	750	1000	1500	1500	1500	2000	2000
Dönemeç	4	4	3	3	3	3	3
Başlangıç	2	2	2	3	4	2	3
Besleme Boyu (mm)	0.07-1	0.07-2	0.2-3	0.1-2	0.07-2	0.2-5	0.2-5
Besleme % katı oranı	15-40	15-40	15-40	15-40	15-40	15-40	15-40
Kapasite	1-5	3-8	20-30	10-30	15-40	25-60	30-75

Bu spiral tiplerine ek olarak, dünyanın farklı yerlerinde geliştirilen birçok farklı türde spiral üretimi yapılmaktadır. Spiral reticileri, farklı tür ve boyuttaki minerallerin kazanımına uygun olacak şekilde ve kapasiteyi arttırmayı hedefleyerek çeşitli tasarımlar yapmaktadırlar [8].

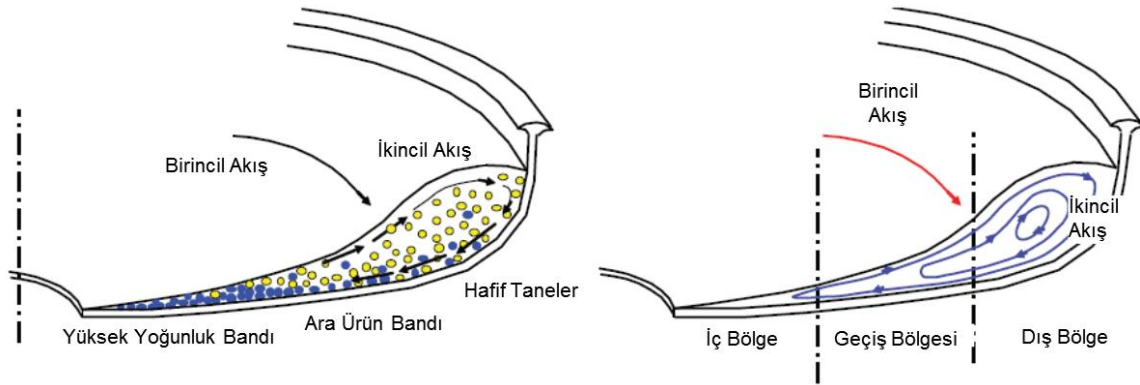
4.4. Spiral Akışına Etki Eden Kuvvetler ve Modelleme alışmaları

Spirallerdeki ayırma mekanizması; engelli çökelme, yoğunluğu yüksek olan ince tanelerin iri taneler arasından geçerek tabanda birikmesi, yer çekimi etkisinin merkezde düşmesi, akışta oluşan makaslama yüzeyi, parçalı ivmelenme, hız ve benzeri kuvvetlerin etkisine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bütün bu kuvvetlere bağlı olarak spirallerde gerçekleşen ayırım oldukça kompleks bir yapıya sahiptir.

¹⁴ Gravity Concentration Technology; Richard O. Burt; 1984; sayfa 269.

4.4.1. Akışa Etki Eden Kuvvetler

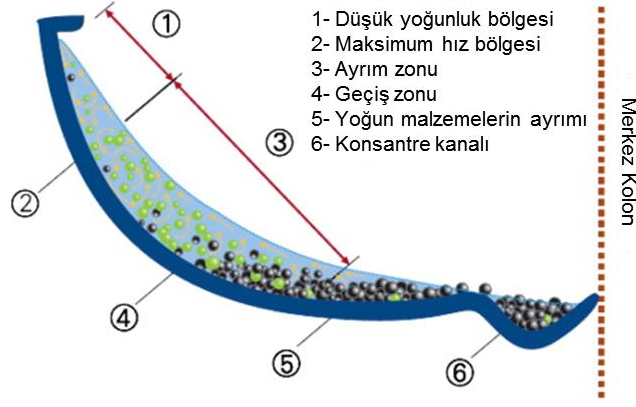
Spiral zenginleştiriciler, yer çekimi ile ayırma ekipmanlarının akan sıvı filmi kategorisindeki ayırıcı ekipmanlardandır. Akan sıvı filmlerinde, çökme olan ve çökme olmayan türden iki farklı tanecik taşınımı görülmektedir (Şekil 4.6). Çökme olmayan taşınmada, taneler genellikle oluklar içerisinde askıda kalarak taşınmaktadırlar. Bir diğer taşınma yöntemi ise, tanelerin yüzeyle temas halinde olduğu, çökmenin gerçekleştiği noktada görülmektedir. Spiral zenginleştiricilerde tane taşınımı sırasında, birbirinden farklı bu iki akım düzeni oluşmaktadır. Konsantre ve ara ürün bandını kapsayan spiralin iç bölümünde, çökmeye bağlı taşınma sistemi görülmektedir. Spiral oluğunun dış tarafına gitme eğiliminde olan su ve atık taneleri ise yüksek hız bölgesinde, çökme olmayan türden taşınmaya maruz kalmaktadırlar [24].



Şekil 4.6: Spiral zenginleştiricide birincil ve ikincil akışların şematik gösterimi¹⁵

Spiraldeki akış, farklı faktörlerin etkisiyle karmaşık bir yapıya sahiptir. Spiral zenginleştiricinin sarmallarından palpın akışıyla birlikte, düşey yönde tabakalanma gerçekleşmeye başlamaktadır. Bu tabakalanma, akış sırasında gerçekleşen engelli çökmenin ve Bagnold kuvvetinin bir sonucudur. Bagnold kuvveti, sarmal oluğunda gerçekleşen makaslama kuvvetlerinin etkisi ile oluşmaktadır. Tüm bu etkenler sebebi ile düşey ekseninde ağır taneler, düşük hız bölgesinde kalan merkez kolon etrafına toplanırken; ince taneler, diğerlerinin üzerinde tabakalanarak yüksek hız bölgesine yani spiralin dış çeperine doğru hareket etme eğilimindedirler (Şekil 4.7).

¹⁵ New Developments in Spirals and Spiral Plant Operations; M. Palmer ve C. Vadeikis; 2010; sayfa1101



Şekil 4.7: Spiral zenginleştiricilerin kesit profili¹⁶

Spiral zenginleştiricilerin sarmal dönemeçleri, düşey ekseninde, yalnızca akan sıvı filmi etkisi yaratmakla kalmayıp, yatay ekseninde, merkezkaç kuvveti etkisi de yaratmaktadır. Akışın kesitteki bu dönme etkisi, yalnızca spirale ait ve onu diğer ekipmanlardan ayrı tutan bir özelliktir [8].

İri-yoğun taneler Bagnold kuvvetlerinin etkisi ile akan sıvıda hızlı yüzen tabakasına geçerek verimin düşmesine sebep olmaktadır. Bagnold etkisi, özellikle yüksek palp yoğunluklarındaki akışlarda ortaya çıkan bir kuvvettir. Akan sıvı filminin yüksekliği boyunca oluşan hıza etki ederek bir tür makaslama kuvveti oluşturmaktadır. Bagnold kuvveti; farklı yüksekliklerde yer alan, farklı yoğunluk ve boydaki tanelere etki edebilmektedir. Palp içerisindeki her bir taneye uyguladığı kuvvet değişiklik gösterebilmektedir. Bu kuvvet, taneleri dağıtma ve birbirinden ayırmaya yönelik olmakla birlikte makaslama kuvveti ve tanenin boyutuyla doğru orantılıdır. Yapılan çalışmalar Bagnold etkisinin, spiral zenginleştiricinin iç kesimlerinde, tanelerin genel olarak yatak oluşturma eğiliminde olduğu yüksek yoğunluklu noktalarda gerçekleştiğini göstermektedir [35].

Spiralin düz bir olukta gerçekleşen akışa üstünlüğü, spirallerdeki akışta girdap etkisinin gözlemleniyor olmasıdır [24]. Bu etki, üst tabakaların düşük yoğunluklu taneleri spiralin dış çeperine doğru uzaklaştırdığı ve alt tabakaların yüksek yoğunluklu taneleri merkez kolon etrafına doğru topladığı tabakalar arasında yer alan makaslama düzleminde gerçekleşmektedir.

¹⁶ Numerical simulation of particulate-flow in spiral separators: Part I. Low solids concentration; M. A. Doheima, A. F. Abdel Gawadb, G. M. A. Mahranc, M. H. Abu-Alia, A. M. Rizka; 2013; sayfa 198-215

Spirallerdeki akışın ürünlere göre bantlara ayrılıyor olması, ayırımın çok daha kolay hale gelmesini sağlamaktadır. İnce yatay bir düzlemde tabakalanma olmadan birbirinin üstünde yer alan minerallerin ayırımı düşünüldüğünde, spirallerdeki bu davranım ona üstünlük sağlamaktadır.

4.4.2. Modelleme Çalışmaları

Modelleme çalışmaları, ekipmanların tesis uygulamaları ya da tasarım süreçlerinde kolay ve doğrudan sonuca ulaşılabilmesi için kabul edilen yaklaşımlardandır. Oluşturulan modelin etkili olabilmesi için farklı türdeki cevher türlerine uygulanabilir olması gerekmektedir. Elde edilen modelde; ekipmanın normal işletim koşulları altındaki performansı ile besleme koşulları değiştiği andaki değişiklikler belirlenebiliyor olmalıdır [36].

Spiral zenginleştiricilerdeki akış modellerinin matematiksel çalışmaları ilk olarak Sovyetler Birliği'nde geliştirilmiş; Kizevalter, Bagdanov ve Yashin isimli çalışmacılar tarafından farklı çalışmalarla akış modellerinin geliştirilmesi üzerine uğraşmıştır [8].

Spirallerdeki birincil ve ikincil akışların spiral kesitindeki davranımları pek çok çalışmayla incelenmiştir. Geliştirilen matematiksel modeller ile akışta askıda kalan tanelerin spiral kesitindeki profili ölçülebilmekte, tanelerin hızları tahmin edilmekte ve buna bağlı olarak kesme boyunun ayarlanabilmesi sağlanmaktadır [37].

Farklı çaplardaki spiral zenginleştiricilerin akış özellikleri matematiksel modellemelerde kıyaslanarak büyük çaplı spiral zenginleştiricilerdeki akış profilinin davranımının belirlenmesi sağlanmıştır. Bu çalışmaya göre 100 mm ve 300 mm çaplı iki spiral zenginleştiricinin iç ve dış çeperlerindeki akış hızı aynı iken, akış profilinin merkezkaç kuvvetine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Küçük çaplı spiraldeki ikincil akışın büyük çaplı spirale göre daha düzgün bir dağılım sergilediği tespit edilmiştir [38].

5. KROMİT CEVHERİ

Krom, kullanım alanı en yaygın olan elementlerden biridir. Metalürji, kimya ve refrakter sanayiinde yoğun olarak kullanılmakta olan bir metaldir. Metalürji endüstrisinde krom, paslanmaz çeliğin temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Kimya sektöründe; boya pigmenti, yükseltgeyici madde ve krom kaplamada elektrolit gibi alanlarda krom bileşeni olarak kullanılmaktadır. Kromit minerali (Cr_2O_3) ise, yüksek ısıya dayanıklı fırınların iç astarlarına refrakter malzeme olarak kullanılmasının yanı sıra, çimento ve cam yapımı endüstrilerinde de sıkça kullanılmaktadır [39].

Kromit mineralindeki mutlak krom içeriğine ve krom:demir oranına bakılarak metalürji, kimya ya da refrakter gibi alanlardaki kullanımına karar verilmektedir.

- Metalürjik alanda kullanılacak olan kromitin, Cr/Fe oranının 2.5'i geçtiği durumda %46'dan fazla Cr_2O_3 içeriyor olması beklenmektedir.
- Kimyasal alanda kullanılacak olan kromitin, Cr/Fe oranının 1.5-2.0 olduğu durumda %40-46 Cr_2O_3 içeriğine sahip olması beklenmektedir.
- Refrakter alanında kullanılacak kromit içeriğinde ise %20'den fazla Al_2O_3 bulunması beklenmektedir [40], [39], [41].

Kromun kullanım alanının yaygın olması ve stratejik önemi sebebiyle, krom rezervleri uzun seneler boyunca dünyanın birçok noktasında değerlendirilmeye alınmış ve işletilmiştir. Dünya üzerinde kromit rezervleri azalmış olsa da, üretimi hala en yaygın olan metalik minerallerdendir.

Temelde, en yaygın kromit üretimi yapan ülkeler Güney Afrika ve Rusya'dır. Kromit üretimi yapan diğer ülkeler ise Hindistan, Türkiye, Arnavutluk, Finlandiya, Yunanistan, Filipinler ve Zimbabve'dir [8].

5.1. Kromit Cevheri Zenginleştirme Yöntemleri

Kromit cevherinin genel formülü $(Cr, Fe, Al)_2O_3(Fe, Mg)O$ 'dir. Alüminyum ve demir, bazı durumlarda krom içeriğine dahil olabilmektedir. Kromit mineralleri, içerisindeki krom tenörüne bağlı olarak fiziksel yöntemlerle yan kayacından ayrılabilir. Kromit mineralleri, içerisindeki krom tenörüne bağlı olarak fiziksel yöntemlerle yan kayacından ayrılabilir.

Kromit cevherlerinde, kullanılacak olan malzemenin boyutuna göre sınıflandırma yapılmaktadır. Buna göre kromit cevherlerinin; yığın cevheri, kırılğan yığın cevheri ve tüvenanın ince boyu olarak kategorize edilmeleri mümkündür. Temelde yapılan

konsantre üretimi, tüvenandan gelen ince kromit tanelerinin zenginleştirilmesi ile elde edilmektedir.

Yer çekimi ile zenginleştirme yönteminin, düşük tenörlü yığın cevheri ve tüvenanın ince tanelerine uygulanması ideal yöntemlerdendir. İnce taneler için ise manyetik ayırma, alternatif zenginleştirme yöntemlerindedir. Çok ince taneler haricinde, kromiti zenginleştirmek için yer çekimiyle ayırma yöntemlerinin kullanılması hem ekonomik açıdan hem de verim açısından en uygun olanıdır.

