

**YER ÇEKİMİ İLE ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ
KULLANILARAK AKARŞEN CEVHERİNDEN ALTIN
KAZANIMI ÇALIŞMALARI**

**GOLD RECOVERY STUDIES FROM AKARŞEN ORE
USING GRAVITY CONCENTRATION METHODS**

AHMET YAŞAR YAMANTAŞ

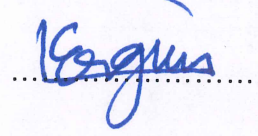
**YRD. DOÇ. DR. N. METİN CAN
TEZ DANIŞMANI**

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

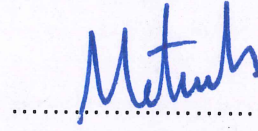
2017

AHMET YAŞAR YAMANTAŞ'ın hazırladığı "Yer Çekimi ile Zenginleştirme Yöntemleri Kullanılarak Akarsu Cevherinden Altın Kazanımı Çalışmaları" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ş. Levent ERGÜN
Başkan



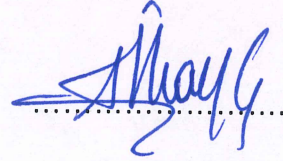
Yrd. Doç. Dr. N. Metin CAN
Danışman



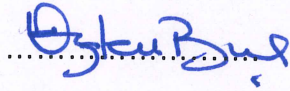
Doç. Dr. N. Emre ALTUN
Üye



Doç. Dr. İlkay B. ÇELİK
Üye



Yrd. Doç. Dr. Özlem BIÇAK
Üye



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

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/~~raporumun~~ tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.

(Bu seçenkle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- Tezimin/Raporumun 26/05/2020 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.

- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

31.05.2017



AHMET YAŞAR YAMANTAŞ

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 tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

26/05/2017

AHMET YAŞAR YAMANTAŞ

ÖZET

YER ÇEKİMİ İLE ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ KULLANILARAK AKARŞEN CEVHERİNDEN ALTIN KAZANIMI ÇALIŞMALARI

Ahmet Yaşar YAMANTAŞ

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. N. Metin CAN

Mayıs 2017, 117 sayfa

Bu çalışmada Akarşen cevherinden yer çekimi ile zenginleştirme yöntemleri kullanılarak altın kazanımı amaçlanmıştır. Yer çekimi ile zenginleştirme çalışmalarında Falcon zenginleştiricisi ile sallantılı masa kullanılmıştır. MLA (Mineral Serbestleşme Analizi) sonuçlarına göre Akarşen cevheri çoğunlukla pirit/markasit, barit, sfalerit, kalkopirit ve kuvars minerallerini içermektedir. Altının iri boylarda Au-Ag alaşımı formunda (elektrum), daha ince boylarda ise nabit formda olduğu ve altın içeren minerallerin genellikle pirit/markasit ile birlikte bulunduğu belirlenmiştir. Falcon zenginleştiricisi testleri, Akarşen zenginleştirme tesisinin farklı akış kollarından alınan numunelerle gerçekleştirilmiştir. Falcon konsantrelerinin altın tenörünü arttırmak için, sallantılı masa kullanılmıştır. Her bir test, verim ve tenör ilişkilerini karşılaştırabilmek için üç farklı G kuvvetinde yapılmıştır. G kuvveti arttıkça konsantre veriminin arttığı, tenörünün ise düştüğü belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda siklon beslemesinden %7.37 nihai verimle 255.75 ppm altın içeren konsantre, siklon altından %12.32 nihai verimle 168.80 ppm altın içeren konsantre ve sekonder değirmen çıkışından %12.44 nihai verimle 267.90 ppm altın içeren konsantre elde edilmiştir. Birinci dönemde yapılan çalışmanın desteklenmesi amacı ile ikinci dönem çalışması yapılmıştır. Bu testlerden, sekonder değirmen çıkışından %8.94 nihai verimle 306.00 ppm altın tenörüne sahip konsantre kazanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akarşen cevheri, Falcon, Sallantılı Masa, Altın Kazanımı, Yer çekimi ile zenginleştirme

ABSTRACT

GOLD RECOVERY STUDIES FROM AKARŞEN ORE USING GRAVITY CONCENTRATION METHODS

Ahmet Yaşar YAMANTAŞ

Master Of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Assist. Prof. N. Metin CAN

May 2017, 117 pages

In this study, recovery of gold from Akarşen ore was aimed by using gravity concentration methods. Falcon concentrator and shaking table were used in gravity concentration studies. According to MLA report (Mineral Liberation Analyser) Akarşen ore contains pyrite/marcasite, barite, sphalerite, chalcopyrite and quartz minerals mostly. It has been determined that gold is formed in Au-Ag alloy form (electrum) in coarser sizes, native form in finer sizes and gold-bearing minerals were generally occurred in pyrite/marcasite. Falcon concentrator tests were carried out on samples taken from different streams of Akarşen concentrator. In order to increase the gold grade of Falcon concentrates, shaking table was used. Each test was conducted at three different G forces to compare grade and recovery relationships. It was determined that concentrate recovery increases as the G power increases, while the grade decreases. As a result of experimental studies, it was obtained that 7.37% of the gold in the cyclone feed can be recovered into a concentrate assaying 255.75 ppm Au, 12.32% of the gold in the cyclone underflow can be recovered into a concentrate assaying 168.80 ppm Au and 12.44% of the gold in the secondary ball mill discharge can be recovered into a concentrate assaying 267.90 ppm Au. Second part of the study was done in order to support the work done in the first part of the study. At these tests, it was determined that 8.94% of the gold in the secondary ball mill discharge can be recovered into a concentrate assaying 306.00 ppm Au.

Keywords: Akarşen ore, Falcon, Shaking table, Gold recovery, Gravity concentration

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bölümün imkânlarından yararlanmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Başkanlığına,

Tez çalışmamda büyük katkısı olan, mesleki gelişimime katkı sağlayan, üstün bilgi ve tecrübesiyle beni her konuda yönlendiren tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. N. Metin Can'a ve Prof. Dr. Ş. Levent Ergün'e,

Deneysel çalışmalarda ve tez yazımının her aşamasında bana yardımcı olan hem okul hem iş arkadaşım, çok değerli dostum Orberk Mert Mercan'a ve tüm çalışma boyunca verdiği tavsiyeler ve yardımlarından dolayı Dr. Özgür Özcan'a,

Tez çalışmalarında kullanılan cevherin temini ve tesis çalışmalarındaki katkılarından dolayı Eti Bakır A.Ş. Murgul İşletmeleri'nin tüm yönetici ve çalışan kadrolarına,

Bana olan güvenleri ve inançları ile daima yanımda olan sevgili annem Melek Yamantaş'a, sevgili babam Mehmet Yamantaş'a, çok sevdiğim ablalarım ve çok sevgili Özge Erkılıç'a,

Çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Altın Cevheri ve Özellikleri	3
2.1.1 Altının Kullanım Alanları	3
2.1.2 Doğada Bulunan Altın Yatakları	4
2.1.3 Doğada Bulunan Altın Mineralleri.....	4
2.1.4 Türkiye ve Dünyada Altın Üretimi.....	4
2.2 Altın Zenginleştirme Yöntemleri	7
2.3 Yer Çekimi ile Zenginleştirme.....	9
2.4 Yer Çekimi ile Zenginleştirme Ekipmanları	11
2.4.1 Merkezkaç Kuvveti Uygulanmayan Yer Çekimi ile Zenginleştirme Ekipmanları	13
2.4.1.1 Daralan Oluk.....	13
2.4.1.2 Jig	16
2.4.1.3 Spiral Zenginleştirici	17
2.4.1.4 Sallantılı Masa	19
2.4.1.5 İkiz Masalar (Gemini).....	22
2.4.1.6 Bartles – Mozley Masası	23
2.4.1.7 Bartles Zenginleştirme Bandı	24
2.4.1.8 Reichert Konisi	25
2.4.2 Merkezkaç Kuvveti Uygulanan Yer Çekimi ile Zenginleştirme Ekipmanları	27
2.4.2.1 Yüksek Yerçekimli Ayırıcı (MGS)	27
2.4.2.2 Kelsey Jigi	28
2.4.2.3 Knelson Zenginleştiricisi	30
2.4.2.3.1 Knelson Kesikli Zenginleştiricisi	32
2.4.2.3.2 Knelson Sürekli Zenginleştiricisi.....	33
2.4.2.4 Falcon Zenginleştiricisi	34
2.4.2.4.1 Falcon Kesikli Zenginleştiricisi (SB)	35
2.4.2.4.2 Falcon Sürekli Zenginleştiricisi (C).....	38
2.4.2.4.3 Falcon Ultra İnce Zenginleştiricisi (UF)	41
2.5 Merkezkaç Kuvvetine Dayalı Zenginleştirme Ekipmanları ile Altın Kazanımına Örnekler ...	43

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	45
3.1 Giriş	45
3.2 Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar	46
3.3 Deney Prosedürü ve Uygulanan Akım Şeması	51
3.4 Cevher Karakterizasyonu Çalışmaları	56
3.5 Madde Denkliği Çalışmaları	63
3.6 Falcon L40 ile Yapılan Çalışmalar	66
3.7 Sallantılı Masa ile Yapılan Çalışmalar	73
3.8 İkinci Dönemde Yapılan Çalışmalar	84
3.8.1 İki Farklı Dönemde Yapılan Çalışmaların Karşılaştırılması	87
4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	90
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	97
EKLER	103
ÖZGEÇMİŞ	104

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 2001-2015 yılları arasında Türkiye’de altın üretimi	5
Şekil 2.2 2007-2015 yılları arasında Dünyada altın üretimi	6
Şekil 2.3 Daralan oluk görünümü	14
Şekil 2.4 El jiginin şematiksel gösterimi	16
Şekil 2.5 Jig hareketiyle yatakta oluşan değişim	16
Şekil 2.6 Spiral zenginleştiricilerinin kesit görünümü	18
Şekil 2.7 Yatay sallantı hareketi ile tanelerin ayrılması.....	19
Şekil 2.8 Sallantılı masa ekipmanının üstten görünümü.....	20
Şekil 2.9 Gemini masasının görünümü.....	22
Şekil 2.10 Bartles – Mozley masası görünümü.....	23
Şekil 2.11 Bartles zenginleştirme bandı görünümü	24
Şekil 2.12 Reichert konisinin kesit görünümü	25
Şekil 2.13 Pilot ölçekli yüksek yerçekimli ayırıcı (MGS)	27
Şekil 2.14 Kelsey jigi kesit görünümü	29
Şekil 2.15 Knelson kesikli zenginleştiricisinin düşey kesiti	30
Şekil 2.16 QS serisi Knelson kesikli zenginleştiricisinin görünümü.....	32
Şekil 2.17 Kontrollü açılıp kapanan vanaların gösterimi	33
Şekil 2.18 Falcon kesikli zenginleştiricisinin kesit görünümü	35
Şekil 2.19 Falcon kesikli zenginleştiricilerinin tesis içerisindeki görünümü	37
Şekil 2.20 Falcon sürekli zenginleştiricisinin kesit görünümü	38
Şekil 2.21 Falcon sürekli zenginleştiricisi	39
Şekil 2.22 Falcon UF serisi zenginleştiricisinin kesit görünümü.....	41
Şekil 2.23 Falcon UF serisi zenginleştirici	42
Şekil 3.1 Akarşen zenginleştirme tesisinin konumu.....	45
Şekil 3.2 Falcon L40 zenginleştiricisi	46
Şekil 3.3 Falcon L40 zenginleştiricisinin iç kısmının üstten görünümü	47
Şekil 3.4 Falcon L40 zenginleştiricisinin konsantre haznesinin içten görünümü...	48
Şekil 3.5 Frekans (Hz) değerine karşılık uygulanan G kuvveti	49
Şekil 3.6 Yıkama suyu basıncı (Bar) ve su akış miktarı (l/dak) arasındaki ilişki....	50
Şekil 3.7 Yer çekimi ile zenginleştirme yöntemleri kullanılarak altın kazanımı çalışmalarında kullanılan akım şeması.....	52
Şekil 3.8 Deneylerde kullanılan karıştırıcının görüntüsü.....	53