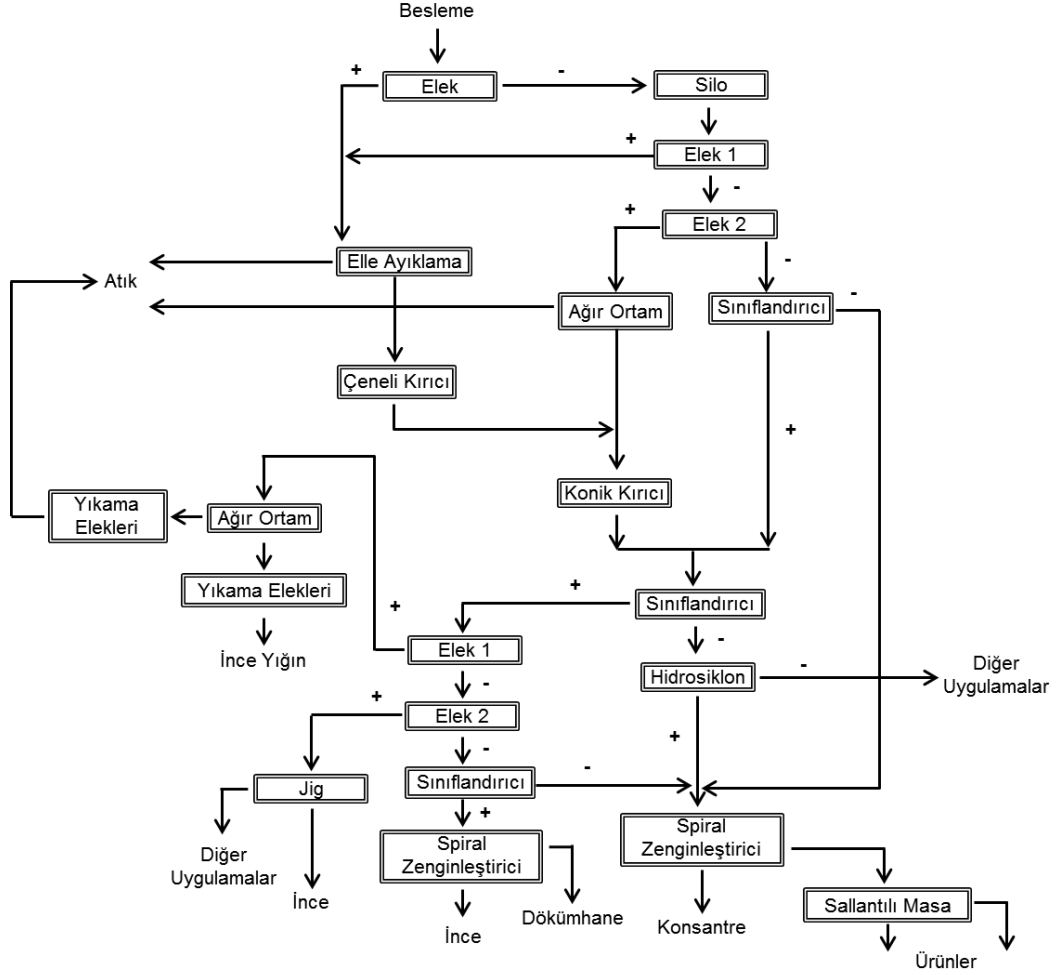
Kromit zenginleştirme tesislerinin çoğu, oldukça basit sitemlere sahiptirler. Birçok tesis ağır ortam ekipmanlarını, ön zenginleştirme yapmak veya nihai konsantre elde etmek amacıyla kullanmaktadır. Ağır ortam ile ayırma yönteminde ayrımı belirleyen birincil etmen, tanelerin yoğunluklarıdır. Bu nedenle ağır ortam zenginleştirme ekipmanlarına daha geniş tane boyu aralığında (6-150 mm) besleme yapılabilmektedir. Bu tane boyu aralığında kullanılan ağır ortam ekipmanları genellikle yüzdürme-batırma tekneleri biçimindedir ve yüzenlerle batanlar arasındaki ayırma, yer çekimi etkisindeki çökme hızlarına bağlı olmaktadır. Viskozitesi genellikle yüksek olan ortamlarda 6 mm'den ince tanelerin çökme hızları çok yavaş olduğundan, ağır ortam siklonları gibi ekipmanların merkezkaç kuvvetlerinden yararlanılarak ayırma işlemi hızlandırılmaktadır.

Jigler, spiral zenginleştiriciler ve sallantılı masalar yaygın olarak kullanılan yer çekimi ile ayırma ekipmanlarındandır. Önceki yıllara ait çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, çok ince kromit tanelerinin zenginleştirme uygulamalarının olmadığı görülmektedir. Ancak günümüzde, ince tanelerin (-75 µm) kazanımına duyulan ihtiyaç sebebiyle, gelişen teknolojiye bağlı olarak çeşitli yöntemler geliştirilmekte ve yeni ekipmanlar üretilmektedir [8]. Bunlardan bazıları; yüksek yerçekimli zenginleştiriciler, merkezkaç kuvveti uygulanan zenginleştiriciler vb. ekipmanlardır.

5.2. Kromit Zenginleştirme Akım Şemaları

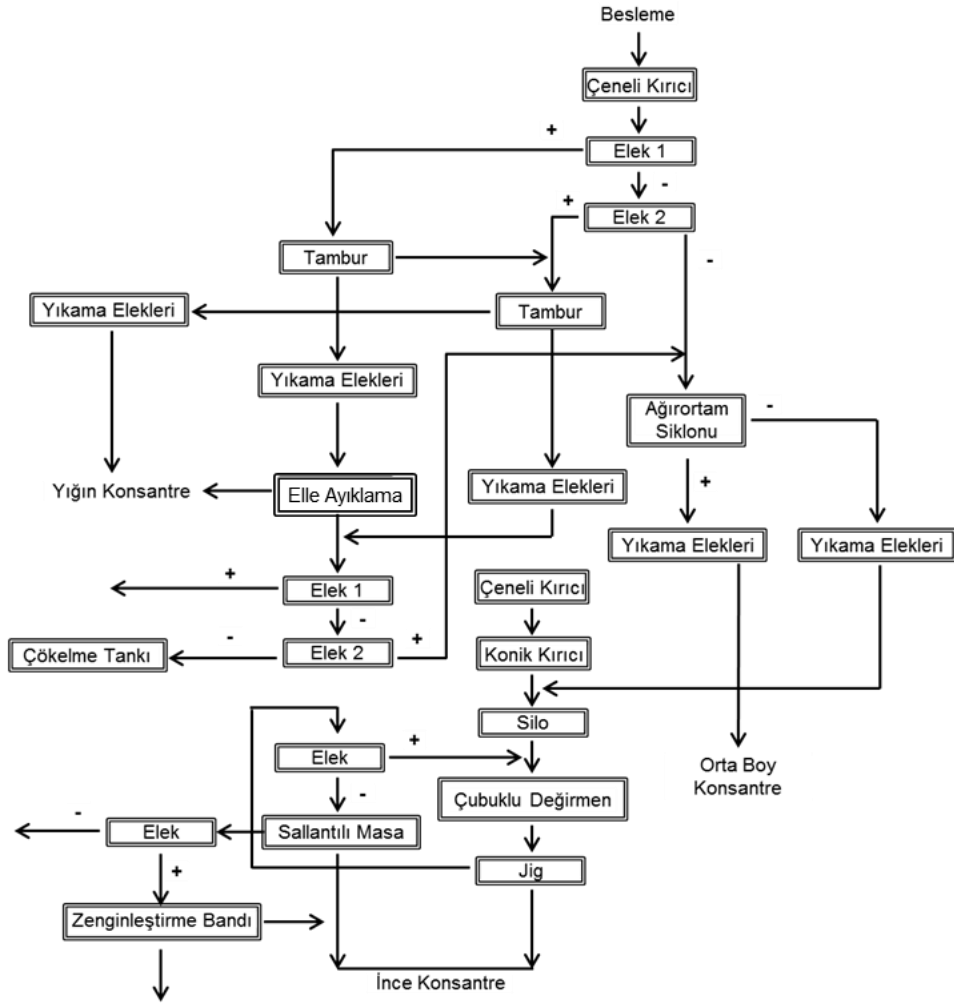
Yer çekimi ile zenginleştirme tesislerinde, zenginleştirilmeye uygun metal ve minerallerin ayrımı, farklı yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanları kullanılarak yapılabilmektedir. Dünya'nın değişik noktalarında, yer çekimi ile zenginleştirme yapmakta olan çok sayıda tesis mevcuttur. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de, farklı ülkelerdeki kromit cevherlerin işlendiği tesislerin, Şekil 5.3'te ise Türkiye'deki

kromit zenginleştirme tesisinin yer çekimi ile zenginleştirme devresine ait örnek akım şemaları verilmektedir.



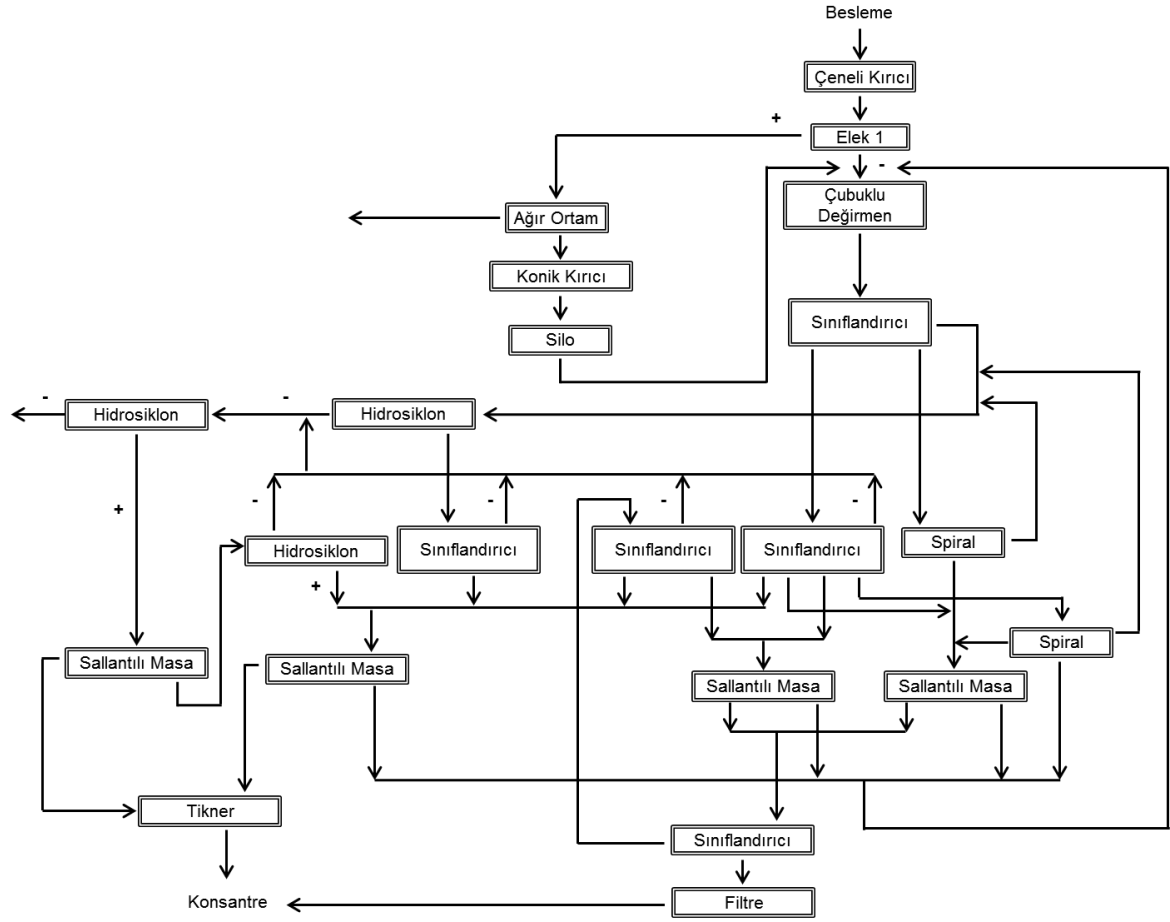
Şekil 5.1: Masinloc Kromit'e ait akım şeması (Filipinler, 1983)¹⁷

¹⁷ Gravity Concentration Technology; Richard O. Burt; 1984; sayfa 444.



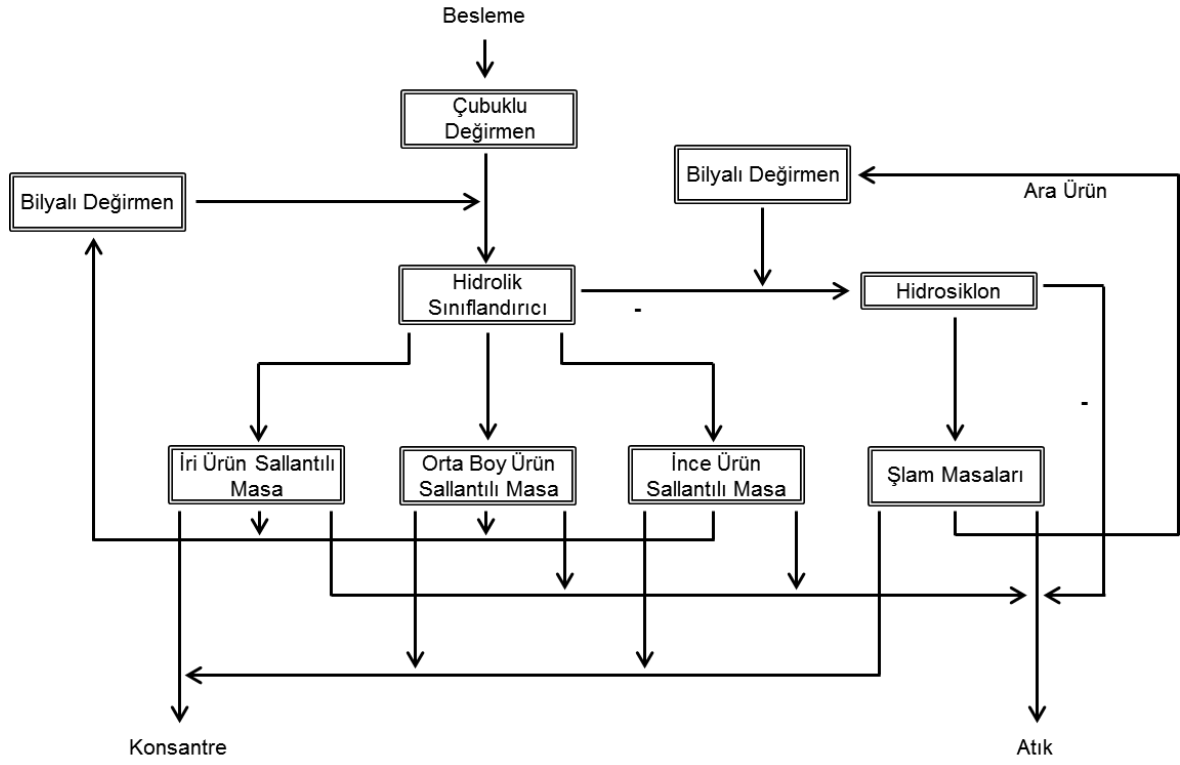
Şekil 5.2: Troodos kromit devresine ait akım şeması (Kıbrıs, 1975)¹⁸

¹⁸ Gravity Concentration Technology; Richard O. Burt; 1984; sayfa 443.



Şekil 5.3: Kavak kromit zenginleştirme tesisine ait akım şeması (Türkiye, 1980)¹⁹

¹⁹ Gravity Concentration Technology; Richard O. Burt; 1984; sayfa 441.



Şekil 5.4: Tipik bir sallantılı masa zenginleştirme akım şeması²⁰

Şekil 5.4'te verilen akım şeması tipik bir sallantılı masa ile zenginleştirme devresini göstermektedir. Türkiye'de kromit zenginleştirme uygulamalarında bu akım şeması esas alınmakta ve yer çekimi ile zenginleştirme tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

²⁰ Will's Mineral Processing Technology; Barry A. Wills, Tim Napier-Munn; 2006; sayfa 240.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Çalışmanın Amacı

Yapılan çalışmada; kapalı devre çalışan bir spiral zenginleştiricide elde edilen ürünlerin, tane boyu bazındaki zenginleşmelerine bağlı olarak spiral performansının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, tüm besleme ve ürünler elek analizine tabii tutulmuş, fraksiyonel bazda elde edilen tenör verilerine göre spiralin, farklı beslemelerdeki zenginleştirme performansı değerlendirilmiştir.

6.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Deney Düzenegi

Spiral zenginleştiriciyle yapılan test çalışmaları, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde hidrolik sınıflandırıcı, spiral zenginleştirici gibi yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanlarından yararlanılmış; besleme malzemesi olarak ise farklı türde krom cevherleri kullanılmıştır.

6.2.1. Besleme Malzemeleri ve Numune Hazırlama

Spiral zenginleştiricide yapılan test çalışmalarında iki farklı türde besleme malzemesi kullanılmıştır. Her iki beslemede temel olarak, kromit cevherinin zenginleştirilmesi hedeflenmiştir. Beslemelerden biri değirmen çıkışı numunesi, diğeri ise suni olarak hazırlanan beslemedir.

Birinci olarak kullanılan besleme; Eskişehir'in Şelale bölgesine ait kromit cevherini zenginleştirmek amacıyla kurulmuş olan bir tesisin çubuklu değirmen çıkışından alınmıştır. Bu malzeme, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarlarına ait, laboratuvar ölçekli çok gözlü hidrolik sınıflandırıcıda sınıflandırıldıktan ve şlamından uzaklaştırıldıktan sonra spiral zenginleştiriciye besleme olarak kullanılmıştır.

İkinci aşamada besleme malzemesi olarak ise; bir kromit zenginleştirme tesisinden alınan kromit konsantresi ile silis kumu üreten bir tesisten alınan kuvars kumunun belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen suni karışım kullanılmıştır. Kütlece %20 kromit konsantresi ve %80 kuvars kumu karıştırılarak hazırlanan bu suni karışım, besleme olarak spiral zenginleştiricide kullanılan bir diğerk malzemedir.

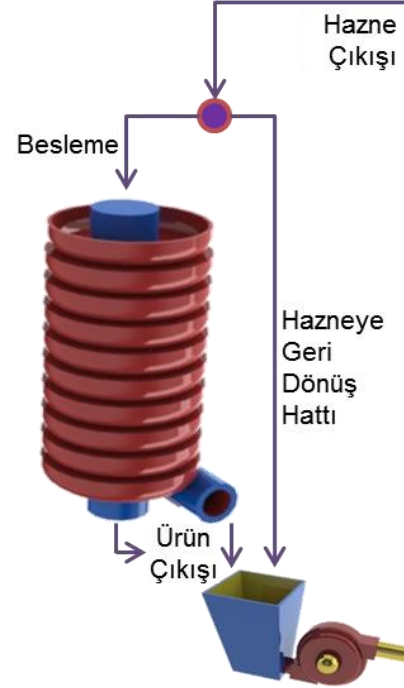
6.2.2. Deneyde Kullanılan Ekipmanlar ve Deney Düzenegi

Yapılan çalışmalarda, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ait, minerallerin ön zenginleştirilmesi amacıyla tercih edilen ve saatte ortalama 1 ton

cevher işleme kapasiteli bir spiral zenginleştirici kullanılmıştır. Mineral Deposit A87D türünde olan bu spiral, 600 mm çapında ve 5 m uzunluğunda olmakla birlikte, merkez kolon etrafında 7 tam tur yapan sarmallardan oluşmaktadır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1: Mineral Deposit A87D türüne ait bir spiral zenginleştirici



Şekil 6.2: Spiral zenginleştiricinin kapalı devre çalışma sistemi

Spiralin sarmalları arasındaki mesafeler birbirine eşit ve 60 cm uzunluğundadır. Sarmalların eğimi ise; merkez kolona yakın olan kısımda 18° iken dış çeperde 10° 'dir. Fiberglas malzemeden yapılan bu spiral zenginleştiricide, yıkama suyu sistemi bulunmamaktadır. Spiral zenginleştiricinin ürün çıkışında iki adet, hareket edebilen bölücü bıçak bulunmaktadır. Bölücü bıçaklar; akıştaki ürün bantlarını bölerek, alınacak olan ürünlerin konsantre, ara ürün ve atık olarak ayrılmasını sağlamaktadırlar. Spiral çıkışında; konsantre, ara ürün ve atığın ürün olarak alınmasını sağlayacak şekilde tasarlanmış 3 farklı ürün çıkış kolu mevcuttur. Spiral sarmallarının yüzeyinde herhangi bir kanal sistemi bulunmazken; akış, düz bir yüzeyde gerçekleşmektedir.

Deney düzeneği, kapalı devre çalışan bir spiral zenginleştirici sistemi kurulacak şekilde tasarlanmıştır. Bu düzeneğe göre palpın, sistem içerisinde sürekli olarak devretmesi hedeflenmiştir (Şekil 6.2).

Hazırlanan deney düzeneğine göre, spiral zenginleştiricinin hemen altında, beslemenin hazırlandığı bir hazne yer almaktadır. Haznenin tam ortasında, beslemenin sürekli olarak karışmasını sağlayarak palpın çökmesini engelleyen bir karıştırıcı bulunmaktadır. Burada homojen olarak karışan besleme, pompa yardımıyla spiralin üstüne gönderilmekte ve besleme akışının oluşması sağlanmaktadır. Spiral düzeneği kapalı devre sistemine göre kurulduğundan, numune alınmayan zamanlarda ürünler tekrar hazneye döndürülmekte ve yeniden besleme olarak kullanımına fırsat verilmektedir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3: Spiral haznesi ve ürün çıkışları

Spiralin besleme koluna, beslemeyi iki ayrı hatta ayıran vana sistemi kurulmuştur. Buna göre; spiralin besleme kutusuna malzeme gönderilmek istendiğinde, besleme hattına ait vana açılarak akışın spiral yüzeyi üzerine dağılması sağlanmaktadır. Spiralin üzerine besleme gönderilmeyeceği zamanlarda ise, besleme hattı vanası kapatılıp geri dönüş hattına ait vana açılarak, malzemenin hazneye yeniden döndürülmesi sağlanmaktadır (Şekil 6.4).

Bu yöntem sayesinde palp akışının sürekli olarak devretmesi sağlandığından, malzemenin hazne içerisine çökmesinin de önüne geçilmiş olmaktadır. Aynı zamanda, her iki vananın birden açıklıkları ayarlanarak, spiral üzerine gönderilen beslemenin debisinde değişiklik yapılması mümkündür.



Şekil 6.4: Spiral zenginleştiriciye ait besleme kolları

6.3. Deney Koşulları

DeneySEL çalışmalar, iki farklı besleme malzemesi kullanılarak aynı düzenek üzerinde gerçekleştirilmiş, farklı debi ve bıçak ayarlarında numune alma çalışmaları yapılmıştır.

Bıçak ayarları her iki deneyde de aynı amaç doğrultusunda, benzer şekillerde ayarlanmıştır. Buna göre ileride bahsi geçecek B1, B2 ve B3 bıçak ayarlarının açıklamaları Çizelge 6.1'deki gibidir.

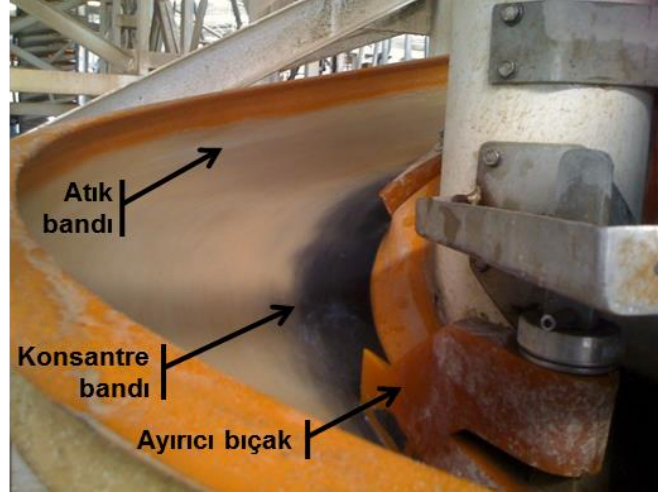
Çizelge 6.1: Bölücü bıçak pozisyonları

Bıçak Pozisyonları	Amaç
B1	Konsantrede yüksek tenör (Temiz konsantre)
B2	Kromit + Ara ürün bandı
B3	Konsantrede yüksek verim (Temiz atık)

B1 ayarında konsantre alınacak olan bıçak ayarı, yüksek tenör elde etmek amacıyla yalnızca, zenginleşmiş olan kromit bandını kesecek şekilde ayarlanmıştır. Bu amaçla bıçak, merkez kolona yakın olacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 6.5). Ürün olarak yalnızca konsantre ve atık alınması hedeflendiğinden; diğer bıçak kapalı olarak konumlandırılmış ve ara ürün çıkışına malzemenin gitmesi önlenmiştir. Bu şekilde pozisyonları belirlenen bıçaklarla, yalnızca konsantre ve atığın alınması sağlanmıştır.

B2 pozisyonu; konsantreye, kromit bandıyla birlikte ara ürün bandının da bir kısmının alınmasını sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Buna göre B1 ayarında elde

edilen konsantreye göre daha düşük tenör alınması beklenirken, verimin bir miktar artırılması hedeflenmiştir. Diğer bıçak ayarı da bu koşula uygun atık alınmasını sağlayacak şekilde kapalı konumlandırılmıştır.



Şekil 6.5: Bölücü bıçak ve ürün bantları

B3 pozisyonunda ise konsantre alınması hedeflenen bıçak ayarı, merkez kolondan uzaklaşacak şekilde açılarak konumlandırılmıştır. Diğer bıçak ayarı, yukarıda belirtilenlerle aynı sebepten ötürü kapalı konuma alınmıştır. Bu koşullara göre temiz bir atık malzemesi alınması sağlanırken; konsantrede, tenörü düşük ancak verimi yüksek bir malzemenin alınması hedeflenmiştir.

Numune alma çalışmaları dikkatli bir şekilde, manuel olarak yapılmıştır. Temsili örneklerin alınabilmesi için tüm ürün akışları aynı anda kesilerek, eşit süreler boyunca numuneler alınmıştır.

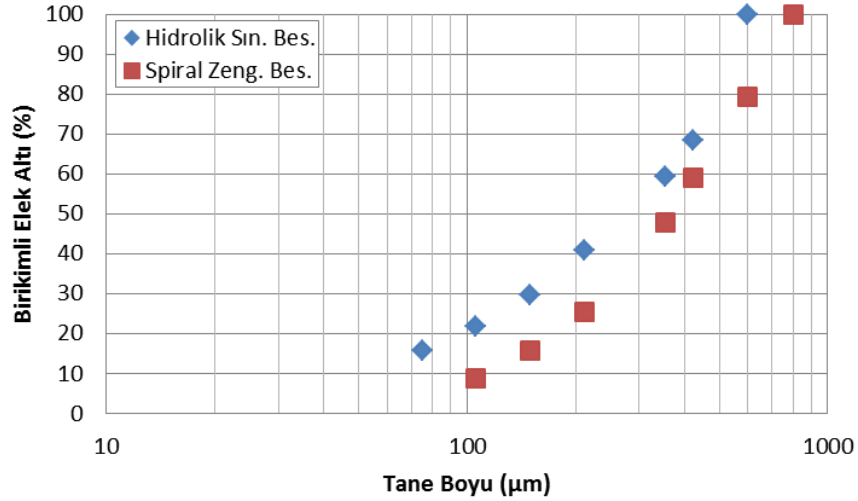
Yapılan tüm bu numune alma çalışmaları, sabit bir debi ayarında gerçekleştirilmiştir. Aynı işlemler, debi artırılıp azaltıldığı ve beslemenin katı içeriğinin farklı olduğu durumlarda da tekrarlanmıştır. Spiral zenginleştiricinin kontrol panelinde yer alan pompa ve karıştırıcı hızı ayarı sayesinde, palpın spiral üzerindeki hızı kontrollü bir şekilde artırılıp azaltılabilmektedir. Her iki besleme ile de farklı debilerde çalışmalar yürütülmüştür. Kromit cevheri ile yapılan testlerde 3; suni besleme ile yapılan testlerde ise 5 farklı debi ayarında çalışılmıştır.

6.3.1. Kromit Cevheri ile Yapılan Çalışmaların Koşulları

Yapılan çalışmaların ilkinde değirmen çıkışı kromit cevheri, spiral zenginleştiricinin beslemesi olarak kullanılmıştır. Besleme ilk olarak hidrolik sınıflandırıcıya

beslenmiş ve spirale gelerek akışı bozacağı düşünölen ince tanelerden (-75 µm) uzaklaştırılmış, spiralin zenginleştirmesi için uygun boyutlarda olan bir besleme elde edilmiştir.

Şekil 6.6'daki grafik değerlendirildiğinde, hidrolik sınıflandırıcıya besleme olarak gönderilen değirmen çıkışı malzemesinin kütlece %21.84'ünün 106 µm'dan ince olduğu görölmektedir. Sınıflandırılıp şlamı atıldıktan sonra spiral beslemesi olarak kullanılmaya uygun hale gelen hidrolik sınıflandırıcı ürünlerinin ise kütlece yalnızca %8.91'inin 106 µm'dan ince olduğu görölmektedir. Yapılan kromit analizlerine göre, hidrolik sınıflandırıcı beslemesinin Cr₂O₃ içeriği %5.62, spiral zenginleştirici kromit beslemesinin Cr₂O₃ içeriği ise %5.48 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.6: Hidrolik sınıflandırıcı ve spiral zenginleştiricinin beslemelerine ait tane boyu dağılımları

Eskişehir'in Şelale bölgesinden alınan bu kromit cevherine ait tane boyu bazındaki serbestleşme dereceleri Çizelge 6.2'de verilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, beklenildiği üzere tane boyu inceldikçe serbestleşme derecesinin arttığı görölmektedir.

Çizelge 6.2: Şelale cevherine ait serbestleşme dereceleri²¹

Tane Boyu (µm)	Serbestleşme Derecesi (%)
-850+600	24.30
-600+425	36.18
-425+300	50.15
-300+212	60.95
-212+150	76.37

Değirmen çıkışı kromit numunesinin şlamı hidrolik sınıflandırıcıda atıldıktan sonra, malzeme kurutulmuştur. Katı haldeki numune, belli oranda su ile karıştırılarak hazneye beslenmiştir. Karıştırıcılı haznede hazırlanan palp, istenen katı içeriğine ulaştığı zaman, pompa yardımıyla spiralin üstüne beslenmiştir. Palp akışının spiral yüzeyine düzenli bir şekilde yayıldığından emin olmak için, malzemenin sistem içerisinde birkaç tur devretmesi beklenmiştir. Sistem dengeye geldikten sonra, spiral zenginleştirici çıkışında yer alan bölücü bıçaklara B1 pozisyonu verilmiştir. Bu aşamadan sonra numuneler, spiral zenginleştiricinin ürün çıkışından eş zamanlı olarak alınmıştır. Yaklaşık 3 saniye boyunca ürün kollarından konsantre ve atık olarak numuneler alındıktan sonra, spiral üzerindeki akışın tekrar dengeye gelmesi için bir süre daha beklenmiştir. Aynı işlemler daha sonra, bölücü bıçakların B2 ve B3 pozisyonları için de ayrı ayrı tekrar edilmiştir.

Bu şekilde gerçekleştirilen deney çalışmaları, farklı besleme hızlarında tekrarlanmıştır. Spiral zenginleştiricinin pompa hızı değiştirilerek, besleme debisinin artırılıp azaltılması sağlanmıştır. Kromit cevheri ile yapılan deneylerde 3 farklı debide çalışmalar gerçekleştirilmiştir (D1, D2, D3). Beslemenin kütlice katı oranında yapılan değişiklikler ile de test çalışmaları tamamlanmıştır. Kromit cevheri deney koşullarına ait bilgiler Çizelge 6.3'te yer almaktadır.

²¹ "Dedeman Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. Adana Krom Cevheri Zenginleştirme Ve Tesis Tasarımı Çalışmaları" raporundan alınmıştır, sayfa 12.