Şekil 3.9 Deneylede kullanılmak üzere kurulan Falcon test düzeneği.....	53
Şekil 3.10 Deney düzeneğinden bir görüntü.....	54
Şekil 3.11 -212+106 µm tane boyu aralığında belirlenen altın tanelerine ait elektron mikroskobu görüntüleri	59
Şekil 3.12 -212+106 µm tane boyu aralığındaki altın içeren taneler	59
Şekil 3.13 -20 µm tane boyu aralığında bulunan altın tanelerine ait elektron mikroskobu görüntüsü	60
Şekil 3.14 -20 µm fraksiyonunda bulunan altın tanelerinin gösterimi.....	60
Şekil 3.15 Akarşen öğütme ve sınıflandırma devresi.....	64
Şekil 3.16 Akarşen siklon etrafı tane boyu dağılımları	65
Şekil 3.17 Akarşen siklon besleme numunesi ile yapılan testler sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi.....	67
Şekil 3.18 Akarşen siklon altı numunesi ile yapılan testler sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi.....	69
Şekil 3.19 Akarşen sekonder değirmen çıkışı numunesi ile yapılan testler sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi.....	71
Şekil 3.20 Akarşen siklon besleme numunesi ile yapılan sallantılı masa testleri sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi	75
Şekil 3.21 Akarşen siklon altı numunesi ile yapılan sallantılı masa testleri sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi.....	78
Şekil 3.22 Akarşen sekonder değirmen çıkışına yapılan sallantılı masa testlerinden bir görüntü	79
Şekil 3.23 Akarşen sekonder değirmen çıkışı numunesi ile yapılan sallantılı masa testleri sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi.....	82
Şekil 3.24 Akarşen sekonder değirmen çıkışı tane boyu dağılımları	89
Şekil 4.1 Akarşen siklon beslemesi ile yapılan Falcon ve sallantılı masa testlerinin sonuçları (50 Hz).....	91
Şekil 4.2 Akarşen siklon altı numunesi ile yapılan Falcon ve sallantılı masa testlerinin sonuçları (50 Hz).....	92
Şekil 4.3 Akarşen sekonder değirmen çıkışı ile yapılan Falcon ve sallantılı masa testlerinin sonuçları (50 Hz).....	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Yoğunluk farkı ölçütü kriteri değerlerine göre uygun tane boyu ve zenginleştirme yöntemi.....	10
Çizelge 3.1 Akarşen zenginleştiricisinin besleme numunesinin kimyasal analiz değerleri	56
Çizelge 3.2 Fraksiyonel bazda minerallerin yüzde dağılımları.....	57
Çizelge 3.3 Altın taramasının fraksiyonel özeti.....	58
Çizelge 3.4 Altın minerallerinin tane boyu dağılımı.....	61
Çizelge 3.5 Altın minerallerinin serbestleşme durumu.....	61
Çizelge 3.6 Altının tane yüzeylerinde belirlenen diğer minerallerle bağlılık durumu	62
Çizelge 3.7 Siklon etrafından alınan numunelere ait analiz sonuçları	63
Çizelge 3.8 Akarşen siklon etrafı madde denklığı çalışmaları	65
Çizelge 3.9 Akarşen siklon besleme numunesi ile 50 Hz, 60 Hz ve 70 Hz değerlerinde 0.5 bar su basıncı ile yapılan Falcon testlerinin sonuçları	66
Çizelge 3.10 Akarşen siklon altı numunesi ile 50 Hz, 60 Hz ve 70 Hz değerlerinde 0.5 bar su basıncı ile yapılan Falcon testlerinin sonuçları	68
Çizelge 3.11 Sekonder değirmen çıkışı numunesi ile 50 Hz, 60 Hz ve 70 Hz değerlerinde 0.5 bar su basıncı ile yapılan Falcon testlerinin sonuçları	70
Çizelge 3.12 Akarşen süpürme atık numunesine 70 Hz değerinde, 0.5 bar su basıncı ile yapılan Falcon testinin sonuçları	72
Çizelge 3.13 Akarşen nihai atık numunesine 70 Hz değerinde, 0.5 bar su basıncı ile yapılan Falcon testinin sonuçları.....	72
Çizelge 3.14 Akarşen siklon beslemesi 50 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları	73
Çizelge 3.15 Akarşen siklon beslemesi 60 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları	74
Çizelge 3.16 Akarşen siklon beslemesi 70 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları	74
Çizelge 3.17 Akarşen siklon altı 50 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları	76
Çizelge 3.18 Akarşen siklon altı 60 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları	76

Çizelge 3.19 Akarşen siklon altı 70 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları	77
Çizelge 3.20 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 50 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları	80
Çizelge 3.21 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 60 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları	80
Çizelge 3.22 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 70 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları	81
Çizelge 3.23 Akarşen nihai atık 70 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları	83
Çizelge 3.24 Akarşen sekonder değirmen çıkışı numunesi ile ikinci dönemde yapılan 50 Hz, 0.5 Bar koşulundaki Falcon testi sonuçları	84
Çizelge 3.25 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 50 Hz Falcon konsantresi ile ikinci dönemde yapılan sallantılı masa testi sonuçları	85
Çizelge 3.26 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 2. dönem Falcon konsantresinin fraksiyonel elek analizi sonuçları	86
Çizelge 3.27 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 2. dönem Falcon atığının fraksiyonel elek analizi sonuçları	86
Çizelge 3.28 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 50 Hz Falcon konsantresi ile iki farklı dönemde yapılan sallantılı masa testlerinin sonuçları	87
Çizelge 3.29 Akarşen sekonder değirmen çıkışından birinci dönemde alınan numunenin fraksiyonel elek analizi sonuçları	88
Çizelge 3.30 Akarşen sekonder değirmen çıkışından ikinci dönemde alınan numunenin fraksiyonel elek analizi sonuçları	88

1. GİRİŞ

Altın, insanoğlu tarafından keşfedilmiş en eski metallere biridir. İkel çağlardan itibaren kullanılmaya başlanan altın, kolay işlenebilme özelliğinden dolayı araç gereç yapımında en çok tercih edilen metallere biri olmuştur. Aynı zamanda, güç ve zenginliğin sembolü olan altın, tarih boyunca hükümdarların tahtlarında ve taşlarının yapımında da kullanılmıştır. Nehir yataklarından elle toplanan nabit altın taneleri olarak veya ilkel yer çekimi ile zenginleştirme yöntemleri sonucunda elde edilmiş olan bu değerli metal, insanlığın bugüne ulaşmasında en büyük pay sahiplerinden biridir.

Bu tez çalışmasında Eti Bakır Murgul İşletmeleri tarafından işlenen Akarşen cevherinin içerisindeki altının yer çekimi yöntemleri ile kazanılabilirliği araştırılmıştır. MLA (Mineral serbestleşme analizi) sonuçlarına göre Akarşen cevherindeki ana mineraller pirit/markasit, barit, sfalerit, kalkopirit ve kuvarstır. Cevherde altının iri boylarda Au-Ag alaşımı (elektrum), daha ince boylarda ise nabit formda oluştuğu ve altın içeren minerallerin genellikle pirit/markasit minerali ile birlikte bulunduğu belirlenmiştir.

Akarşen cevherinde de olduğu gibi volkanojenik masif süflürlü yataklar değışen oranlarda altın içerebilir. Altının tesiste üretilen konsantre ile birlikte konsantreye alındığı durumlarda bir problem bulunmazken altının konsantreye yeterince alınamaması durumunda bunun nedenlerinin incelenmesi ve akım şemasında gerekli değışikliklerin yapılması gerekmektedir. Akarşen zenginleştirme tesisinde altın besleme tenörü ortalama 4-4.5 ppm olmasına rağmen bunun ortalama 2-2.5 ppm'i nihai atığa gitmektedir. Bunun önlenmesi amacı ile yapılan deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere Akarşen cevherinin işlendiği zenginleştirme tesisinin farklı akış noktalarından numuneler alınmıştır. Altın tenörünün, öğütme devresinin akış kollarında, primer değirmen besleme tenöründen yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, altın tanelerinin yüksek yoğunluğa sahip olmaları nedeniyle sürekli olarak siklon alt akımına gitme eğiliminde olduğu ve öğütme devresi içerisinde birikme yaptığı sonucunu desteklemektedir. Sınıflandırma devrelerinde sürekli olarak alt akıma gelen altın taneleri çok ince tane boylarına inebilmektedir.

Yapılan çalışmalarda tesisin siklon etrafından da numune alma çalışması gerçekleştirilmiştir. Tane boyu dağılımları ve ağırlıkça % katı oranları tespit edilen

numunelerle daha sonra JK Simmet v6.01 programı kullanılarak madde denkliği yapılmış, siklon etrafındaki katı akış miktarları ve ağırlıkça % katı oranları belirlenmiştir.

Yer çekimi ile zenginleştirme çalışmalarında laboratuvar ölçekli Falcon L40 ekipmanı ve laboratuvar ölçekli sallantılı masa kullanılmıştır. Falcon ekipmanında, taneler üzerine etkiyen merkezkaç kuvveti değişkeni kullanılarak altın kazanımındaki verim-tenör ilişkileri belirlenmiştir. Testler sonucunda üretilen Falcon konsantreleri ile Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında sallantılı masa deneyleri yapılarak nihai zenginleştirme işlemi gerçekteştirilmiştir. Hedeflenen verim ve tenör değerlerinde altın içeren konsantrenin üretilebilirliği araştırılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçların desteklenilmesi amacıyla ikinci dönem çalışmaları da yapılmıştır. İkinci dönemde; ilk dönemde başarılı sonuçlar alınan koşullarda testler yapılmıştır. Bunların haricinde bu tezin kapsamında ikinci dönemde yapılan Falcon testinin konsantresinin ve atığının fraksiyonel elek analizi sonuçları ve her iki dönem için de sekonder değerimen çıkışından alınan numunelerin fraksiyonel altın içerikleri de verilmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Altın Cevheri ve Özellikleri

Altın, periyodik cetvelde Au sembolü ile gösterilir. Parlak, sarı ve yumuşak bir yapıdadır. Altın dayanıklı yapısı, asitlerden etkilenmemesi ve kolay işlenebilme özellikleri sebebiyle insanoğlu tarafından kullanılan en kıymetli ve en eski metallere biridir [1]. Adını Latin kökenli bir kelime olan Aurum'dan alan altın hava ve su temasından kesinlikle etkilenmez, paslanmaz ve kararmaz.