Çizelge 6.3: Kromit cevherinin spiral zenginleştiricideki farklı debilerine ait deney koşulları

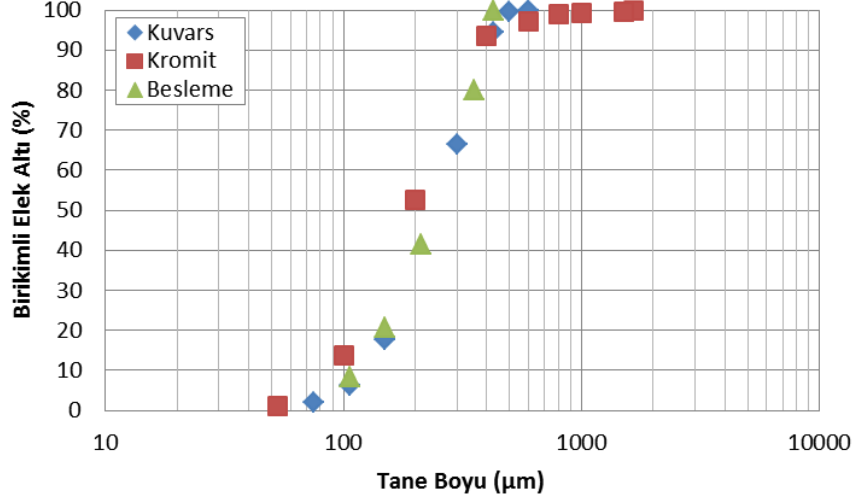
Debi Kodu	Debi (m ³ /h)	Debi (t/h)	Katı içeriği (%)	Cr ₂ O ₃ (%)
D1	5.29	7.36	45.33	5.86
D2	2.77	3.69	39.65	5.46
D3	2.99	3.74	33.89	7.18

Alınan tüm ürünlerin kütlece katı oranları hesaplanmış, elek analizine tabii tutulmuş ve her bir fraksiyona kromit analizi uygulanmıştır. Elek analizinde konsantre numunesi için 600µm, 425µm, 355µm, 212µm, 150µm ve 106µm'luk elekler kullanılırken; atık numunesi için bunlara ek olarak 800µm'luk elek de kullanılmıştır.

6.3.2. Suni Karışım ile Yapılan Çalışmaların Koşulları

Spiral zenginleştirici ile yapılan bir diğer çalışma; suni bir karışım hazırlanarak besleme oluşturulması ve oluşturulan beslemenin spiral zenginleştiricideki ayırım performansının incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Suni karışımı hazırlamak amacıyla; Dedeman Madencilğe ait Gölbaşı krom konsantre tesisinden kromit konsantresi ve Bilecik'teki Camış Madencilik tesisinden de silis kumu temin edilmiştir. Bu numuneler, çok ince tanelerinden arındırılmış ve spiral zenginleştiricide kullanıma uygun tane boyu aralıklarında ayarlanarak kullanıma uygun hale getirilmiştir. Kullanılacak olan numuneler belirli oranlarda karıştırılarak suni bir spiral beslemesi elde edilmiştir. %48.13 Cr₂O₃ içerikli kromit konsantresinden kütlece %20 ve %96.56 SiO₂ içerikli silis kumundan da kütlece %80 miktarlarında kullanılmış ve %9.63 Cr₂O₃ içerikli suni besleme hazırlanmıştır. Şekil 6.7'de kuvars kumu ve kromit konsantresi ile bu malzemeler kullanılarak hazırlanan suni beslemeye ait tane boyu dağılım grafiği verilmektedir. Buna göre; kuvars kumunun P₈₀ değerinin 361 µm, kromit konsantresinin P₈₀ değerinin 334 µm ve elde edilen suni beslemenin P₈₀ değerinin ise 355 µm olduğu görülmektedir.



Şekil 6.7: Suni beslemeye ait tane boyu dağılımı

Elde edilen beslemenin tane boyu yeterince iri ve 106 µm'dan ince tanelerin kütlece miktarı yaklaşık olarak %10 olduğundan, şlam atmaya gerek duyulmamıştır.

Bir önceki sistemde olduğu gibi; katı haldeki numune, belli oranda su ile karıştırılarak hazneye beslenmiştir. Karıştırıcılı haznede hazırlanan palp, istenen katı içeriğine ulaştığı zaman, pompa yardımıyla spiralın üstüne beslenmiştir. Palp akışının spiral yüzeyine düzenli bir şekilde yayıldığından emin olmak için, malzemenin sistem içerisinde birkaç tur devretmesi beklenmiştir. Sistem dengeye geldikten sonra, spiral zenginleştirici çıkışında yer alan bölücü bıçaklara B1 pozisyonu verilmiştir. Bu aşamadan sonra numuneler, spiral zenginleştiricinin ürün çıkışından eş zamanlı olarak alınmıştır. Yaklaşık 3 saniye boyunca ürün kollarından konsantre ve atık olarak numuneler alındıktan sonra, spiral üzerindeki akışın tekrar dengeye gelmesi için bir süre daha beklenmiştir. Aynı işlemler daha sonra, bölücü bıçakların B2 ve B3 pozisyonları için de ayrı ayrı tekrar edilmiştir.

Bu şekilde gerçekleştirilen deney çalışmaları, farklı besleme hızlarında tekrarlanmıştır. Spiral zenginleştiricinin pompa hızı değiştirilerek, besleme debisinin artırılıp azaltılması sağlanmıştır. Suni besleme ile yapılan deneylerde 5 farklı debide çalışmalar gerçekleştirilmiştir (SD1, SD2, SD3, SD4, SD5). Beslemenin kütlece katı oranında yapılan değişiklikler ile de test çalışmaları tamamlanmıştır. Suni besleme ile yapılan deney koşullarına ait bilgiler Çizelge 6.4'te yer almaktadır.

Çizelge 6.4: Suni beslemenin spiral zenginleştiricideki farklı debilerine ait deney koşulları

Debi Kodu	Debi (m³/h)	Debi (t/h)	Katı içeriği (%)	Cr₂O₃ (%)
SD1	5.46	8.10	48.54	8.97
SD2	1.93	2.80	48.49	8.40
SD3	3.35	4.50	41.50	8.68
SD4	2.28	4.40	38.23	8.69
SD5	3.56	4.40	29.11	8.98

Alınan tüm ürünlerin kütlece katı oranları hesaplanmış, elek analizine tabii tutulmuş ve her bir fraksiyona kromit analizi uygulanmıştır. Elek analizinde konsantre ve atık numuneleri için 425µm, 355µm, 212µm, 150µm ve 106µm'luk elekler kullanılmıştır.

7. DENEYSEL SONUÇLAR

Kromit beslemesi ve suni besleme kullanılarak farklı debi ayarlarında ve farklı bıçak pozisyonlarında birçok test çalışması yapılmış ve numuneler alınmıştır. Alınan numuneler elek analizine tabii tutulmuş ve her bir fraksiyonun kromit analizi yapılmıştır. Her bir koşul için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Sonuçlar kısmında “TYO*” olarak verilen sayılar, tenör yükseltgeme oranlarını ifade etmektedir. Haznede bulunan besleme numunelerinin tenörü kontrol altında tutulmaya çalışılsa da, sistemden sürekli olarak numune alınıp sisteme ek besleme yapılması sonucunda, beslemenin tenöründe değişiklikler olabilmektedir. Bu sebeple, Cr₂O₃ içeriklerine bakılarak yorum yapılması yerine zenginleştirme oranlarına bağlı değerlendirme yapılması daha doğru olacaktır.

7.1. Kromit Cevheri ile Yapılan Çalışmaların Sonuçları

Kromit cevheri ile yapılan çalışmalarda farklı debi ve bıçak ayarlarında alınan numunelerin ağırlıkları, Cr₂O₃ içerikleri, verimleri ve tenör yükseltgeme oranları Çizelge 7.1, Çizelge 7.2 ve

Çizelge 7.3'te verilmektedir.

Çizelge 7.1: Kromit beslemesinin debi 1 koşulunda farklı bıçak pozisyonlarından alınan ürünlere ait sonuçlar

D1	B1	D1B1	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	6.93	33.79	40.78	5.89
Atık	93.07	3.65	59.22			
Toplam	100.00	5.74	100.00			
D1	B2	D1B2	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	9.60	28.81	46.39	4.83
		Atık	90.40	3.54	53.61	
		Toplam	100.00	5.96	100.00	

Çizelge 7.2: Kromit beslemesinin debi 2 koşulunda farklı bıçak pozisyonlarından alınan ürünlere ait sonuçlar

D2	B1	D2B1	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	9.99	26.26	49.37	4.94
		Atık	90.01	2.99	50.63	
		Toplam	100.00	5.32	100.00	
	B2	D2B2	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	17.62	18.22	58.44	3.32
		Atık	82.38	2.77	41.56	
		Toplam	100.00	5.49	100.00	
	B3	D2B3	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	40.64	7.89	65.13	1.60
		Atık	59.36	2.89	34.87	
		Toplam	100.00	4.92	100.00	

Çizelge 7.3: Kromit beslemesinin debi 3 koşulunda farklı bıçak pozisyonlarından alınan ürünlere ait sonuçlar

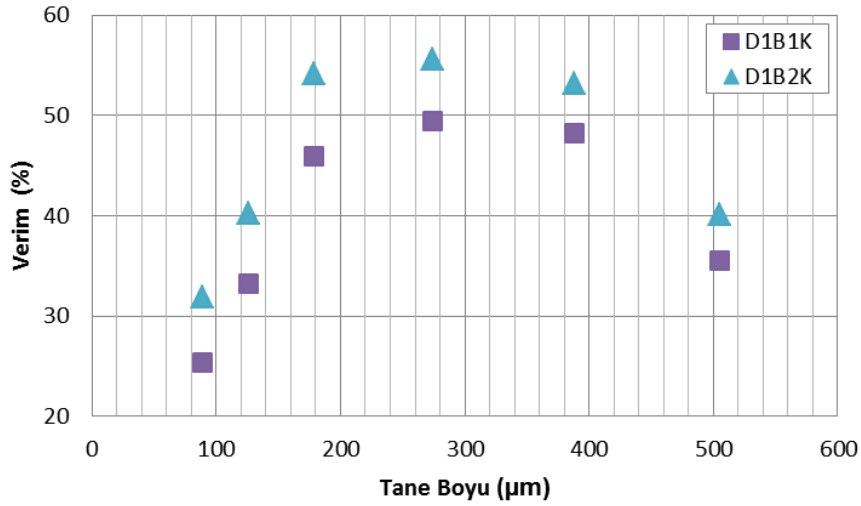
D3	B1	D3B1	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	12.79	26.41	55.15	4.31
		Atık	87.21	3.15	44.85	
		Toplam	100.00	6.13	100.00	
	B2	D3B2	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	19.71	19.78	61.12	3.10
		Atık	80.29	3.09	38.88	
		Toplam	100.00	6.38	100.00	
	B3	D3B3	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	32.54	12.23	68.60	2.11
		Atık	67.46	2.70	31.40	
		Toplam	100.00	5.80	100.00	

7.1.1. Kromit Cevherinden Elde Edilen Konsantre Numunelerine Ait Sonuçlar

Kromit cevherinde konsantre (K) olarak alınan numunelere yapılan elek analizi ve her bir fraksiyona yapılan kromit analizi sonuçlarına göre, tane boyu bazında elde edilen verimler hesaplanmıştır.

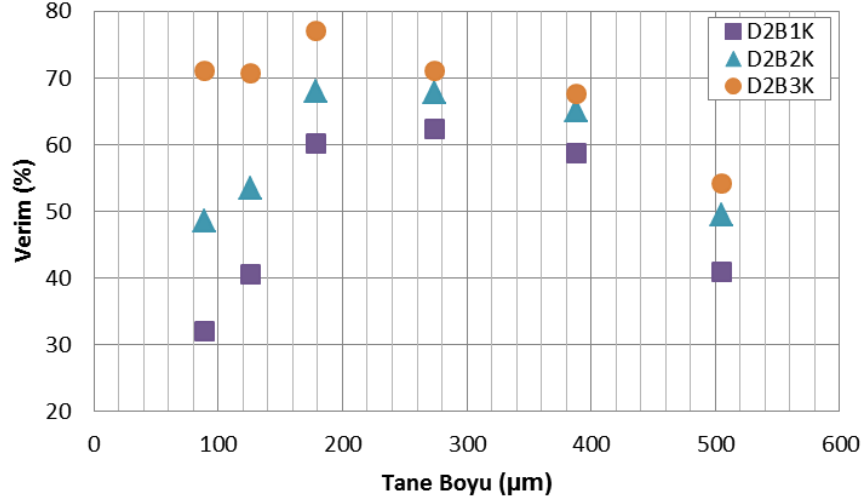
şekil 7.1, şekil 7.2 ve şekil 7.3'da verilen grafiklerde farklı debi ve bıçak ayarlarında, konsantrelerin tane boyu bazındaki verimleri gösterilmektedir.

şekil 7.1'de D1 ayarında alınan konsantreye ait verim değerleri verilmektedir. Diğer debi ayarlarındaki uygulamadan farklı olarak D1 ayarında, yalnızca iki bıçak ayarında çalışılmış, B3 ayarı uygulanmamıştır. Bu koşullarda konsantrenin tane boyu bazındaki davranımı incelenecek olursa; 250 μm 'a kadar tane boyu arttıkça verimin arttığı, bu tane boyundan sonra ise verimin düşüşe geçtiği gözlenmektedir.



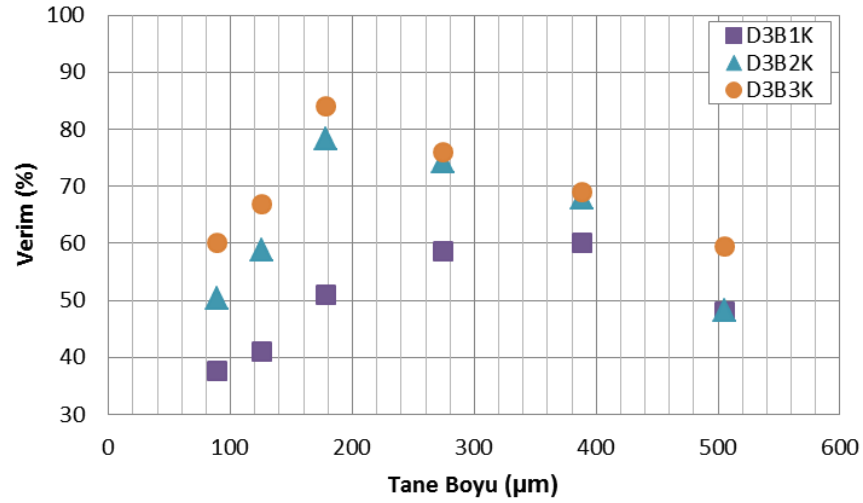
şekil 7.1: Kromit beslemesinin debi 1 koşulunda alınan konsantrelerine ait tane boyu bazında verim sonuçları

şekil 7.2'de D2 ayarında 3 farklı bıçak ayarında elde edilen sonuçlar verilmektedir. Beklendiği üzere bölücü bıçak pozisyonu merkez kolondan uzaklaştığı, verim değerlerinde artış olduğu gözlenmektedir. Verimin bu koşulda en yüksek %77.06 değerine ulaştığı bilinmektedir.



Şekil 7.2: Kromit beslemesinin debi 2 koşulunda alınan konsantrelerine ait tane boyu bazında verim sonuçları

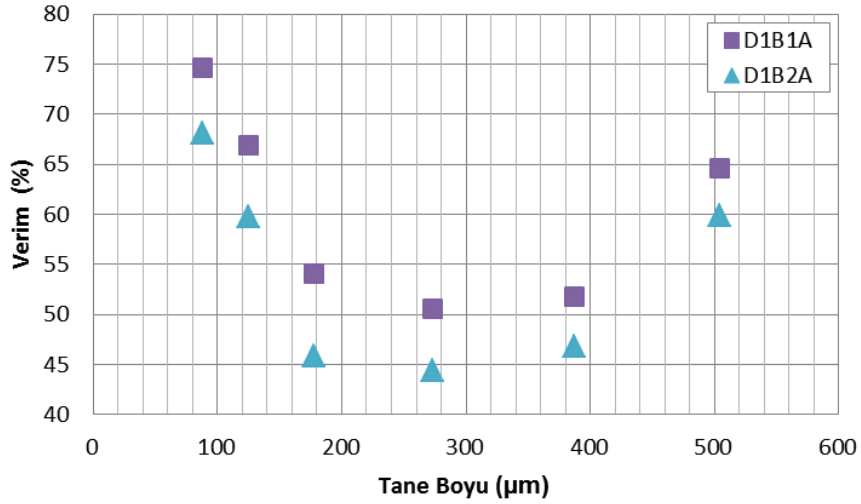
Şekil 7.3'te ise D3 ayarındaki veriler sunulmaktadır. Kromit cevherindeki diğer konsantre sonuçları gibi bu verilerde de tane boyu-verim davranımı benzer sonuçlar ortaya koymaktadır. D3 ayarında elde edilen verim değerlerinin, diğer konsantre sonuçlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 7.3: Kromit beslemesinin debi 3 koşulunda alınan konsantrelerine ait tane boyu bazında verim sonuçları

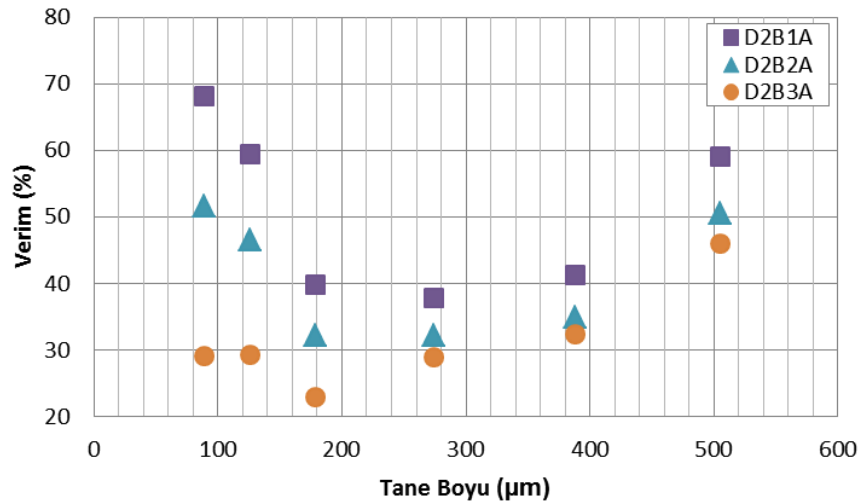
7.1.2. Kromit Cevherinden Elde Edilen Atık Numunelerine Ait Sonuçlar

Şekil 7.4, Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'te verilen grafiklerde ise farklı debi ve bıçak ayarlarında, kromit cevherinin atıklarına (A) ait tane boyu bazındaki verimleri gösterilmektedir.



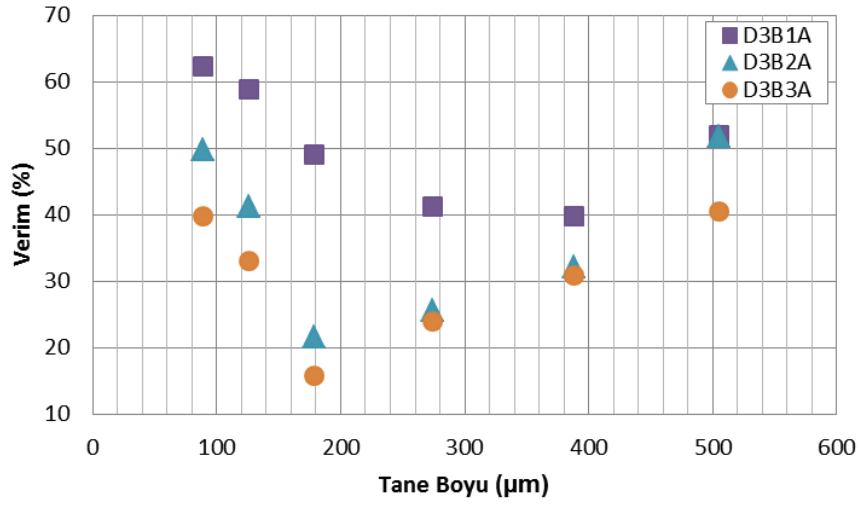
Şekil 7.4: Kromit beslemesinin debi 1 koşulunda alınan atıklarına ait tane boyu bazında verim sonuçları

Atığa ait grafikler değerlendirildiğinde, kromit veriminin en düşük olduğu tane boyu aralığının 160 µm ile 300 µm arasında olduğu görülmektedir. Çok ince ve iri tane boylarında ise verimin arttığı gözlenmektedir.



Şekil 7.5: Kromit beslemesinin debi 2 koşulunda alınan atıklarına ait tane boyu bazında verim sonuçları

Farklı debilerde uygulanan çalışmalar değerlendirildiğinde, atıktaki en düşük verim değerlerinin Şekil 7.6'da gösterildiği gibi D3 ayarında elde edildiği görülmektedir.



Şekil 7.6: Kromit beslemesinin debi 3 koşulunda alınan atıklarına ait tane boyu bazında verim sonuçları

7.2. Suni Karışım ile Yapılan Çalışmaların Sonuçları

Suni karışım ile yapılan çalışmalarda farklı debi ve bıçak ayarlarında alınan numunelerin ağırlıkları, Cr_2O_3 içerikleri, verimleri ve tenör yükseltgeme oranları Çizelge 7.4, Çizelge 7.5, Çizelge 7.6, Çizelge 7.7 ve Çizelge 7.8 verilmektedir.

Çizelge 7.4: Suni beslemenin debi 1 koşulunda farklı bıçak pozisyonlarından alınan ürünlere ait sonuçlar

SD1	B1	D1B1	Ağırlık (%)	Cr_2O_3 (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	5.29	48.38	23.74	4.49
		Atık	94.71	8.68	76.26	
		Toplam	100.00	10.78	100.00	
	B2	D1B2	Ağırlık (%)	Cr_2O_3 (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	7.12	47.90	38.12	5.35
		Atık	92.88	5.96	61.88	
		Toplam	100.00	8.95	100.00	
	B3	D1B3	Ağırlık (%)	Cr_2O_3 (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	12.11	43.90	66.16	5.46
		Atık	87.89	3.09	33.84	
		Toplam	100.00	8.03	100.00	

Çizelge 7.5: Suni beslemenin debi 2 koşulunda farklı bıçak pozisyonlarından alınan ürünlere ait sonuçlar

SD2	B1	D2B1	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	12.34	43.08	63.92	5.18
		Atık	87.66	3.42	36.08	
	Toplam	100.00	8.32	100.00		
B2	D2B2	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO*	
	Konsantre	22.75	33.82	90.88	4.00	
	Atık	77.25	1.00	9.12		
	Toplam	100.00	8.47	100.00		

Çizelge 7.6: Suni beslemenin debi 3 koşulunda farklı bıçak pozisyonlarından alınan ürünlere ait sonuçlar

SD3	B1	D3B1	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	13.01	43.83	68.41	5.26
		Atık	86.99	3.03	31.59	
		Toplam	100.00	8.34	100.00	
	B2	D3B2	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	20.13	36.74	85.63	4.25
		Atık	79.87	1.55	14.37	
		Toplam	100.00	8.64	100.00	
	B3	D3B3	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	27.77	28.46	87.00	3.13
		Atık	72.23	1.64	13.00	
		Toplam	100.00	9.09	100.00	

Çizelge 7.7: Suni beslemenin debi 4 koşulunda farklı bıçak pozisyonlarından alınan ürünlere ait sonuçlar

SD4	B1	D4B1	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	18.22	41.45	80.06	4.39
		Atık	81.78	2.30	19.94	
		Toplam	100.00	9.44	100.00	
	B2	D4B2	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	21.57	35.35	86.94	4.03
		Atık	78.43	1.46	13.06	
		Toplam	100.00	8.77	100.00	
	B3	D4B3	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	28.06	28.54	91.48	3.26
		Atık	71.94	1.04	8.52	
		Toplam	100.00	8.75	100.00	

Çizelge 7.8: Suni beslemenin debi 5 koşulunda farklı bıçak pozisyonlarından alınan ürünlere ait sonuçlar

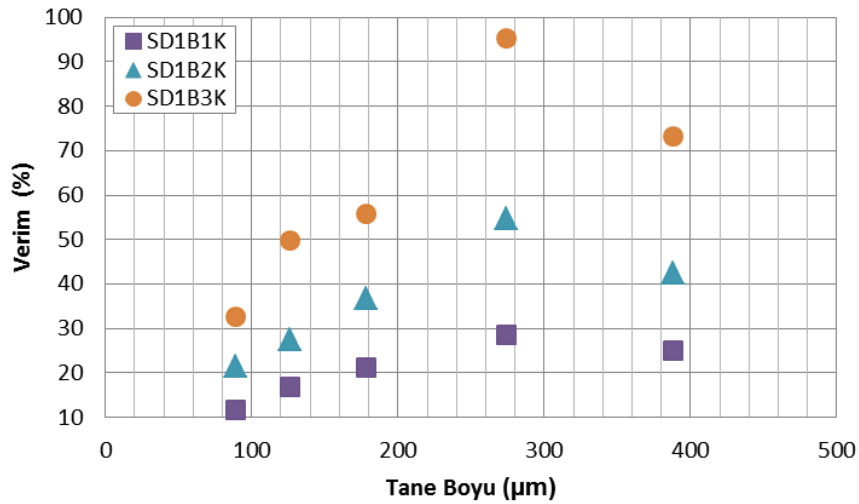
SD5	B1	D5B1	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	19.10	39.26	84.42	4.42
		Atık	80.90	1.71	15.58	
		Toplam	100.00	8.88	100.00	
	B2	D5B2	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	26.04	32.10	90.24	3.46
		Atık	73.96	1.22	9.76	
		Toplam	100.00	9.26	100.00	
	B3	D5B3	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO*
		Konsantre	32.87	24.76	92.69	2.82
		Atık	67.13	0.96	7.31	
		Toplam	100.00	8.78	100.00	

7.2.1. Suni Karışımdan Elde Edilen Konsantre Numunelerine Ait Sonuçlar

Suni karışım oluşturularak yapılan deneylerde, konsantre (K) olarak alınan numunelere yapılan elek analizi ve her bir fraksiyona yapılan kromit analizi sonuçlarına göre, tane boyu bazında elde edilen verimler hesaplanmıştır. SD2 ayarında diğer debi ayarlarındaki uygulamadan farklı olarak, yalnızca iki bıçak ayarında çalışılmış, B3 ayarı uygulanmamıştır.

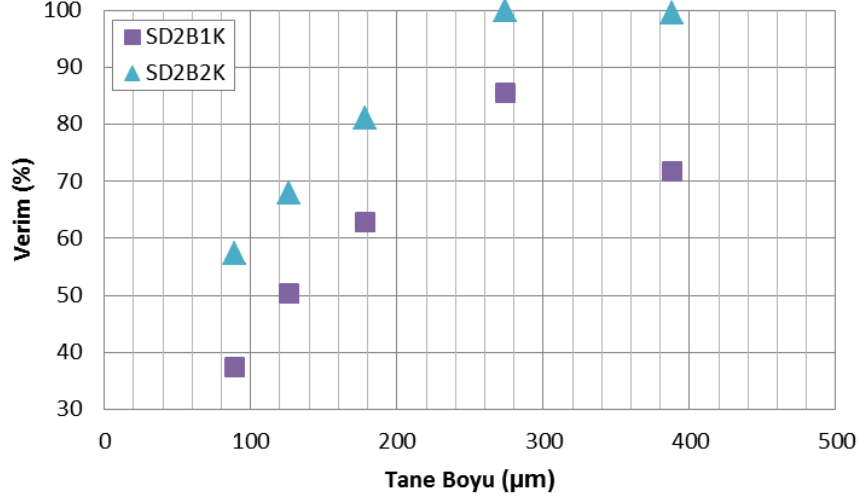
Şekil 7.7, Şekil 7.8, Şekil 7.9, Şekil 7.10 ve Şekil 7.11’de verilen grafiklerde farklı debi ve bıçak ayarlarında, konsantrelerin tane boyu bazındaki verimleri gösterilmektedir.

Şekil 7.7’de tane boyu arttıkça verimde de artan bir davranım görülmektedir. Ancak 250 µm sonrasında verim değerlerinde bir düşüş yaşandığı görülmektedir.



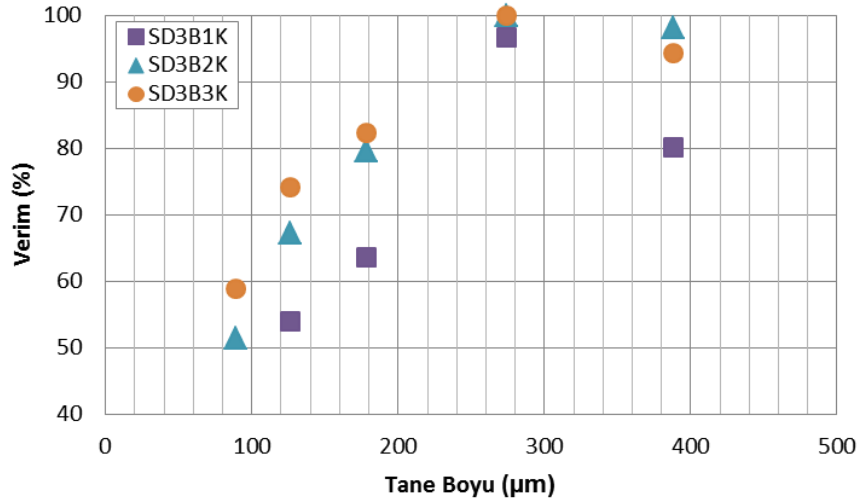
Şekil 7.7: Suni beslemenin debi 1 koşulunda alınan konsantrelerine ait tane boyu bazında verim sonuçları

Şekil 7.8’de gösterilen grafikte D2’ye ait konsantre sonuçları yer almaktadır. Bu uygulamada yalnızca iki farklı bölücü bıçak pozisyonunda testler yapılmıştır. Tane boyu – verim ilişkisinin D1 çalışmasıyla benzer davranım sergilediği görülmektedir.



Şekil 7.8: Suni beslemenin debi 2 koşulunda alınan konsantrelerine ait tane boyu bazında verim sonuçları

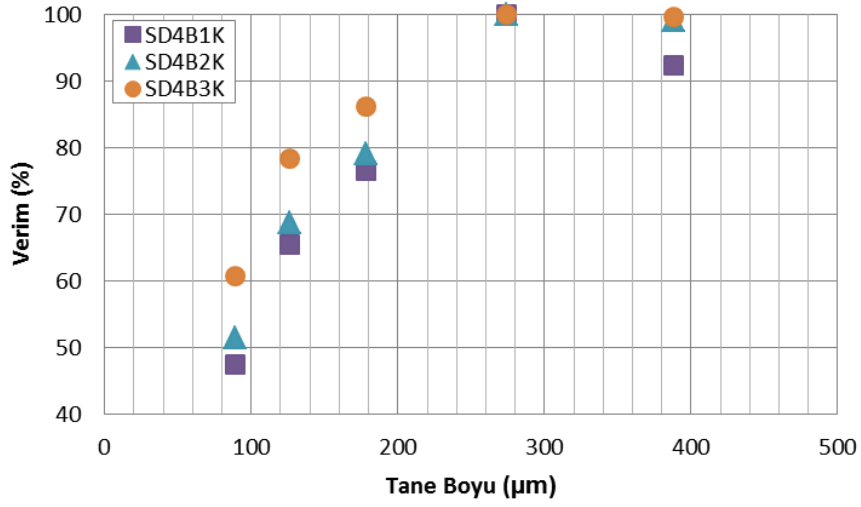
D3 koşuluna ait konsantre sonuçları Şekil 7.9'da verilmektedir. İnce boylarda yalnızca %50'lik bir kısmın konsantre olarak alınabildiği görülmektedir. Tane boyu arttıkça verimde de artışın olduğu, 270 µm tane boyunun ise tamamının kromit konsantresi olarak kazanıldığı görülmektedir.