Altın yerkabuğunda en az bulunan metallere birisi olmakla birlikte yeryüzünde bulunan en iyi iletkenlerdendir. Altın dünyanın her yerinde para yerine geçme özelliğine sahiptir [2].

Altın periyodik cetvelde geçiş metalleri grubunda yer alan ve atom numarası 79, atom kütlesi 196.97 g/mol olan bir elementtir. Yoğunluğu 19.3 g/cm³'dür. Erime noktası 1064.18 °C, kaynama noktası ise 2856 °C'dir [3]. Ayrıca altının sertlik değeri 2.5 – 3 arası olup, kristal şekli ise kübiktir.

2.1.1 Altının Kullanım Alanları

Altının kullanım alanları incelendiğinde birçok sektör için vazgeçilmez bir metal olduğu görülmektedir. Kuyumculuk, altın kaplama, elektronik sanayi ve diş hekimliği gibi birçok farklı sektörde kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca, gümüş, platin ve palladyum gibi metallere alaşım halinde uzay endüstrisinde, tekstil sanayinde, altın tel, altın iplik yapımında ve kimya endüstrisinde paslanmaya dayanıklı alet yapımında kullanılmaktadır [4]. Dünya genelinde üretilen altının büyük çoğunluğu olan %60'lık kısmı mücevherat, ziynet alanında kullanılırken, diğer büyük kullanım alanları sırasıyla altın para, teknoloji, elektronik, dişçilik ve madalya yapımıdır. Altın dayanıklı, paslanmaz ve iletkenlik özellikleri sayesinde elektrik, iletişim, lazer, tıp ve havacılık alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.1.2 Doğada Bulunan Altın Yatakları

Doğada bulunan altın yatakları 6'ya ayrılmaktadır. Bu ayrım bu yatakların oluşum sıcaklıkları, içlerinde yer aldığı kayaçlar, yatakların oluştuğu jeodinamik ortam, altının yan kayaçları ve cevherin mineralojik yapısına göre yapılmaktadır. Bunlar;

- 1) Orojenik altın yatakları,
- 2) Sedimanter yan kayaçlı (Carlin tipi) altın yatakları,
- 3) Epitermal altın – gümüş yatakları (Düşük sülfütlü ve yüksek sülfütlü)
- 4) Porfiri bakır – altın yatakları,
- 5) Anorojenik demir oksit – bakır – altın (Olympic Dam tipi) yatakları,
- 6) Altınca zengin VMS ve Sedex (Ekzalatif – sedimanter) yataklarıdır.

Bunların haricinde bu yataklardan altının taşınması ile meydana gelen ikincil (karstik ve placer) tipteki yataklar da önemli altın yataklarıdır [5].

2.1.3 Doğada Bulunan Altın Mineralleri

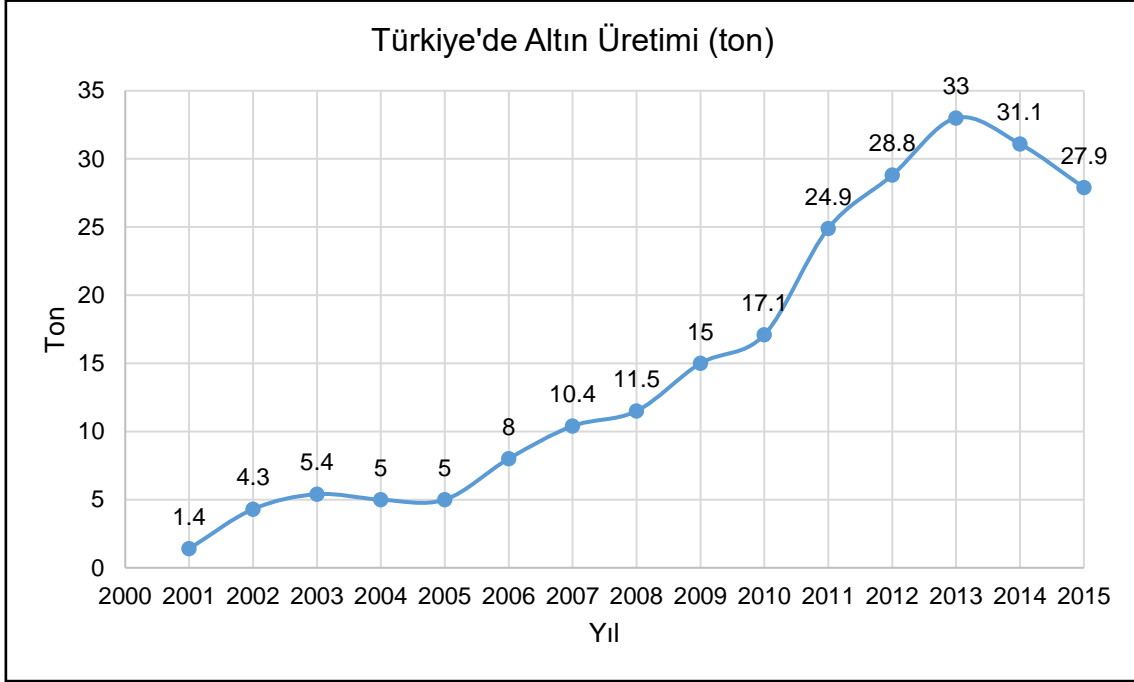
Doğal altın oluşumu haricinde en önemli altın mineralleri ise; nabit altın Au (\pm diğer metaller), elektrum Au-Ag alaşımı, kustelit Ag(\pm Au), aurokuprit Au₂Cu₃, aurostibnit AuSb₂, rodit Au(Pt, Rh, Fr, Pd), kalaverit Au(Ag)Te₂, silvanit (AuAg)Te₄, tetsit (Au, Ag)Te, kennerit (Au, Ag)Te₂ ve petzit Ag₃AuTe₂'dir. Ayrıca kalkopirit, arsenopirit ve piritin içerisinde önemli miktarda Au bulunabilmektedir. Bu durumdan dolayı Cu, Pb, Zn yataklarından Au yan ürün olarak kazanılabilmektedir [6].

2.1.4 Türkiye ve Dünyada Altın Üretimi

Altın insanoğlunun ilk çağlarından beri en kıymetli metallerden birisi olup, günümüzde de en çok kullanılan ve en değerli metallerden birtanesidir. Altının ons bazında fiyatı 2000 yılında 279 Amerikan doları seviyelerinde iken 2012 yılında 1669 Amerikan doları seviyesine kadar çıkmıştır. 2017 yılı itibari ile ise altının ons fiyatı 1200 Amerikan doları seviyelerindedir [1].

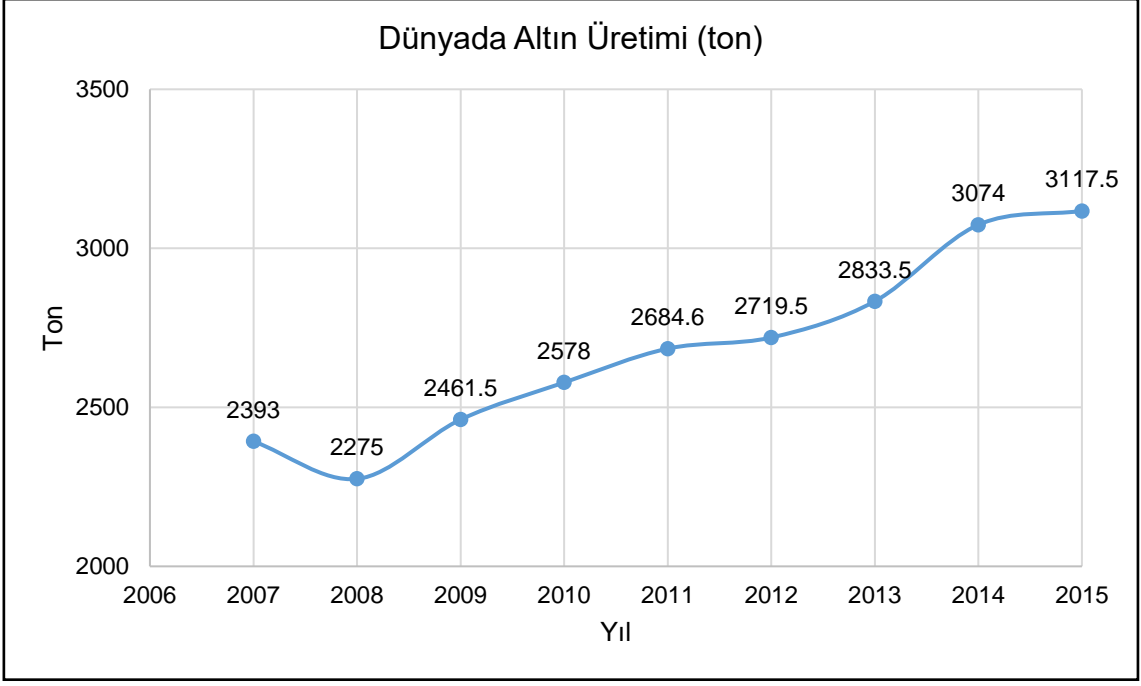
Türkiye'de 2015 yılının altın üretim verilerine bakıldığında 27.9 ton altın üretimi gerçekleştirilmiştir. Türkiye'deki en büyük altın üreticileri 2015 yılı verilerine göre sırasıyla, Tüprag-Kışladağ, Efemçukuru (11.87 ton), Koza Altın İşletmeleri-Himmetdede, Ovacık, Kaymaz (8.27 ton) ve Alacer Gold-Çöpler'dir (6.37 ton) [1]. Türkiye'nin dünyadaki altın üretimi içerisindeki payı 2015 yılı itibariyle %1'dir. Türkiye altın üretimi açısından Avrupa Birliği ülkeleri arasında ikinci sırada yer almaktadır. 2001 yılında 1.4 ton olan altın üretimi 2013 yılında 33 tona kadar

yükselmiştir. Türkiye'nin 2001-2015 yılları arasındaki altın üretimi Şekil 2.1'de verilmektedir.