Şekil 7.9: Suni beslemenin debi 3 koşulunda alınan konsantrelerine ait tane boyu bazında verim sonuçları

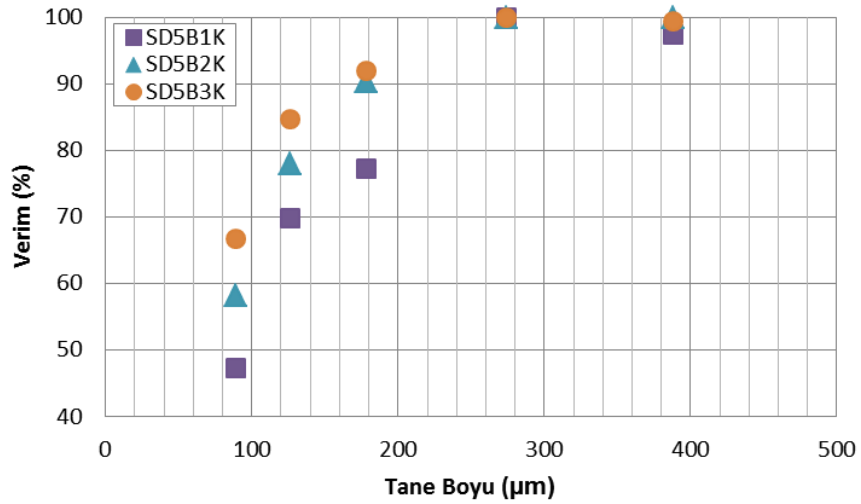
Suni beslemeyle yapılan D4 çalışmalarında konsantreye ait tane boyu – verim grafiği Şekil 7.10'da verilmektedir. Bölücü bıçak pozisyonuna bağlı olarak aynı debide farklı verim sonuçlarının alındığı görülmektedir. Önceki konsantre

grafiklerinde olduğu gibi, bu grafikte de verim davranımının tane boyu arttıkça artan şekilde olduğu görülmektedir.



Şekil 7.10: Suni beslemenin debi 4 koşulunda alınan konsantrelerine ait tane boyu bazında verim sonuçları

Şekil 7.11’de D5 koşulunda yapılan testlerin sonuçları yer almaktadır. Buna göre verim grafiğindeki eğilimin önceki konsantre grafikleriyle benzerlik gösterdiği görülmektedir.

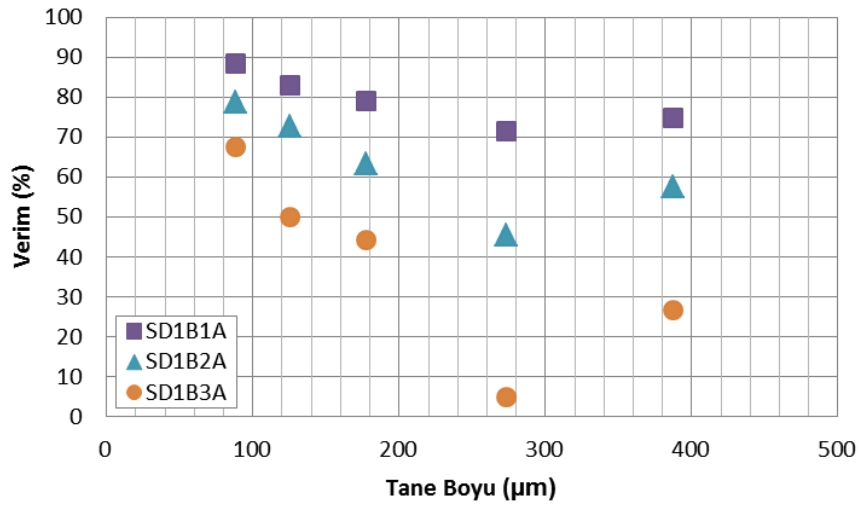


Şekil 7.11: Suni beslemenin debi 5 koşulunda alınan konsantrelerine ait tane boyu bazında verim sonuçları

7.2.2. Suni Karışımdan Elde Edilen Atık Numunelerine Ait Sonuçlar

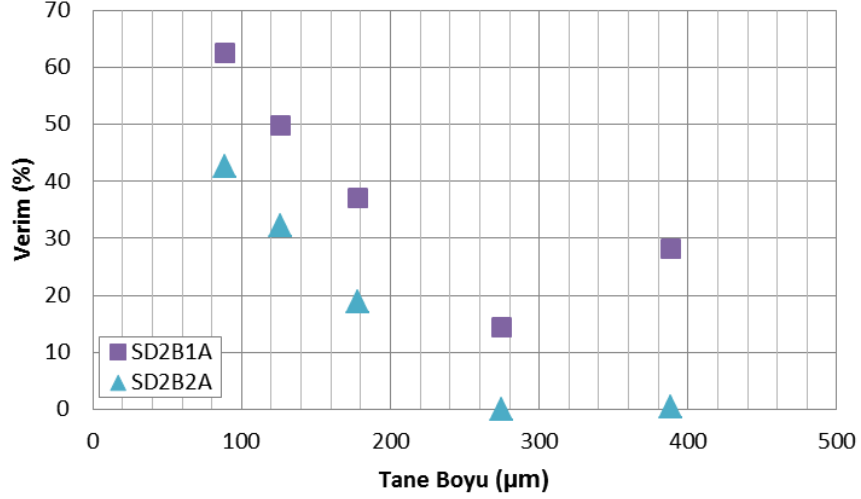
Şekil 7.12, Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15 ve Şekil 7.16’te verilen grafiklerde ise farklı debi ve bıçak ayarlarında, suni karışımın atıklarına (A) ait tane boyu bazındaki verimleri gösterilmektedir.

Şekil 7.12’deki atık sonuçları değerlendirildiğinde B3 pozisyonu haricinde atıktaki her bir tane boyunda %40’ın üzerinde seyreden kromit verimlerinin elde edildiği görülmektedir.



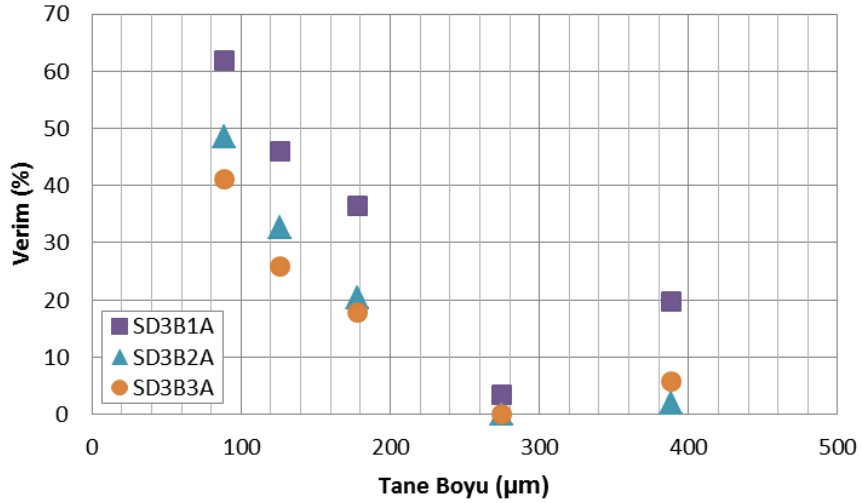
Şekil 7.12: Suni beslemenin debi 1 koşulunda alınan atıklarına ait tane boyu bazında verim sonuçları

Şekil 7.13’te D2 koşulunda verim değerlerinin bir önceki grafiğe göre düştüğü görülmektedir. İnce tane boylarında atığa ait kromit verimi hala yüksek olmasına rağmen, iri boylarda B2 ayarında verimin sıfır değerlerine ulaştığı görülmektedir.



Şekil 7.13: Suni beslemenin debi 2 koşulunda alınan atıklarına ait tane boyu bazında verim sonuçları

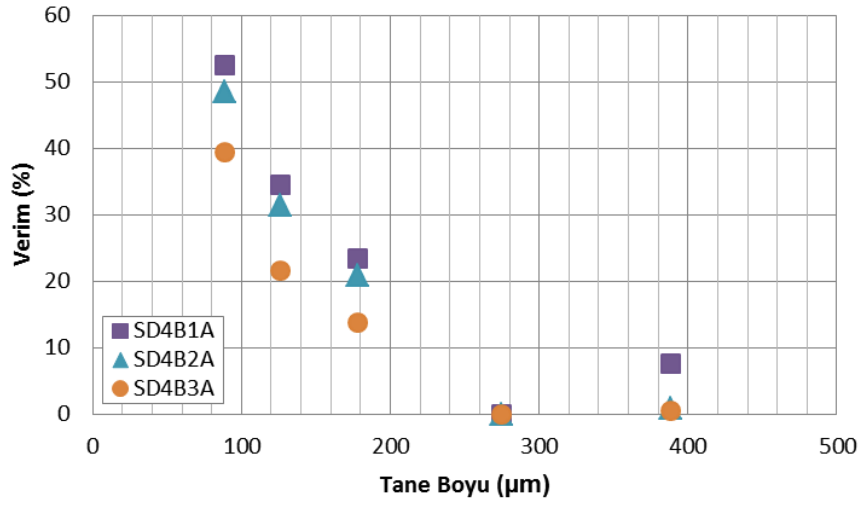
Şekil 7.14'te verilen grafikte D3 koşuluna ait tane boyu – verim sonuçları yer almaktadır. Grafikteki verim değerleri incelendiğinde ince boylarda %61.79'a ulaşan yüksek verim değerlerine rastlanmaktadır. 270 µm boyunda B2 ve B3 pozisyonlarında ise herhangi bir kromit kazanımının olmadığı görülmektedir.



Şekil 7.14: Suni beslemenin debi 3 koşulunda alınan atıklarına ait tane boyu bazında verim sonuçları

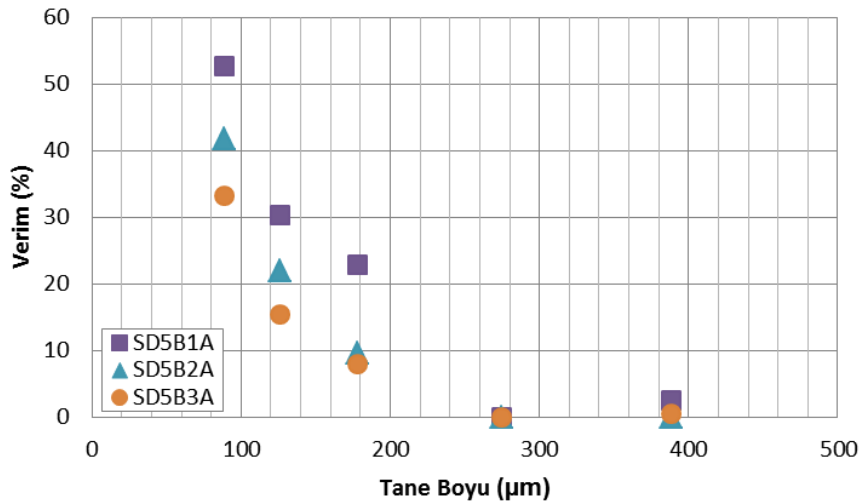
Şekil 7.15'te, suni karışımın daha önceki atık grafiklerinde görülen tane boyu – verim davranımına benzer bir davranım gözlenmektedir. Buna göre, atıkta tane

boyu irileştikçe verimin düşmektedir. Ancak yaklaşık 270 µm tane boyundan itibaren verimde tekrar bir artış olduğu görülmektedir.



Şekil 7.15: Suni beslemenin debi 4 koşulunda alınan atıklarına ait tane boyu bazında verim sonuçları

D5 koşulunda atığa ait elde edilen verim grafikleri Şekil 7.16'da verilmektedir. Bölücü bıçak pozisyonu değişikçe, buna bağlı değişen verim değerleri de grafiğe yansımaktadır.



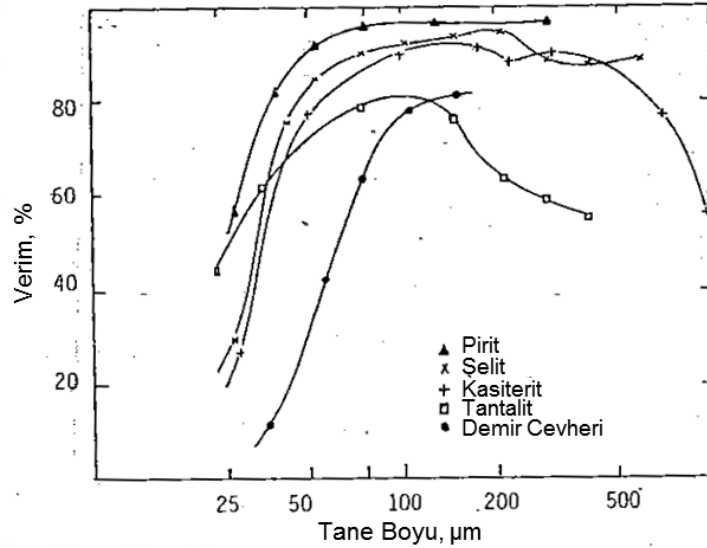
Şekil 7.16: Suni beslemenin debi 5 koşulunda alınan atıklarına ait tane boyu bazında verim sonuçları

8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Çalışmanın amacına uygun olarak; tane boyunun spiral zenginleştiricideki ayırma performansına olan etkisi, farklı besleme türleri kullanılarak test edilmiştir. Kromit cevheri ve suni karışım hazırlanarak benzer koşullarda ve aynı spiral zenginleştiricide test çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Farklı debi ve bölücü bıçak pozisyonlarında çalışılarak numuneler alınmıştır. Örnekleme çalışmalarında elde edilen numuneler elek analizine tabii tutulmuş ve fraksiyonel bazdaki kromit içeriklerine göre verimleri incelenmiştir.

Kromit cevheri ve suni karışım ile yapılan çalışmalarda elde edilen konsantre numunelerinde, tane boyu irileştikçe verimin arttığı görülmektedir. Verilere bağlı olarak hazırlanan grafikler incelendiğinde, yaklaşık 250 µm tane boyuna kadar verimin sürekli bir artış sergilediği gözlenirken; bu tane boyundan itibaren, tane boyu irileştikçe verimde ani bir düşüşün yaşandığı gözlenmektedir.

Spiral zenginleştiricide farklı minerallerle yapılan zenginleştirme çalışmaları bir arada değerlendirildiğinde, tane boyuna bağlı verimlerin Şekil 8.1'deki gibi olduğu görülmektedir [8].



Şekil 8.1: Farklı besleme türlerinde tane boyunun spirallerdeki ayırma etkisi²²

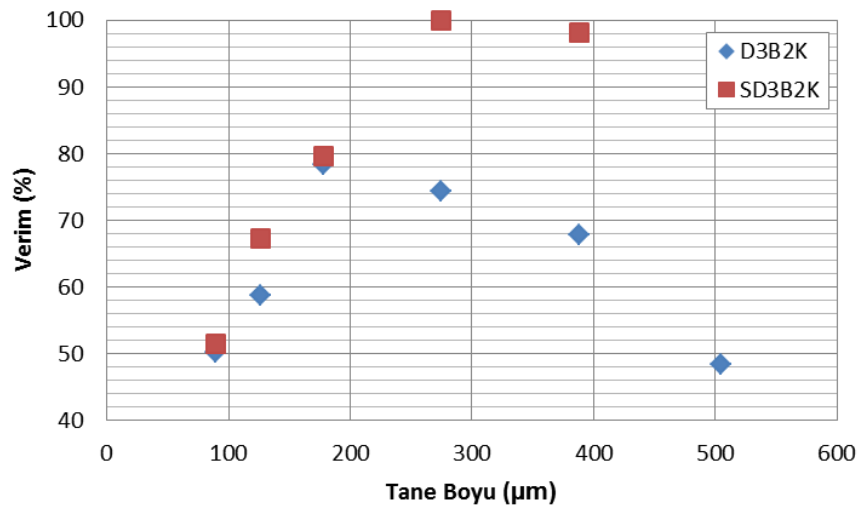
Grafikte; demir (Chong, 1978), pirit (Guest, 1975), şelit (Weston, 1978), tantallit (Burt R. O., 1979) ve kasiterit (Balderson, 1982) cevherleri ile yapılan spiral

²² Gravity Concentration Technology; Richard O. Burt; 1984; sayfa 277.

zenginleştirici çalışmaları yer almaktadır. Bu çalışmalarda da tane boyuna bağlı olarak verimlerde bir artış olduğu görülmektedir. Ancak belli bir boydan sonra verimlerde düşüş yaşandığı da gözlenen sonuçlardandır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, belli büyüklükteki tane boyundan itibaren verimin düşmesinin sebebi Bagnold etkisi ile açıklanabilmektedir. Akan sıvı filmlerinde etkin olan Bagnold kuvvetinin, palp içerisindeki farklı tane boylarına etki ederek spiral zenginleştiricideki ayrımı etkilediği bilinmektedir. Spiral zenginleştiricide, Bagnold etkisinin incelenmesi amacıyla, kömür kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde; hafif-ince tanelerin spiralin ilk dönemecinden itibaren sarmalın dış tabakasına doğru bir akış sergilediği gözlenmiştir. Yapılan analizlere göre, bu tabakada bulunan tanelerin büyük çoğunluğunun, beklenen karakteristikteki hafif-ince taneler olduğu tespit edilmiştir. Diğer tanelerin ise, spiral zenginleştiricinin iç kesimlerinde, tanelerin genel olarak yatak oluşturma eğiliminde olduğu yüksek yoğunluklu noktalarda meydana gelen akışlarla üst tabakalara doğru kaldırılarak, hızlı yüzen tabakasına taşındığı düşünülen tanelerden oluştuğu belirtilmektedir [35].

Şekil 8.2'de suni karışım ve kromit cevheri ile yapılan çalışmaların tane boyu bazındaki verim sonuçları karşılaştırılmaktadır. Bu veriler; bıçak pozisyonu, debi ayarı ve yüzde katısı benzer koşullardayken elde edilen konsantre sonuçları ifade etmektedir.



Şekil 8.2: Suni karışım ve kromit cevherinin aynı debi ve bıçak pozisyonlarındaki verimi

Suni karışımın konsantresine ait verim değerleri incelendiğinde, serbest taneler sebebiyle sistemdeki veriminin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Kromit cevheri ile yapılan çalışmanın sonucunda ise, konsantredeki verim değerlerinin suni karışımla benzer davranım sergilediği, ancak bağlı taneler sebebiyle verimin düşük olduğu gözlenmektedir. Kromit cevherindeki serbestleşme dereceleri göz önünde bulundurulacak olursa, serbestleşme dereceleri yüksek olan ince tanelerde verimin, suni karışımın verim değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Taneler irileştikçe ve serbestleşme dereceleri düştükçe, suni karışım ve kromit cevheri ile yapılan konsantre grafiklerinde oluşan farklılıklar açıkça görülmektedir.

İdealize besleme olan suni karışım ve düşük serbestleşmeye sahip kromit cevheri arasında büyük performans farklılığı bulunması, spiral zenginleştiricilerde serbestleşmenin önemini vurgulamaktadır.

Daralan oluklarda manyetit ve kuvarsın tane boyubazındaki verimini inceleyen çalışmada, hem manyetit hem de kuvarsta verimin belli bir tane boyuna kadar arttığı, bu tane boyundan sonra ise tane boyu arttıkça verimin düştüğü görülmüştür [42]. Elde edilen sonuçların, bu tezde elde edilen veriler ile örtüştüğü görülmektedir.

Bu çalışmada, kullanılan spiral için uygun olan debi aralıklarını aşan debilerde veriler alınmıştır. Yüksek debilerde akış hızının artması sebebiyle türbülans akışının oluşması, tanelerin ayrımını bozucu bir etki göstermektedir. Bu sebeple debi arttıkça verimin de azaldığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, beslemenin içerdiği katı miktarı ile verim arasında ters bir orantı gözlenmiştir. Buna göre, ağırlıkça %28-48 katı içeriği aralığında, beslemenin içerdiği katı miktarı azaldıkça verimin arttığı görülmüştür.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Spiral zenginleştiricide iki farklı besleme olarak kromit cevheri ve suni karışım kullanılmış; farklı debi ve bıçak ayarlarında test çalışmaları yapılmıştır.
 - Her iki beslemede benzer davranımda tane boyu-verim grafikleri elde edilmiştir. Yaklaşık 250 μm 'ye kadar tane boyu arttıkça verim artmakta, bu tane boyundan itibaren keskin biçimde düşmektedir.
 - Suni karışım hazırlanarak oluşturulan spiral zenginleştirici beslemesinde, tane boyu bazında çok yüksek verimlere kadar ulaşmış, ancak kromit cevherinde bağlı taneler sebebiyle verim düşük değerlerde kalmıştır.
 - Çalışılan aralıkta debi ve beslemenin katı içeriği arttıkça verim düşmüştür.
-
- ❖ Farklı yoğunlukta minerallerle hazırlanacak suni karışımlarla mineral yoğunluğu ve tane boyunun etkisinin birlikte incelenmesi,
 - ❖ Kontrollü miktarda çok ince malzeme miktarı değiştirilerek şlamın ayırma etkisinin ortaya konması,

ileriki çalışmalar için önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] B. J. Reaveley ve I. C. Ritchie, The Development of High Efficiency Spiral Separators, *Australia: A World Source of Ilmenite, Rutile, Monazite and Zircon*, **1986**.
- [2] P. Ramsaywok, M. K. G. Vermaak ve R. Viljoen, Case Study: High Capacity Spiral Concentrators, *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, pp. 637-642, **2010**.
- [3] P. Tucker, K. A. Lewis, W. J. Hobba ve D. Wells, A Mathematical Model of Spiral Concentration, As Part of a Generalized Gravity-Process Simulation Model, And Its Application At Two Cornish Tin Operations, *International Mineral Processing Congress*, **1990**.
- [4] G. K. Loveday ve J. J. Cilliers, Fluid Flow Modelling on Spiral Concentrators, *Minerals Engineering*, pp. 223-237, **1994**.
- [5] B. A. Wills ve T. Napier-Munn, *Wills' Mineral Processing Technology*, Elsevier Science & Technology Books, **2006**.
- [6] A. Gupta ve D. S. Yan, *Mineral Processing Design and Operations*, Amsterdam: Elsevier, **2006**.
- [7] E. G. Kelly ve D. J. Spottiswood, *Introduction to Mineral Processing*, **1982**, p. 491.
- [8] R. O. Burt, *Gravity Concentration Technology*, New York: Elsevier Science Publishing Company Inc, **1984**.
- [9] N. Yıldız, *Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme*, Ankara: ERTEM Basım Yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., **2010**.
- [10] A. L. Mular, D. N. Halbe ve D. J. Barratt, *Mineral Processing Plant Design, Practice and Control*, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration

Inc. (SME), **2002**.

- [11] M. C. Fuerstenau ve K. N. Han, Principles of Mineral Processing, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., **2003**.
- [12] Ç. Hoşten, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Temel İşlemlerinin Tasarımı, Ankara: ODTÜ Basım İşliği, **2002**.
- [13] W. L. Chen, Batac Jig in Five U.S. Plants, *Mining Engng.*, p. 32, **1980**.
- [14] A. H. Gray, InLine Pressure Jig - An Exciting, Low Cost Technology with Significant Operational Benefits in Gravity Separation of Minerals, *AusIMM Annual Conf.*, Ballarat, Victoria, **1997**.
- [15] R. Sivamohan ve E. Forssberg, Principles of Sluicing, *Int. J. of Min. Pro.*, pp. 156-171, **1985**.
- [16] Ş. L. Ergün, Ö. Y. Gülsoy ve S. Ersayın, Daralan Oluklar, *Madencilik*, pp. 5-16, Mart **1994**.
- [17] R. L. Terry, Minerals Concentration By Wet Tabling, *Min. Proc.*, p. 15, **1974**.
- [18] S. M. Systems, Sepro Mineral Systems Corporation, **2013**.
<http://www.seprosystems.com/mining-equipment/gravity-concentrators.html>.
[28 Nisan 2013 tarihinde erişilmiştir].
- [19] S. M. S. Corp., Sepro Systems Equipment Brochure, **2013**.
<http://www.seprosystems.com/images/stories/sepro/pdf/sms-equip-brochure-2013.pdf>. [28 Nisan 2013 tarihinde erişilmiştir].
- [20] Knelson, FLSmidth Knelson, **2011**. www.knelson.com. [28 Nisan 2013 tarihinde erişilmiştir].
- [21] R. O. Burt, Tantalum Mining Corporation's Gravity Concentrator recent developments, *Bull. Can. Inst. Min. & Metall.*, pp. 103 - 108, **1979**.

- [22] J. B. Huttle, New Type Concentrator, *Eng. & Min. J.*, p. 144, **1943**.
- [23] I. B. Humphreys ve J. S. Hubbard, Where Spirals Replaced Tables and Flotation Cells, *Eng. & Min. J.*, p. 82, **1945**.
- [24] M. Palmer ve C. Vadeikis, New Developments in Spirals and Spiral Plant Operations, *XXV International Mineral Processing Congress (IMPC)*, Brisbane, Qld, Australia, **2010**.
- [25] R. Q. Honaker ve W. R. Forrest, Advances in Gravity Concentration.
- [26] G. F. Balderson, Recent Developments and Applications of Spiral Concentrators, *Aust. Inst. Min. & Metall. N. W. Queensland Min. Op. Conf.*, **1982**.
- [27] O. S. Bogdanov, Textbook of Ore Dressing, *Textbook of Ore Dressing*, Moskow, Nedra Press, **1983**, pp. 120 -130.
- [28] V. G. Sukhanova, M. F. Anekin ve M. L. Pevzner, The Relationship Between Recovery and the Geometrical Parameters of Spiral Launderers, *Soviet J. Non-Ferrous Metals* 13 (11), pp. 73 - 74, **1972**.
- [29] A. V. Yashin, M. F. Anekin ve V. A. Skrepko, Spiral Concentrator Operation, Russia: Nedra Press, **1983**.
- [30] J. S. Hubbard, W. E. Brown ve M. Welker, The Humphreys Spiral Concentrator Cleaning Minus 1/4 in. coal, *Proc First Int. Coal Pep. Cong.*, pp. 441 - 448, **1950**.
- [31] J. E. Zeilinger ve A. W. Deurbrouck, Physical Desulphurization of Fine Size Coals on a Spiral Concentrator, USBM Rep. of Inv. 8152, **1976**.
- [32] J. S. Browning, Mica Beneficiation, *U.S. Bureau of Mines Bu 662*, p. 21, **1973**.
- [33] B. V. Kizevalter, Theoretical Fundamentals of Gravity Concentration Processes, *Theoretical Fundamentals of Gravity Concentration Processes*,

Moskow, Nedra Press, **1979**, p. 295.

- [34] C. A. Brown, R. H. Goodman ve A. J. Griffiths, Application of Improved Spiral Technology for Recovery of Fine Heavy Minerals and Tailings, *Seminar on Beneficiation of Tin and Associated Minerals*, Bangkok, **1982**.
- [35] Y. Atasoy ve D. J. Spottiswood, A Study of Particle Separation in a Spiral Concentrator, *Minerals Engineering*, pp. 1197-1208, **1995**.
- [36] P. Tucker, An Approach to Modelling Industrial Unit Processes: Application to a Spiral Concentrator for Minerals, *Appl. Math. Modelling*, pp. 375-379, **1985**.
- [37] A. B. Holland-Batt, Spiral Separation: Theory and Simulation, *African Mining*, Zimbabwe, **1987**.
- [38] A. B. Holland-Batt, A Method for the Prediction of the Primary Flow on Large Diameter Spiral Troughs, *Minerals Engineering*, pp. 352-356, **2009**.
- [39] R. H. Nafziger, A Review of The Deposits and Beneficiation of Lower-Grade Chromite, *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.*, pp. 205-226, **1982**.
- [40] D. L. Buchanan, Chromite Production Form the Bushveld Complex, *World Min.*, pp. 97-101, **1979**.
- [41] D. P. O'Shaughnessy, Chromite Ore Preparation, *Min. Mag.*, pp. 291-299, **1982**.
- [42] S. Siyahhan ve Ş. L. Ergün, Daralan Oluklarda Tane Boyu, Besleme Tenörü ve Şlam Miktarının Ayrım Performansı Üzerindeki Etkisi, *Türkiye 16. Madencilik Kongresi*, **1999**.
- [43] S. P. Chong, Gravity Concentration Successfully Treats Iron Ores, *SME-AIME Fall Meeting*, Florida, **1978**.
- [44] R. N. Guest, The Recovery of Pyrite from Witwatersrand Gold Ores, *J. S. Afr. Inst. Min. & Metall.*, pp. 103-105, **1975**.

[45] T. P. L. Weston, Spiral Concentrators in the King Island Sheelite Gravity Recovery Circuit, *Mill Operators Conference*, Queensland, **1978**.

[46] Ç. Hoşten, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Temel İşlemlerinin Tasarımı, Ankara: ODTÜ Basım İşliği, **2002**.