Şekil 2.1 2001-2015 yılları arasında Türkiye'de altın üretimi

Dünyadaki altın üretimi için ise 2015 yılının verileri incelendiğinde toplam üretim 3117.5 ton olmuştur. En büyük dört altın üreticisi ülkelerin sırası ile Çin Halk Cumhuriyeti (490 ton), Avustralya (300 ton), Rusya (242 ton) ve Amerika Birleşik Devletleri (200 ton) olduğu görülmektedir. Dünyanın en büyük altın üreticisi olan şirketlerinin altın üretimleri 2015 yılı verilerine göre, Barrick Gold 190.3 ton, Newmont Mining 155.3 ton, AngloGold Ashanti 122.8 ton ve Goldcorp 107.6 tondur. 2007-2015 yılları arasında dünyadaki altın üretimi Şekil 2.2'de verilmektedir.



Şekil 2.2 2007-2015 yılları arasında Dünyada altın üretimi

Dünyada altın üretiminin 2008 yılından beri her yıl artarak devam ettiği görülmektedir.

2.2 Altın Zenginleştirme Yöntemleri

Altının zenginleştirme yönteminin belirlenmesi için cevherin mineralojik, jeolojik ve fiziksel özelliklerinin saptanması gerekmektedir. Buna ek olarak cevherin bulunduğu yerdeki çevresel ve coğrafi koşulların da bilinmesi zenginleştirme yönteminin belirlenmesi açısından önemlidir.

Dünyadaki altın zenginleştirme yöntemleri incelendiğinde en çok kullanılan yöntemin siyanürleme olduğu görülmektedir. Altın üretiminin yaklaşık olarak %85'i siyanürleme yöntemleri ile yapılmaktadır. Diğer önemli altın üretim yöntemleri ise kullanım sırasına göre flotasyon, yer çekimi ve amalgamasyon ile zenginleştirilmiştir.

Eski bir yöntem olan amalgamasyonda, altın taneleri ile metalik cıvanın alaşım haline getirilmesi sonucu amalgam formu oluşturulmaktadır. Daha sonra altının cıvadan ayrılması için cıvanın retort fırınında uçurulması gerekmektedir. Bu yöntem, iri altın tanelerinin (30 mikron ve daha iri tane boylarında) işlenmesinde kullanılmaktadır [7]. Fakat cıva kullanımı kaynaklı ortaya çıkan etkilerin insan sağlığına zararlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, alternatif yöntemlere göre düşük altın veriminden dolayı çok tercih edilmemektedir.

Altın madenciliğinde flotasyon uygulamaları 1930'lu yıllara dayanmaktadır. Suda çözünebilen flotasyon toplayıcıları, (özellikle ksantatlar ve ditiyofosfat toplayıcıları) sülfürlü minerallerin flotasyonunu mümkün kılmıştır [8][9][10][11].

Flotasyon, refrakter altın cevherlerinde siyanürleme öncesi tercih edilen bir ön zenginleştirme yöntemi haline gelmiştir. Ayrıca kompleks mineralojiye sahip bazı metal cevherleşmelerinde de altın tanelerinin, sülfürlü mineraller ile bağlı olduğu durumlarda uygun kimyasal koşullar altında ve uygun toplayıcı seçimleri ile konsantreye gelmesi sağlanabilmektedir.

Liç yöntemi ile zenginleştirme, katı haldeki mineralin çözündürülerek sıvı faza geçmesi ve daha sonra altının sıvı ortamdan kazanılması şeklinde gerçekleştirilmektedir. Kompleks veya bazı kuvarslı epitermal cevherlerde olduğu gibi, 5-10 mikron tane boyunda bulunan altının cevherin yapısındaki diğer minerallerin kafes yapıları içerisinde dağılmış olduğu ya da kuvars kapanımları içinde kaldığı durumlarda altının uygun bir çözücü ile sıvı faza geçirilmesi sağlanarak hidrometalurjik zenginleştirme yöntemleri ile altın kazanılmaktadır.

Cevherin özelliklerine bağlı olan bu zenginleştirme yöntemi bakteri, su, alkali, asit ve siyanür liçi gibi değişik yöntemler şeklinde uygulanabilmektedir [12].

En eski zenginleştirme yöntemlerinden birisi olan yer çekimi ile zenginleştirme, minerallerin yoğunluk farkına göre ayrılmasına dayanır. Yer çekimi ile zenginleştirme tanım olarak ise farklı tane boyuna, şekle ve özgül ağırlığa sahip karışım içerisindeki tanelerin yer çekimi kuvveti ve/veya merkezkaç kuvveti ile birbirlerinden ayrılabilmesidir [13]. Yer çekimi ile zenginleştirme hem düşük yatırım ve işletme maliyeti, hem de zenginleştirme sırasında herhangi bir kimyasal kullanılmamasından dolayı ilgi çekmektedir [14].

Bazı cevherlerde siyanürleme işlemlerine rağmen yüksek verim değerleri elde edilememektedir. İri boyda serbest altın taneleri ve altın ile bağlı olarak bulunan kompleks sülfürlü mineraller siyanürleme işlemlerini güçleştirmektedir. İri boydaki altın tanelerinin siyanürleme işlemlerinde yüksek verim ile elde edilebilmesi için sistemdeki durma zamanının artırılması gerekmektedir. Kompleks yapılarına bağlı olarak altın yüzeylerinin kapalı olduğu durumlarda altın tanelerini siyanürleme işlemine karşı dayanıklı hale getirmektedir. Diğer formlardaki altın taneleri, sülfür kafesi içinde kilitli, katı – katı çözültisi şeklinde veya sülfürlü mineraller ile bağlı olarak bulunabilmektedir. Bu durumda, konvansiyonel siyanürleme tesislerinde altın taneleri atığa kaçak yapabilmektedir. Bu sorunlar, genel olarak düşük tenörlü cevherlerin iri boyda öğütülmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Sorunların daha iyi anlaşılabilmesi için yer çekimi ile zenginleştirme ünitelerinin de siyanürleme üniteleri gibi geliştirilmesi gerekmektedir [15].

Teknolojik ilerlemelere bağlı olarak 1990'lı yıllardan itibaren geliştirilen yüksek kapasiteli yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanlarının mineral endüstrisindeki kullanımı artmıştır. Bu ekipmanlar yüksek kapasiteleri ve düşük operasyonel maliyetlerinden dolayı tercih sebebi olmaya devam etmektedir. Özellikle nabit altın tanelerinin kazanımında ve içerisinde altın bulunduran sülfürlü minerallerin siyanürleme öncesi ön zenginleştirme işlemlerinde başarılı uygulamaları mevcuttur. Bu uygulamalar sayesinde tesislerdeki altın kaçakları azaltılmış ve altın kazanım verimlerinde artış meydana gelmiştir.

2.3 Yer Çekimi ile Zenginleştirme

Yer çekimi ile zenginleştirme yönteminde mineraller, yoğunluklarının ve tane boylarının oluşturulan ortam içerisindeki davranışlarına göre sınıflandırılırlar.

Yer çekimi ile zenginleştirme yöntemleri, aralarında özgül ağırlık farkı olan mineralleri yer çekimi ve bir veya birkaç başka kuvvete karşı gösterdikleri dirençlerine göre oluşan bağıl hızlarını kullanarak ayırır. Bu tepkiler çoğunlukla su, hava veya ağır ortam gibi bir akışkanın oluşturduğu harekete karşı gösterilen dirençtir [16][17][18].

Verimli bir yer çekimi ile ayırma işleminde önemli olan değerli mineral ve gang arasındaki yoğunluk farkıdır. Yoğunluk farkı ölçütü ile ayırım hakkında bilgi edinmek mümkündür [19].

$$D_{yfo} = \frac{D_a - D_o}{D_h - D_o}$$

Da: Ağır minerallerin özgül ağırlığı

Dh: Hafif minerallerin özgül ağırlığı

Do: Ayırım ortamının özgül ağırlığı

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. Yoğunluk farkı ölçütü, tane boyuna bağlı olarak uygulanabilecek en uygun ayırma yönteminin belirlenmesini sağlamaktadır [20].

Taggart tarafından tane şekli ve ortam viskozitesinden bağımsız olan yaklaşım sayesinde oluşturulan yoğunluk farkı ölçütü değerleri (Çizelge 2.1) incelendiğinde minerallerin yer çekimi ile ayırma olan uygunluğu belirlenebilmektedir.

Çizelge 2.1 Yoğunluk farkı ölçütü kriteri değerlerine göre uygun tane boyu ve zenginleştirme yöntemi

Yoğunluk Farkı Ölçütü	Tane Boyu Limiti	Ayırım Yöntemi Uygunluğu
>2.50	75 µm ve inceler	Yer çekimi ile zenginleştirmeye uygun.
1.75-2.50	150 µm 'e 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 olamaz. Ağır ortam ile ayırma uygundur.

Son yıllarda birçok şirket, artan flotasyon kimyasal fiyatları, yer çekimi ile zenginleştirme yöntemlerinin flotasyon ile zenginleştirmeye göre kolaylığı ve çok daha düşük oranda çevre kirliliği oluşturmasından dolayı yer çekimi ile zenginleştirme yöntemlerini tekrar değerlendirmektedir. Modern yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanları, geliştirilmiş pompa ve enstrümantasyon teknolojileri ile birleştirildiğinde 50 µm ve daha ince tane boylarında yüksek kapasitelerde verimli bir şekilde zenginleştirme sağlamaktadırlar [21].

Bu yöntem ile serbest halde bulunan ve farklı yoğunluğa sahip mineralleri gravimetrik yöntemle birbirlerinden ayırmak mümkün olmaktadır. Örneğin altının özgül ağırlığı 19.3 g/cm³, kuvarsın özgül ağırlığı 2.65 g/cm³ olduğu için serbest haldeki bu mineralleri sallantılı masa, Falcon, Knelson gibi gravimetrik zenginleştirme ekipmanları kullanılarak birbirinden ekonomik olarak ayırmak mümkün olabilmektedir.

2.4 Yer Çekimi ile Zenginleştirme Ekipmanları

Mineral endüstrisinde ve kömür zenginleştirme işlemlerinde yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanları önemli yer tutmaktadır. Düşük yatırım ve operasyonel maliyetlerinden dolayı tercih sebebi olmaya devam etmektedirler. Birçok şirket tarafından yüksek kapasiteye sahip ve yüksek verimle zenginleştirme sağlayan ekipmanların geliştirilmesi için araştırma ve geliştirme çalışmaları günümüzde de devam etmektedir.

Yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanları olarak incelendiğinde çok farklı tane boyu aralıklarında çalışabilen ayırıcıların mevcut olduğu görülmektedir. İri boylarda serbestleşen cevherlerde ve kömür zenginleştirmede tercih edilen jiglerin yanı sıra, yüksek merkezkaç kuvveti etkisi altında 10 µm tane boyuna kadar verimli bir şekilde zenginleştirme imkânı sağlayan zenginleştirme ekipmanları mevcuttur.

Yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanları günümüzde metalik cevherlerin zenginleştirilmesinde, ön zenginleştirme aşamalarında, düşük yoğunluğa sahip gang minerallerinin uzaklaştırılmasında ve atıklardan metal kazanımı çalışmalarında kullanılmaya devam edilmektedir. Sallantılı masalar yüksek metalürjik performanslarından dolayı kromit cevherlerinin zenginleştirilmesinde kilit rol oynamaktadırlar. Bartles – Mozley masası ve Bartles zenginleştirme bandının kullanımı ile çok ince boyda oluşmuş ve düşük tenörlü minerallerin yüksek verimle kazanılması mümkün olmaktadır. Özellikle kompleks sülfürlü cevher flotasyonu atıklarından yüksek verimle kalay kazanımı operasyonlarında başarılı uygulamaları mevcuttur.

Merkezkaç kuvvetine dayalı olmayan yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanları daralan oluklar, jigler, spiral zenginleştiriciler, sallantılı masalar, ikiz masalar (Gemini), Bartles – Mozley masası, Bartles zenginleştirme bandı ve Reichert konisi olarak sınıflandırılabilir.

Tüm bu zenginleştirme ekipmanları engelli çökelme ortamında tanelerin yoğunluk farklılıklarından faydalanarak ayırım yapma imkânı sağlamaktadır. Bu tip cevher zenginleştirme makineleri (jig hariç) akışkan film yöntemiyle zenginleştirme yapmaktadır. Akışkan bir ortamda taneler üzerine etkiyen kuvvetler ve suyun hız profili incelendiğinde tane yoğunluğunun dışında tane şeklinin de ayırım üzerinde etkisi olduğu bilinmektedir.

Merkezkaç kuvvetine dayalı ayırıcıların geliştirilmesi 1800'lü yılların sonlarına kadar uzanmaktadır. Merkezkaç kuvveti etkisi altında tanelerin çökme hızlarının artırılması hedeflenmektedir. Böylece çökme hızları artan ince boydaki tanelerin yüksek verimle kazanılması sağlanmaktadır. 1900'lü yılların ortalarında Sovyetler Birliği'nde ve Çin Halk Cumhuriyeti'nde bu yönde uygulamalara rastlanmaktadır.

Santrifüj ayırma hakkında yapılan ilk bilimsel çalışma 1960'larda Ferrara tarafından yapılmıştır. Daha sonradan Ferrara tüpü adını alacak bu ilkel cihaz 20 mm çaplı 1100 mm uzunluğunda 2200 rpm ile dönen sert plastikten yapılmıştır. Umut verici sonuçlara rağmen tasarımın doğasında bulunan mekanik zorluklar ticari uygulamasını imkânsız kılmıştır [22].

Santrifüjlü gravite ayırıcıları üç farklı şekilde sınıflandırılabilir: dikey eksenli makineler ve türleri (Knelson, Falcon vb) merkezkaç kuvvetini kullanan jigler ve yatay eksenli makinelerdir (MGS). Dikey eksenli ayırıcılar, özellikle plaser tip yataklardan nabit ve ince altın cevherlerini kazanmak için geliştirilmiştir [22].

Merkezkaç kuvvetini kullanan jiglere Kelsey jigi örnek olarak gösterilebilmektedir. Standart bir jig olup, bir silindire sarılmış ve dikey eksen üzerinde döndürülmektedir [19][22].

Mineral endüstrisinde en çok uygulama alanı bulmuş olan merkezkaç kuvvetine dayalı ayırım yapan cihazlar Falcon, Knelson, yüksek yerçekimli ayırıcı (MGS) ve Kelsey jigi'dir. Merkezkaç kuvveti etkisi altında, tanelerin yükselen çökme hızlarından dolayı ince ve çok ince tane boylarında altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde başarılı uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir.

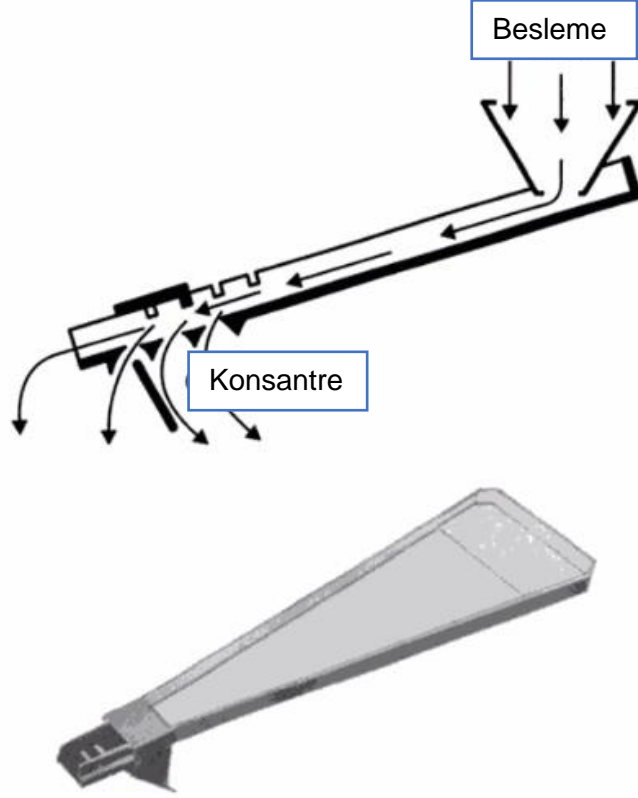
Yer çekimi ile zenginleştirme yöntemi kullanılarak yapılan altın kazanımı uygulamalarının çoğunda ekipmanı yerleştirmek için doğru yer öğütme devresidir. Siklon üstü akışında bulunan ince boydaki altının sallantılı masada zenginleştirilebilmesi çok zordur [23].

2.4.1 Merkezkaç Kuvveti Uygulanmayan Yer Çekimi ile Zenginleştirme Ekipmanları

2.4.1.1 Daralan Oluk

Cevher hazırlamada değişik biçimlerdeki oluklar yüzyıllardır ağır minerallerin ayrımı için kullanılmaktadır. Bu ekipmanlar yer çekimi ile zenginleştirmede kullanılan en eski ekipmanlardan biridir. Oluklama hareketi doğada da gözlemlenmektedir. Şiddetli bir sağanak yağıştan sonra mineralleşmiş alanlarda ağır minerallerin ortaya çıkması, sahillerde gel - git hareketiyle ağır minerallerin zenginleşmesi ve nehir hareketiyle malzemenin uzaklaştırılması doğada yaygın olarak gözlenen durumlardır [24].

Ekipman akış yönünde daralan eğimli bir kanaldan oluşmaktadır. Palp geniş olan üst kısımdan yüzeyin tamamını kaplayarak ve ince bir tabaka oluşturacak biçimde beslenir. Çıkış ucuna doğru oluğun daralması nedeniyle, oluk yüzeyinde palpın bu akışı eğime bağlı olarak yer çekimi ile gerçekleşir. Akışın doğası nedeniyle ağır taneler oluğun dar olan çıkış ağzındaki tabakanın alt kısmına yerleşerek akar. Bu sırada hafifler tabakanın üst kısmında toplanır. Olayın nedeni, oluktaki daralmaya bağlı olarak film tabakasının kalınlaşması sonucunda, engelli çökelme koşullarının oluşması ve taneler arası boşluklardan sızma olayının gerçekleşmesi ile açıklanmaktadır. Sonuçta oluğun çıkışında uygun bir yere konulan bölücüyle veya yarıkla ağır ve hafif minerallerin ayrılması mümkün olmaktadır [25][24]. Daralan olukların görünümü Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Daralan oluk görünümü

Daralan oluklardaki işletme parametreleri şu şekilde sıralanabilmektedir. Palp yoğunluğu, besleme malzemesinin hazırlanması, tane boyu sınırları ve yoğunluk farkı ölçütü, oluk boyutları, bıçak konumu ve oluğun eğimidir. Daralan oluklara beslenecek palp yoğunluğunun %40 ile %65 arasında olması gerekmektedir. Özellikle oluğun daralan kısımlarında oluşan engelli çökeltme koşullarında ve türbülans hareketleri üzerinde palp yoğunluğunun önemi büyüktür. Oluğa besleme yapılacak malzemelerde ön bir sınıflandırmaya ihtiyaç duyulmazken kil minerallerinin varlığı oluk performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Daralan oluk uygulamalarında tane boyunun 4 mm'den büyük olmaması ve genellikle 2 mm'den küçük tane boylarının işlenmesi gerekmektedir. Optimum tane boyu çalışma aralığının ise 0.005 mm ile 0.05 mm arasındadır [25].

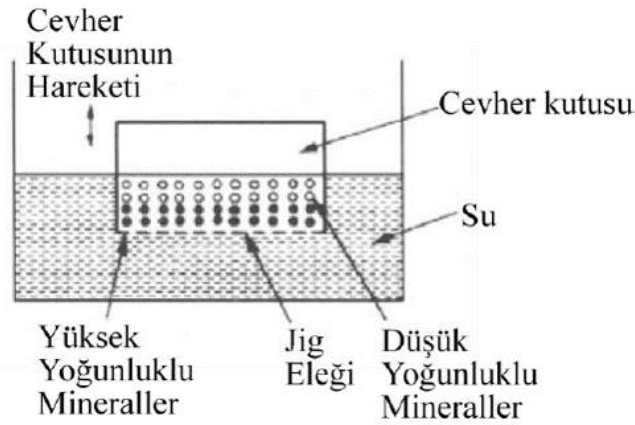
Bu ekipman ile ayrılacak mineraller arasındaki özgül ağırlık farkı 1 g/cm³'den küçük olmamalı ve etkin bir ayırım gerçekleşebilmesi için yoğunluk farkı ölçütü değerinin 1.7'den büyük olması gerekmektedir. Ayrıca besleme malzemesi içindeki ağır mineral oranının %2'den az olmaması gerekmektedir. Bu değer altında tabakalanma oluşmadığından yeterince iyi bir ayırım olmamaktadır [26].

Bölücü bıçağın konumu ise doğrudan ayırımın verim ve tenörü üzerinde etki göstermektedir. Bıçak konumuna göre istenilen verim ve tenör değerlerinde malzeme üretilmesi mümkün olabilmektedir. Birden fazla oluğun kullanıldığı akım şemalarında bıçak konumu, elde edilmek istenilen tenör değerlerine göre ayarlanmaktadır.

Diğer yer çekimiyle zenginleştirme ekipmanlarıyla karşılaştırıldığında, ekipman düşük yatırım ve işletim maliyetine sahiptir. Enerji sadece palp transferi için gereklidir. Hareketli parçası yoktur, montajı kolaydır, üretimi kolay olduğu için işletme parametreleri belirlendiği takdirde herhangi bir tesis olanakları ile büyük ölçüde yerli malzeme ve teknoloji kullanılarak üretilir. Düşük maliyetle üretilebilecek çeşitli boyutlarda oluklarla, tesis ölçeğinde kullanılması gereken en uygun oluk geometrisi saptanabilir. Buna karşılık tek kademe ayırımında tenör yükselmesi düşüktür. Bu nedenle, genellikle birkaç kademeli ayırım yapılması gerekmektedir. Gözden kaçırılmaması gereken önemli bir nokta da daralan olukların diğer yer çekimi zenginleştiricilerine oranla besleme ve palp koşullarına karşı daha duyarlı olmalarıdır. Palp yoğunluğunun belirli sınırlar içinde tutulması zorunludur. Bu sınırların dışına çıktığında verim ve tenör ani olarak düşer. Şlama karşı oldukça hassastır. Bu nedenle, şlamın önceden uzaklaştırılması gerekmektedir [27].

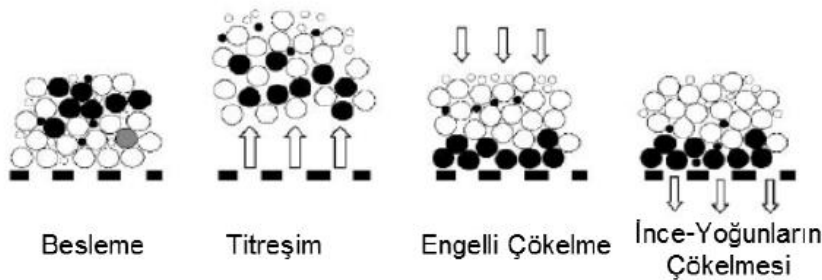
2.4.1.2 Jig

Jiglerde oluklar gibi yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanlarının en eskilerinden biridir. Jiglerin etkin bir performans gösterebilmeleri için 3-10 mm tane boyu arasında iri tanelerle ve dar bir besleme aralığında çalıştırılması gerekmektedir. Ancak beslenen cevherin içerisindeki minerallerin aralarındaki yoğunluk farkı fazla ise daha geniş bir tane boyu aralığında besleme yapılabilir. Jig yoğunluk farkı arttıkça daha iyi ayırım yapabilmektedir [19].



Şekil 2.4 El jiginin şematiksel gösterimi

Jiglerin çalışma prensibi ise, su doldurulmuş bir teknenin içerisine önceden yerleştirilmiş elek veya ızgara yüzeyinin üzerinde bulunan, yoğunluğu ve tane boyları birbirinden farklı minerallerin suyun emme basma kuvvetinden ve bu tanelerin farklılıklarından yararlanarak zenginleştirme yapmaktır (Şekil 2.4) [28]. Jig hareketiyle yatakta oluşan değişim Şekil 2.5'de gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Jig hareketiyle yatakta oluşan değişim

Jig genel olarak kömür yıkama amacıyla kullanılmaktadır. Kömürler sınıflandırılmaksızın kömür jiglerine beslenebilir. Kolay yıkanabilen kömür cevherlerinde yoğunluk farkının az olması kömür jiglerinde ayırım yapılması konusunda bir problem yaratmamaktadır [19].

Jig en çok kullanıldığı alanlardan birisi olan kömür zenginleştirmeden başka tungsten, altın, barit, kasiterit ve demir zenginleştirme tesislerinde de kullanılmaktadır [19].

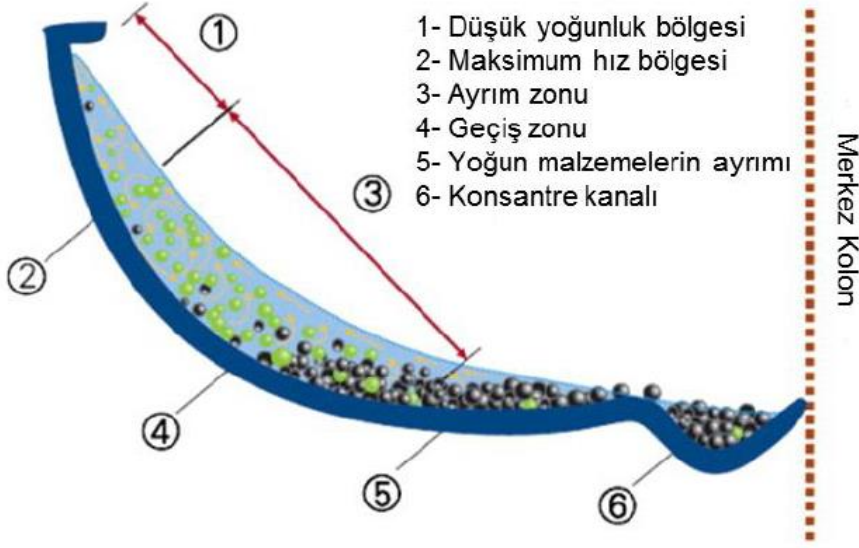
Endüstride kullanılan önemli jig türleri ise, Harz jigi, Denver mineral jigi, IHC jigi, Baum jigi, Batac jigi, Kelsey jigi ve IPC jigidir.

2.4.1.3 Spiral Zenginleştirici

Spiral zenginleştiriciler, düşük maliyetli yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanları olup özellikle düşük besleme tenörlerine sahip cevherlerin ön zenginleştirme çalışmaları için cevher hazırlama sektöründe tercih edilmektedir. Yıllar içerisinde farklı tasarımlarda modern spiral zenginleştiriciler üretilmiş olsa da, 1940 yılından beri, spirallerin temel prensipleri neredeyse hiç değişiklik göstermemiştir [29].

Metalik cevherler, endüstriyel mineraller ve sahil kumlarını zenginleştirme uygulamalarında ve kömür yıkama endüstrisinde, spiral zenginleştirici uygulamaları dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır [30].

Spiral zenginleştiriciler genellikle bir destek kolonu ve onun etrafına sarılmış yarım daire kesitli fiberglas malzemedan oluşmaktadır. Farklı sarım tipleri ve açıları ile üretilmektedir. Özellikle kömür zenginleştirme işlemlerinde kullanılan spiraller hem sarım sayısı hem de sarım açısı bakımından mineral zenginleştirme için kullanılan spiral zenginleştiricilerden farklılık göstermektedir. Spiral zenginleştiriciler farklı bıçak tasarımları ile ara ürün alınabilmesine olanak sağlamaktadır. Böylece bıçak konumlandırıcı ayarı ile istenilen verim ve tenörde malzeme elde edilebilmektedir. Spiral zenginleştirici üniteleri kaba devre, temizleme devresi ve yakalama devresi olacak şekilde dizayn edilebilmektedir. Böylece kaba devreden elde edilen malzeme temizleme devresinde istenilen tenör değerine yükseltilebilmektedir. Ayrıca kaba spiral devresinin atığı yakalama devresine ait spirallerde tekrar işlenerek değerli mineral kaçaklarının azaltılmasını sağlamaktadır. Hareketli herhangi bir parçası olmayan spirallerin bakım ve işletme maliyetleri oldukça düşüktür. Spiral zenginleştiricilerinin kesit görünümü Şekil 2.6'da gösterilmektedir [31].



Şekil 2.6 Spiral zenginleştiricilerinin kesit görünümü

Spiral zenginleştiricilerin tasarım değişkenleri incelendiğinde; spiral kesiti ve eğimi spiral boyu, spiral çapı, spiral yüzeyi ve yıkama suyu olduğu görülmektedir. Spiral kesiti ve eğimi için farklı çalışmalar gerçekleştirilmiş olup en yüksek metalürjik performansa sahip kesit, farklı cevher türleri için deneysel çalışmalar sonucunda belirlenebilmektedir.

Spirallerin işletim parametreleri şu şekilde sıralanmaktadır: tane boyu, tane şekli, minerallerin serbestleşme dereceleri, besleme tenörü, besleme malzemesinin yüzde katı içeriği, besleme hızı ve besleme rejimidir.

Spiral zenginleştiriciler 2 mm ile 30 mikron tane boyları arasında bulunan minerallerin zenginleştirilmesi amacı ile kullanılır. Beslemenin % katı içeriği ayırım verimi üzerinde önemli bir rol oynarken, spiral ile zenginleştirme işlemlerinde uygun % katı içeriğinin %15-45 arasında olması gerekmektedir. Bununla birlikte, yüksek katı içeriğine sahip beslemelerde palp akışının rejimi bozulmakta ve engelli çökeltme koşullarını olumsuz yönde etkilemektedir.

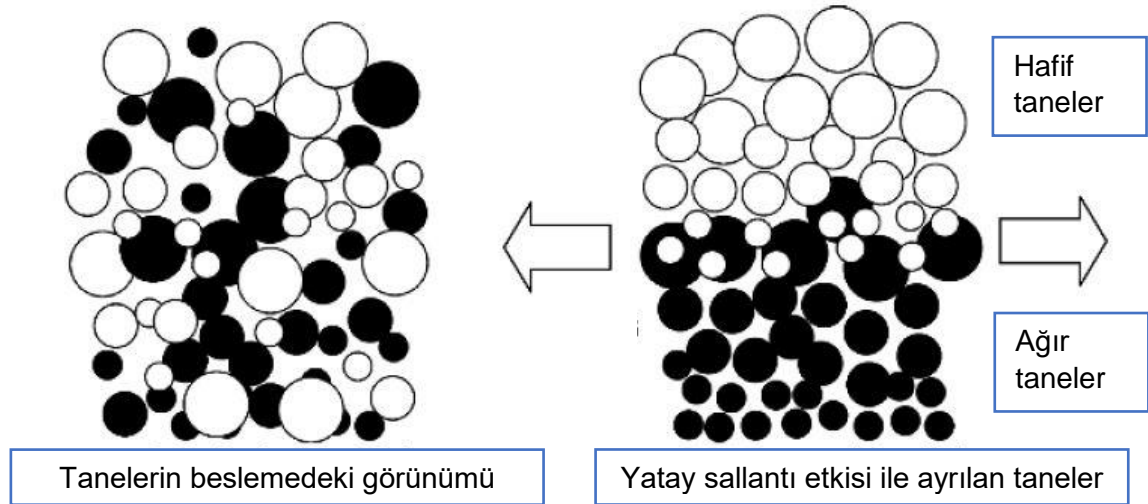
Spiral operasyonlarında, diğer önemli bir konu ise beslemenin hızı ve rejimidir. Besleme hızının spiral kapasitesi ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı spiral seçimi yapılırken besleme hızı da göz önünde bulundurulmak zorundadır. Aksi takdirde yüksek besleme hızları ile küçük çapta spirallerin kullanılması sonucu ayırım veriminde ciddi düşüşler yaşanabilmektedir. Spiral bataryalarında besleme yükünün eşit bir şekilde dağıtılması besleme rejimi açısından dikkat edilmesi gereken

konulardan birisidir. Besleme yükünün eşit dağılmaması sonucunda verim ve tenör değerlerinde dalgalanma meydana gelebilmektedir. Tasarım ve işletme parametreleri göz önüne alındığında spiral ünitelerinin dağıtıcı ekipmanlarının titizlikle dizayn edilmesi gerekmektedir.