EK

Ek 1: Kromit cevheri beslemesine ait değerler

Kromit Cevheri Besleme			
Tane Boyu (μm)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+600	20.60	4.68	17.58
-600+425	20.40	4.15	15.46
-425+355	11.02	3.62	7.27
-355+212	22.50	3.65	14.99
-212+150	9.69	8.75	15.48
-150+106	6.88	8.60	10.80
-106	8.91	11.33	18.42
Toplam	100.00	5.48	100.00

Ek 2: Suni beslemeye ait değerler

Suni Besleme			
Tane Boyu (μm)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+355	12.53	7.96	10.17
-355+212	42.60	5.75	24.97
-212+150	20.90	9.60	20.44
-150+106	13.71	13.65	19.08
-106	10.27	24.21	25.34
Toplam	100.00	9.81	100.00

Ek 3: Komit cevheri testleri debi1 ayarında bıçak pozisyonu 1'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

D1B1	Besleme	Konsantre				Atık		
		Tane Boyu (µm)	Cr ₂ O ₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)
+425	4.94	14.02	25.28	35.47	5.12	30.46	3.42	64.53
-425+355	6.01	7.83	41.79	48.21	6.96	15.32	3.34	51.79
-355+212	5.71	21.58	40.76	49.44	7.13	29.42	3.10	50.56
-212+150	5.61	16.03	37.16	45.92	6.63	10.51	3.26	54.08
-150+106	6.72	19.92	32.15	33.16	4.78	7.46	4.83	66.84
-106	7.58	20.61	27.76	25.40	3.67	6.83	6.07	74.60
Toplam	5.74	100.00	33.79	40.80	5.89	100.00	3.65	59.20

Ek 4: Kromit cevheri testleri debi1 ayarında bıçak pozisyonu 2'ye ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

D1B2	Besleme	Konsantre				Atık		
		Tane Boyu (µm)	Cr ₂ O ₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)
+425	4.94	17.17	20.63	40.09	4.18	31.73	3.27	59.91
-425+355	6.27	7.98	34.71	53.15	5.54	15.52	3.25	46.85
-355+212	5.99	22.29	34.72	55.65	5.80	29.36	2.94	44.35
-212+150	5.70	16.83	32.16	54.17	5.64	9.91	2.89	45.83
-150+106	6.59	18.00	27.63	40.26	4.19	7.03	4.35	59.74
-106	7.32	17.73	24.30	31.87	3.32	6.44	5.52	68.13
Toplam	5.96	100.00	28.81	46.38	4.83	100.00	3.54	53.62

Ek 5: Kromit cevheri testleri debi2 ayarında bıçak pozisyonu 1'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

D2B1	Besleme	Konsantre				Atık		
		Tane Boyu (µm)	Cr ₂ O ₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)
+425	4.75	17.35	19.48	40.94	4.10	29.49	3.12	59.06
-425+355	5.55	7.18	32.62	58.75	5.88	14.72	2.54	41.25
-355+212	5.02	20.26	31.29	62.25	6.23	28.74	2.11	37.75
-212+150	4.75	15.47	28.56	60.11	6.02	10.88	2.10	39.89
-150+106	6.11	18.61	24.82	40.58	4.06	7.72	4.03	59.42
-106	7.55	21.12	24.17	31.96	3.20	8.46	5.71	68.04
Toplam	5.31	100.00	26.26	49.39	4.94	100.00	2.99	50.61

Ek 6: Kromit cevheri testleri debi2 ayarında bıçak pozisyonu 2'ye ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

D2B2	Besleme	Konsantre				Atık		
		Tane Boyu (µm)	Cr ₂ O ₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)
+425	4.65	20.88	13.05	49.45	2.81	31.51	2.85	50.55
-425+355	5.31	7.91	19.58	65.03	3.69	15.15	2.25	34.97
-355+212	5.03	21.15	19.34	67.75	3.85	28.79	1.97	32.25
-212+150	5.01	15.16	19.30	67.88	3.85	9.90	1.95	32.12
-150+106	6.14	16.95	18.59	53.38	3.03	7.03	3.47	46.62
-106	7.65	17.96	21.04	48.46	2.75	7.62	4.79	51.54
Toplam	5.50	100.00	18.22	58.41	3.31	100.00	2.77	41.59

Ek 7: Kromit cevheri testleri debi2 ayarında bıçak pozisyonu 3'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

D2B3	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+425	3.98	31.21	5.30	54.07	1.33	34.83	3.08	45.93
-425+355	4.15	11.09	6.90	67.57	1.66	15.41	2.27	32.43
-355+212	4.25	24.78	7.42	71.02	1.75	28.17	2.07	28.98
-212+150	4.96	13.29	9.40	77.06	1.90	8.25	1.92	22.94
-150+106	6.17	10.33	10.74	70.73	1.74	5.85	3.04	29.27
-106	8.41	9.30	14.69	70.98	1.75	7.50	4.11	29.02
Toplam	4.92	100.00	7.89	65.16	1.60	100.00	2.89	34.84

Ek 8: Kromit cevheri testleri debi3 ayarında bıçak pozisyonu 1'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

D3B1	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+425	5.36	16.06	20.16	48.09	3.76	27.38	3.19	51.91
-425+355	6.90	7.09	32.43	60.16	4.70	14.68	3.15	39.84
-355+212	6.83	20.45	31.35	58.70	4.59	29.00	3.23	41.30
-212+150	7.24	16.03	28.86	51.00	3.99	11.38	4.07	49.00
-150+106	7.73	18.98	24.85	41.13	3.22	8.08	5.21	58.87
-106	8.44	21.40	24.84	37.66	2.94	9.48	6.03	62.34
Toplam	6.16	100.00	26.65	55.37	4.33	100.00	3.15	44.63

Ek 9: Kromit cevheri testleri debi3 ayarında bıçak pozisyonu 2'ye ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

D3B2	Besleme	Konsantre				Atık		
		Tane Boyu (µm)	Cr ₂ O ₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)
+425	5.13	19.18	12.56	48.30	2.45	26.21	3.30	51.70
-425+355	6.23	7.64	21.46	67.88	3.44	14.56	2.49	32.12
-355+212	5.79	21.06	21.83	74.31	3.77	28.71	1.85	25.69
-212+150	5.51	15.68	21.90	78.28	3.97	11.21	1.49	21.72
-150+106	6.69	17.46	19.96	58.77	2.98	7.96	3.44	41.23
-106	8.71	18.98	22.23	50.28	2.55	11.35	5.40	49.72
Toplam	6.38	100.00	19.78	61.15	3.10	100.00	3.09	38.85

Ek 10: Kromit cevheri testleri debi3 ayarında bıçak pozisyonu 3'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

D3B3	Besleme	Konsantre				Atık		
		Tane Boyu (µm)	Cr ₂ O ₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)
+425	4.30	24.11	7.88	59.56	1.83	29.32	2.58	40.44
-425+355	5.59	9.64	11.86	69.03	2.12	14.43	2.57	30.97
-355+212	5.24	23.79	12.24	75.98	2.33	27.77	1.87	24.02
-212+150	5.24	15.22	13.55	84.09	2.58	9.99	1.24	15.91
-150+106	6.78	13.96	13.95	66.95	2.06	7.09	3.32	33.05
-106	9.44	13.28	17.44	60.12	1.85	11.40	5.58	39.88
Toplam	5.80	100.00	12.23	68.64	2.11	100.00	2.70	31.36

Ek 11: Suni karışım testleri debi1 ayarında bıçak pozisyonu 1'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD1B1	Besleme	Konsantre				Atık		
		Tane Boyu (µm)	Cr ₂ O ₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)
+355	9.42	16.13	51.60	25.12	5.48	13.73	7.06	74.88
-355+212	10.96	17.27	50.10	28.57	4.57	48.38	8.77	71.43
-212+150	10.37	16.26	49.82	21.12	4.80	19.70	8.17	78.88
-150+106	11.13	23.25	47.31	16.97	4.25	12.45	9.11	83.03
-106	14.35	27.10	45.42	11.75	3.16	5.74	12.62	88.25
Toplam	10.78	100.00	48.38	19.83	4.49	100.00	8.68	80.17

Ek 12: Suni karışım testleri debi1 ayarında bıçak pozisyonu 'ye ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD1B2	Besleme	Konsantre				Atık		
		Tane Boyu (µm)	Cr ₂ O ₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)
+355	8.88	16.86	51.84	42.50	5.84	12.39	5.59	57.50
-355+212	8.54	22.01	52.47	54.72	6.15	48.61	5.17	45.28
-212+150	9.20	19.40	49.33	36.79	5.36	20.99	6.12	63.21
-150+106	10.27	21.41	44.06	27.39	4.29	11.02	7.68	72.61
-106	11.32	20.32	42.38	21.43	3.74	6.99	8.94	78.57
Toplam	8.95	100.00	47.90	35.93	5.35	100.00	5.96	64.07

Ek 13: Suni karışım testleri debi1 ayarında bıçak pozisyonu 3'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD1B3	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+355	8.29	14.65	48.88	73.30	5.90	14.81	2.70	26.70
-355+212	7.37	24.66	49.16	95.25	6.67	49.74	1.61	4.75
-212+150	9.77	20.27	44.02	55.65	4.50	17.62	5.06	44.35
-150+106	8.01	21.70	38.40	49.92	4.79	11.92	3.83	50.08
-106	12.88	18.72	39.30	32.62	3.05	5.90	9.24	67.38
Toplam	8.03	100.00	43.90	61.94	5.47	100.00	3.09	38.06

Ek 14: Suni karışım testleri debi2 ayarında bıçak pozisyonu 1'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD2B1	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+355	8.83	14.41	49.36	71.81	5.59	13.30	3.13	28.19
-355+212	8.73	24.86	47.22	85.61	5.41	51.51	3.32	14.39
-212+150	8.43	22.48	44.87	62.83	5.32	19.67	3.30	37.17
-150+106	7.81	21.59	37.68	50.26	4.83	10.98	3.60	49.74
-106	9.38	16.67	36.06	37.45	3.84	4.53	5.63	62.55
Toplam	8.31	100.00	43.08	60.14	5.18	100.00	3.42	39.86

Ek 15: Suni karışım testleri debi2 ayarında bıçak pozisyonu 2'ye ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD2B2	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+355	9.28	12.43	39.31	99.52	4.23	12.55	0.44	0.48
-355+212	9.23	28.74	39.09	100.00	4.24	51.71	0.43	0.00
-212+150	8.75	21.90	32.76	81.13	3.74	19.40	1.68	18.87
-150+106	7.75	20.68	27.42	67.86	3.54	11.38	1.96	32.14
-106	9.48	16.25	29.89	57.41	3.15	4.96	3.47	42.59
Toplam	8.47	100.00	33.82	84.87	3.99	100.00	1.00	15.13

Ek 16: Suni karışım testleri debi3 ayarında bıçak pozisyonu 1'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD3B1	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+355	7.46	12.73	46.83	80.22	6.28	12.46	1.57	19.78
-355+212	8.71	23.73	50.35	96.67	5.78	49.23	2.48	3.33
-212+150	9.12	19.23	45.02	63.58	4.94	19.83	3.75	36.42
-150+106	8.42	21.86	40.04	53.96	4.75	12.24	3.70	46.04
-106	10.76	22.45	37.93	38.21	3.53	6.24	6.70	61.79
Toplam	8.34	100.00	43.83	64.72	5.26	100.00	3.03	35.28

Ek 17: Suni karışım testleri debi3 ayarında bıçak pozisyonu 2'ye ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD3B2	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+355	8.92	12.05	42.45	98.06	4.76	11.77	0.47	1.94
-355+212	9.40	27.23	41.83	100.00	4.45	49.68	1.22	0.00
-212+150	8.69	21.26	36.14	79.56	4.16	20.14	1.78	20.44
-150+106	7.60	21.61	30.47	67.28	4.01	12.37	1.84	32.72
-106	10.78	17.86	33.42	51.40	3.10	6.05	5.08	48.60
Toplam	8.63	100.00	36.74	80.46	4.26	100.00	1.55	19.54

Ek 18: Suni karışım testleri debi3 ayarında bıçak pozisyonu 3'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD3B3	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+355	10.99	10.41	34.72	94.36	3.16	11.84	1.87	5.64
-355+212	8.67	30.56	28.76	100.00	3.32	48.53	0.94	0.00
-212+150	8.63	23.25	26.65	82.28	3.09	20.83	1.70	17.72
-150+106	8.00	20.69	24.47	74.17	3.06	12.49	1.66	25.83
-106	13.39	15.10	31.79	58.97	2.37	6.30	6.32	41.03
Toplam	9.09	100.00	28.46	84.05	3.13	100.00	1.64	15.95

Ek 19: Suni karışım testleri debi4 ayarında bıçak pozisyonu 1'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD4B1	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+355	9.14	11.64	45.39	92.32	4.97	12.03	1.06	7.68
-355+212	10.14	24.45	47.11	100.00	4.64	47.66	1.91	0.00
-212+150	9.84	20.08	42.34	76.54	4.30	20.46	2.59	23.46
-150+106	8.70	23.20	36.56	65.40	4.20	13.22	2.49	34.60
-106	11.74	20.64	37.18	47.44	3.17	6.63	6.07	52.56
Toplam	9.43	100.00	41.45	76.37	4.39	100.00	2.30	23.63

Ek 20: Suni karışım testleri debi4 ayarında bıçak pozisyonu 2'ye ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD4B2	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+355	9.44	10.29	41.77	99.05	4.43	11.67	0.55	0.95
-355+212	9.29	27.67	40.17	100.00	4.33	47.12	0.79	0.00
-212+150	8.93	22.20	34.25	79.10	3.83	21.18	1.97	20.90
-150+106	7.52	22.71	28.78	68.63	3.83	13.70	1.67	31.37
-106	11.98	17.13	33.83	51.55	2.82	6.33	5.97	48.45
Toplam	8.77	100.00	35.35	81.94	4.03	100.00	1.46	18.06

Ek 21: Suni karışım testleri debi4 ayarında bıçak pozisyonu 3'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD4B3	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+355	9.73	10.25	32.89	99.50	3.38	14.36	0.69	0.50
-355+212	8.56	31.09	29.39	100.00	3.43	49.11	0.44	0.00
-212+150	8.29	23.01	26.75	86.20	3.23	18.86	1.09	13.80
-150+106	7.72	20.60	24.81	78.33	3.21	10.84	1.05	21.67
-106	13.13	15.04	31.65	60.63	2.41	6.84	5.90	39.37
Toplam	8.76	100.00	28.54	87.75	3.26	100.00	1.04	12.25

Ek 22: Suni karışım testleri debi5 ayarında bıçak pozisyonu 1'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD5B1	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+355	8.39	10.04	42.72	97.47	5.09	11.44	0.28	2.53
-355+212	9.21	24.85	44.13	100.00	4.79	49.07	0.96	0.00
-212+150	9.77	21.77	40.13	77.15	4.11	20.80	2.61	22.85
-150+106	7.82	23.19	34.09	69.71	4.36	11.85	1.62	30.29
-106	12.56	20.16	36.53	47.25	2.91	6.84	6.91	52.75
Toplam	8.88	100.00	39.26	79.79	4.42	100.00	1.71	20.21

Ek 23: Suni karışım testleri debi5 ayarında bıçak pozisyonu 2'ye ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD5B2	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+355	9.20	9.78	34.44	100.00	3.74	12.35	0.32	0.00
-355+212	9.42	25.84	33.64	100.00	3.57	48.36	0.90	0.00
-212+150	8.54	22.19	31.03	90.38	3.63	20.67	0.62	9.62
-150+106	8.19	23.21	28.09	78.00	3.43	11.27	1.18	22.00
-106	14.03	18.97	34.96	58.19	2.49	7.35	6.66	41.81
Toplam	9.26	100.00	32.10	87.55	3.47	100.00	1.22	12.45

Ek 24: Suni karışım testleri debi5 ayarında bıçak pozisyonu 3'e ait besleme, konsantre ve atığın tane boyu değerleri

SD5B3	Besleme	Konsantre				Atık		
Tane Boyu (µm)	Cr₂O₃ (%)	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)	TYO	Ağırlık (%)	Cr₂O₃ (%)	Verim (%)
+355	8.58	9.37	25.48	99.41	2.97	9.93	0.31	0.59
-355+212	7.63	32.27	22.69	100.00	2.97	45.99	0.26	0.00
-212+150	8.40	23.20	24.29	91.99	2.89	20.03	0.61	8.01
-150+106	8.27	20.71	23.55	84.61	2.85	14.80	0.79	15.39
-106	14.43	14.45	31.40	66.71	2.18	9.25	6.12	33.29
Toplam	8.78	100.00	24.76	90.01	2.82	100.00	0.96	9.99

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : DAMLA GÜÇBİLMEZ

Doğum Yeri : Zonguldak

Medeni Hali : Bekar

E-posta : damlagucbilmez@hacettepe.edu.tr

Adresi : Mürsel Uluç Mahallesi 9. Cadde 955. Sokak
2/12 Koza Apt. 06450, Dikmen
Çankaya / ANKARA

Eğitim

Lise : Bahçelievler Deneme Lisesi

Lisans : Hacettepe Üniversitesi (Maden Mühendisliği Bölümü)

Yabancı Dil Düzeyi

İngilizce (İleri Seviye)

İspanyolca (Başlangıç)

İş Deneyimi

Araştırma Görevlisi (Hacettepe Üniversitesi)

Deneyim Alanları

Cevher Hazırlama

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-