2.4.1.4 Sallantılı Masa

Sallantılı masalar günümüzde en sık kullanılan yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanlarından biridir. Sallantılı masa cevheri oluşturan çeşitli minerallerin aralarındaki yoğunluk farkından faydalanarak, minerallerin yoğunluğuna göre ayırım yapan bir ekipmandır.

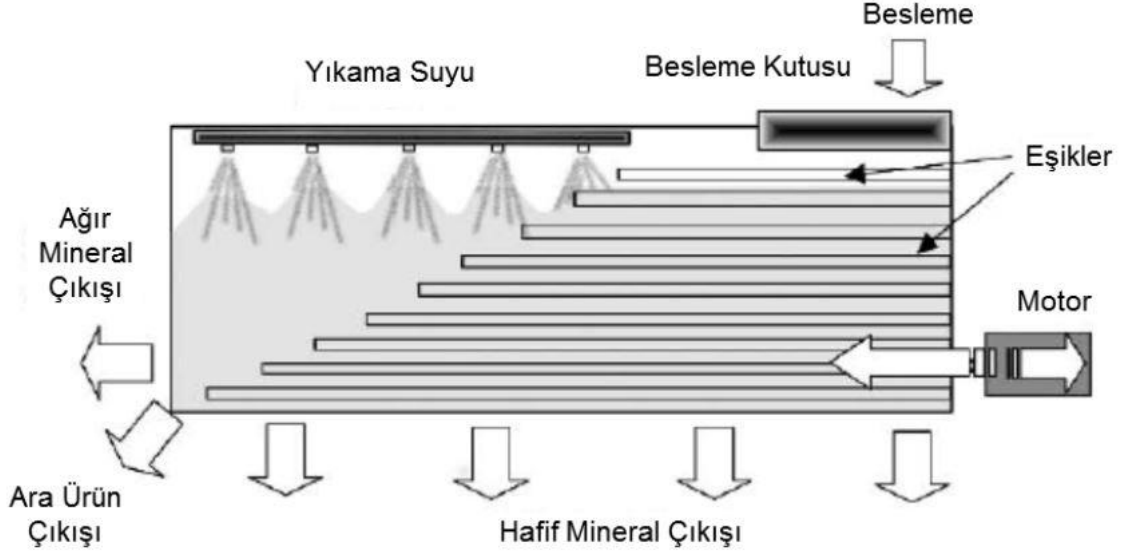
Sallantılı masalar, suyun etkisini kullanarak ayırım yapan, üzerlerinde masanın türüne ve özelliğine göre belli yükseklikte ve düzende eşikler bulunduran eğimli zenginleştirme ekipmanlarıdır. Sallantılı masalar yatay ile birkaç derece açı yapacak şekilde yerleştirilmektedir [25]. Sallantılı masalar türüne göre paralel kenar, dikdörtgene benzer yamuk veya V şeklinde bir ekipmandır. Masanın ayırım yapmasında serbest akış, asimetric masa hareketi ve engelli çökme gibi fiziksel olaylar etkindir [20]. Sallantılı masalarda yatay sallantı hareketi ile tanelerin ayrılması Şekil 2.7'de gösterilmektedir [20].



Şekil 2.7 Yatay sallantı hareketi ile tanelerin ayrılması

Şekilde de görüldüğü gibi sallantılı masada hareketin etkisi ile altta ağır tanelerin üstte ise hafif tanelerin görüldüğü bir tabaka oluşur. Sallantılı masalar yer çekimi kuvvetini kullanarak ayırım gerçekleştirirken, sallantılı masanın üzerindeki taneler temel olarak birbirine dik olan iki kuvvetin etkisinde kalırlar. Bu kuvvetler akan sıvı

filmi ve asimetrik olarak sallanan masanın hareketidir. Sallantılı masa hareket ederken ileriye doğru yavaş giderken, geriye doğru hızlı ve sert bir şekilde dönüş yapar. Bu hareket ayırım performansını olumlu etkiler. Akışkan suyun da etkisiyle hareketlenen taneler konsantre, ara ürün ve atık olarak alınabilirler. Sallantılı masa ekipmanının üstten görünümü Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Sallantılı masa ekipmanının üstten görünümü

Yoğunluk farkından yararlanılarak yapılan ayırma işleminde sallantılı masa çalıştırılmaya başlandıktan sonra üst kısmından su verilmeye başlanmaktadır. Daha sonra beslemenin başlaması ile ekipman ayırım yapmaya başlamaktadır. Beslemeye en yakın noktadan atık, en uzak noktadan ise konsantre alınmaktadır.

Masanın ayırım mekanizmasında ince hafif, iri hafif, iri ağır ve ince ağır taneler olmak üzere ayırım gerçekleşmektedir. Bu tanelerden iri hafif olanlar atığa, ince hafif, iri ağır olanlar ara ürüne, ince ağır olan taneler ise konsantreye gitme eğilimi gösterir. Beslenen cevherin özelliğine göre tam serbestleşmemiş olan tanelerde bu durum değişiklik gösterebilir. Sallantılı masalar endüstriyel uygulamalarda daha iyi sonuç vermesi amacıyla genellikle minerallerin çökme hızlarını kullanarak ayırım yapan hidrolik sınıflandırıcılardan sonra kullanılmaktadır. Bunun sebebi beslenen cevherin tane boyları birbirine yakın değil ise masanın çalışma veriminin düşmesidir.

Masanın üzerinde bulunan eşikler sallantı hareketini tanelere iletmekte olup aynı zamanda tanelerin suyun etkisi ile direk olarak masanın dışına itilmesini engellemektedir [20].

Besleme yapılmaya başlandıktan sonra taneler eşiklere gelmektedir. Eşiklere dik olarak akan su eşiklere çarpar ve eşiklerin üzerinden aşmak için yükselirken çalkalanma etkisi oluşturur. Bu suyun yükselmesi sırasında küçük taneler yukarıya çıkabilir, bu durum engelli çöküş hareketidir. Her eşikte oluşan bu engelli çöküş hareketi iri ağır tanelerin ince hafif tanelerden ayrılmasında etkindir [12]. Eşiklerde aynı zamanda en ince ve en ağır olan taneler en alta çökerken, en iri ve en hafif olan taneler ise en üste çıktığından bu taneler eşikleri daha kolay aşarak masayı terketme eğilimi göstermektedir.

Sallantılı masalarda operasyonu etkileyen faktörler olarak tane boyu, beslenen cevherin katı oranı, eşiklerin düzeni ve yüksekliği, su hızı, besleme miktarı, masanın genliği, masanın hızı ve son olarakta masanın eğimi gösterilebilir.

Sallantılı masalar yüksek seçimlilikte ve yüksek zenginleştirme oranına sahip ekipmanlardır. Aynı zamanda masa üzerindeki ayrımı gözlemleyerek değişiklikler yapılabilmesi gibi avantajları vardır. Ancak düşük kapasiteleri, büyük bir alana ihtiyaç duymaları ve tecrübeli bir operatör tarafından devamlı gözlem altında tutulma gereklilikleri gibi dezavantajları da vardır [14].

Sallantılı masalara beslenen tane boyu genel olarak 3-0.01 mm arasındadır [19]. Çalışma hızları dakikada 240-325 devir olup, beslemedeki katı oranları ise ağırlıkça %20-25 arasındadır. Kömür uygulamalarında katı oranları ağırlıkça %33-40 düzeylerine çıkabilmektedir. Masanın eğimi ise beslenecek cevherin boyutuna ve ayrılacak minerallerin özgül ağırlığına, ayırma cinsine ve kullanılacak yıkama suyunun miktarına göre 1 ile 10 derece arasında değiştirilebilir. Sallantılı masaların kapasiteleri de cevher özelliklerine bağlı olarak 0.5 ton/saat ile 2 ton/saat aralığındadır [12].

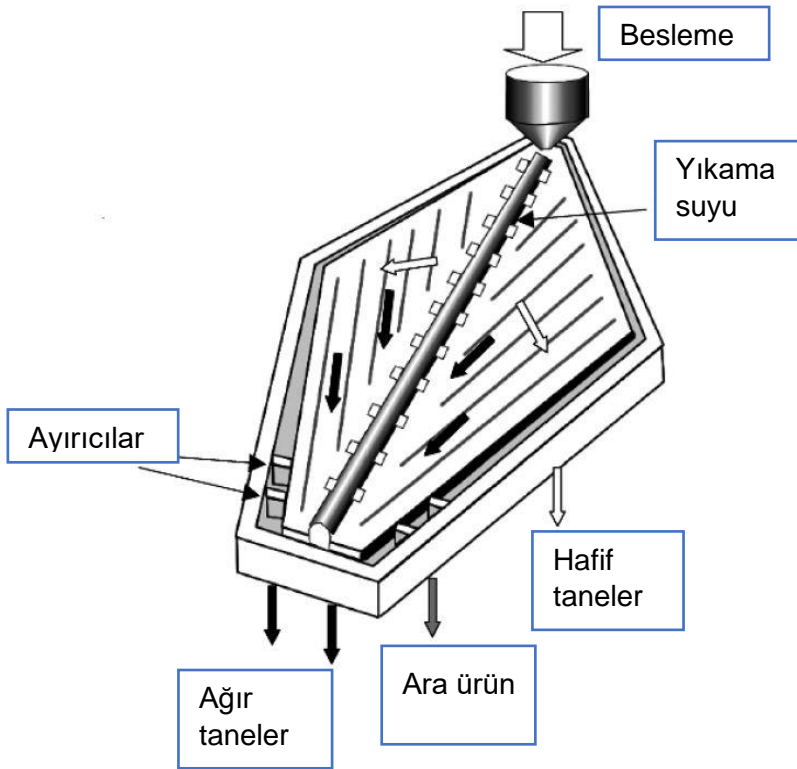
Ülkemizde ve dünyada kromit, kalay, demir, barit, rutil, ilmenit, zirkon, monazit, kömür, tungsten, mika, altın, gümüş, toryum zenginleştirme tesislerinde kullanılmaktadır.

Modern sallantılı masalar Wilfrey tarafından 1896 yılında geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sallantılı masa geliştirildiği ilk günden beri birçok mineral konsantresi üretiminde kullanılmaktadır [20]. İkinci en çok kullanılan sallantılı masa türü ise Deister masalarıdır. Endüstride Wilfrey masalarından sonra en çok tercih edilen sallantılı

masa türüdür. Günümüzde sallantılı masaların kapasitelerinin artırılması amacı ile çok katlı (en fazla 3) sallantılı masalar da kullanılmaktadır.

2.4.1.5 İkiz Masalar (Gemini)

Gemini masaları genellikle altın zenginleştirmesinde kullanılan yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanlarıdır. Bu masa türü diagonal olarak birleştirilmiş sallantılı masa görünümündedir. Masanın beslemesi masanın başlangıcından yapıldıktan sonra sallantı hareketi ile kenarlara doğru dağılmaktadır. Gemini masasının görünümü Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Gemini masasının görünümü

Gemini masalarının üzerinde geleneksel sallantılı masalardan farklı olarak eşikler yerine kanallar bulunmaktadır. Ağır taneler bu kanallarda kalırken, hafif taneler ise kanalların üstünden yıkanarak masayı terk ederler [20]. Yıkama suyu gemini masasının ortasından verilir. Kanallarda toplanan ağır taneler masanın ucuna doğru gelirken hafif taneler ise kenarlara doğru yayılırlar.

Gemini masası düşük kapasiteli bir ekipmandır. Diğer yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanlarının altın konsantrasyonunu bir kademe daha zenginleştirme amaçlı kullanılmaktadır. Bu ekipmanın en büyük avantajı çok yüksek tenör ve verimde altın

konsantresi üretilebilmesidir [20]. Gemini masalarının besleme tane boyu 1168 mikrondan küçük olup, maksimum besleme miktarı 545 kg/saattir [32].

2.4.1.6 Bartles – Mozley Masası

Bartles – Mozley masaları çok ince tanelerin zenginleştirilmesinde kullanılır. 5 – 100 mikron tane boyu aralığında çalıştırılabilir. Bu masalar kesikli çalışma prensibine göre çalışan bir ekipman olup konsantresi genellikle Bartles zenginleştirme bandına beslenir. Yani ekipman ön konsantrasyon üretme amaçlı kullanılır. Bartles – Mozley masasının görünümü Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

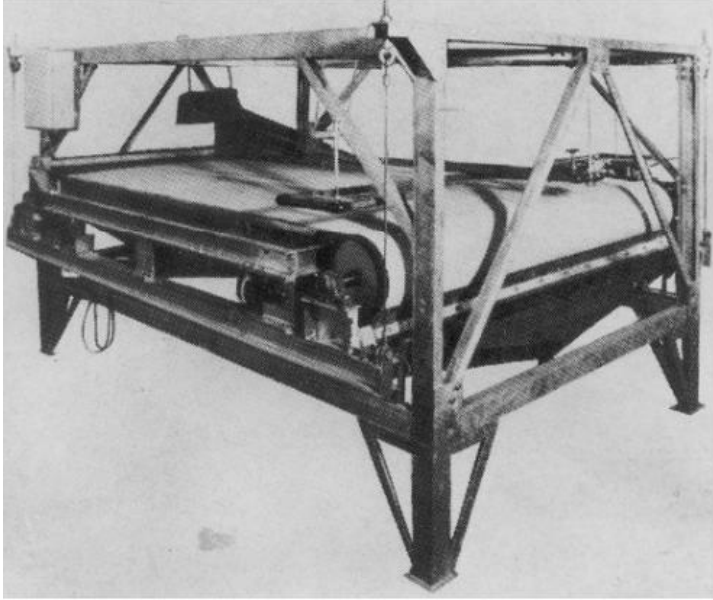


Şekil 2.10 Bartles – Mozley masası görünümü

İlk olarak 1967 yılında Kalay zenginleştirilmesi için kullanılmaya başlanmıştır [20]. Bartles – Mozley masaları çalışırken orbital bir hareket yapar ve bu hareket malzeme yatağında kesme kuvvetleri oluşmasına neden olur. Ayırma, malzeme süspansiyonunun su filminin ve Bartles – Mozley masasının hareketi ile sürekli bir kesme kuvvetine maruz kalması ile meydana gelir. Ekipmana 35 dakika boyunca besleme yapıldıktan sonra besleme kesilir ve masaya atığın alınması için eğim verilir. Önce atık daha sonra konsantre yıkanarak alınır [33]. Bu ekipmana 5 ton/saat'e besleme yapılabilir [20].

2.4.1.7 Bartles Zenginleştirme Bandı

Endüstrideki temel zorluklardan birtanesi 100 mikronun altındaki taneleri yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanlarını kullanarak zenginleştirmektir. Bartles zenginleştirme bandı Bartles – Mozley masalarından elde edilen 5-100 mikron aralığındaki konsantrelerin nihai zenginleştirilmesinin yapılması için geliştirilmiştir.



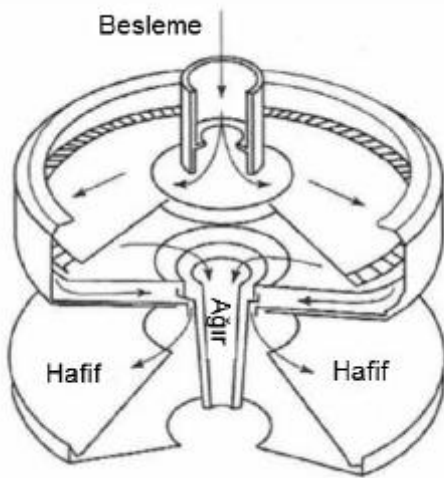
şekil 2.11 Bartles zenginleştirme bandı görünümü

Bartles zenginleştirme bandı 2.5 metre genişliğinde olup, merkezinden yanlarına doğru hafif bir eğimle tasarlanmıştır. Bant dört yanından çelik halatlar ise şasesi üzerinde asılı durmaktadır (şekil 2.11). Bant dönmeye başladığında, bütün şasesi de bant ile birlikte yörüngesel olarak hareket etmeye başlamaktadır. Besleme malzemesi ilk olarak bandın ortasına yapılmakta olup bandın hareket etmeye başlaması ve suyun akışı ile birlikte ağır olan mineraller bant üzerinde kalırken, bandın yaptığı yörüngesel hareket ile askıda kalan hafif mineraller de bandın kenarlarına doğru akma eğilimindedirler. İlk olarak hafif mineraller alınırken daha sonra bant üzerinde kalan ara ürün yıkanarak bandın yan kısımlarına alınır. Son olarakta ağır mineraller bandın uç kısmından konsantreye alınır [34].

2.4.1.8 Reichert Konisi

Reichert konisi yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanı olup, 1960'lı yılların başında titanyum içeren sahil kumlarının zenginleştirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu konuda gösterdiği başarılı performanstan sonra birçok farklı alanda kullanılmaya başlanmıştır [19].

Reichert konilerine besleme ortadan yapılmakta olup beslenen palp Reichert konisinin tüm yüzeyine dağılmaktadır. Reichert konileri birbirleri ile bitişik ve ters şekilde durmaktadır. Aynı zamanda eğimli şekilde duran bu konilerin bu duruş şekilleri ayırım yüzeylerini oluşturmaktadır. Beslenen malzeme koninin merkezine doğru giderken, ağır olan taneler aşağıya doğru hareketlenmekte ve burada biriken ağır taneler koninin altındaki dairesel boşluktan sistemi konsantre olarak terk etmektedir. Boşluktan suyun yardımı ile akan taneler ise atık olarak sistemi terk etmektedir [20]. Reichert konilerinde genellikle konsantredeki katı oranı ağırlıkça %70, ara üründe ağırlıkça %65, atıkta ise ağırlıkça %30'dur [28]. Reichert konisinin kesit görünümü Şekil 2.12'de gösterilmektedir [35].



Şekil 2.12 Reichert konisinin kesit görünümü

Reichert konileri fiberglass malzemeden üretilmekte olup dairesel çerçeveler şeklinde yerleştirilerek 6 metre yüksekliğe kadar ulaşabilirler. Her koniğin çapı 2 metre olup içerisinde hareketli bir parça bulunmamaktadır [19]. Reichert konisi yüksek kapasiteli bir ekipman olup 65-90 ton/saat aralığında çalıştırılabilir. Besleme katı yüzdesi olarak ise çalışma aralığı ağırlıkça %55-70'tir. Besleme tane boyu 3

mm'ye kadar olabilmesine rağmen önerilen tane boyu aralığı 100-600 mikrondur [36].

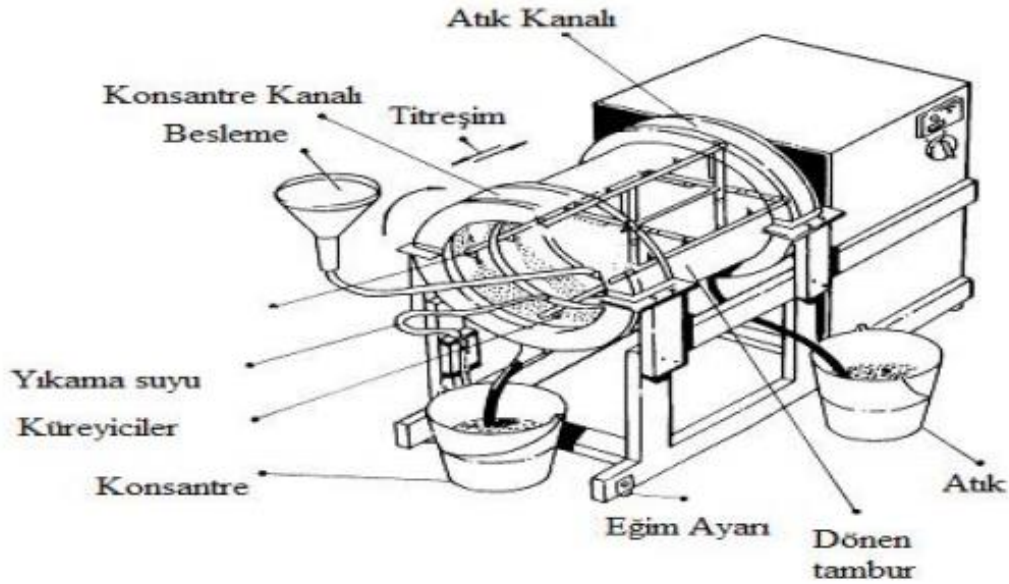
Reichert konileri altın, kromit, demir, titanyum gibi minerallerin ve ağır mineral içeren kumların zenginleştirilmesinde kullanılabilir.

Bu ekipmanların operasyon maliyetleri spiraller ve sallantılı masalara göre daha az olup, ilk kurulum maliyetleri de oldukça düşüktür [20].

2.4.2 Merkezkaç Kuvveti Uygulanan Yer Çekimi ile Zenginleştirme Ekipmanları

2.4.2.1 Yüksek Yerçekimli Ayırıcı (MGS)

Yüksek yerçekimli ayırıcılar ince ve çok ince tane boyundaki minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılır [20]. Yüksek yerçekimli ayırıcılar görünüş olarak konvansiyonel bir sallantılı masanın yüzeyinin tambur içerisine yayılmasına ve bu oluşturulan silindirik tamburun döndürülmesine benzemektedir. Kullanılan yer çekimi kuvvetinin, standart yer çekimi kuvvetinden defalarca kat büyük olması ince tane boyundaki minerallerin zenginleştirilmesini büyük oranda arttırmaktadır. Pilot ölçekli bir yüksek yerçekimli ayırıcının görünümü Şekil 2.13'de gösterilmektedir [37].



Şekil 2.13 Pilot ölçekli yüksek yerçekimli ayırıcı (MGS)

Şekilde görüldüğü gibi ekipman belirli hızda döndürülmeye başlandıktan sonra hareketlenen tamburun orta kısmından besleme yapılmaya başlanmaktadır. Tamburun içerisindeki taneler bir merkezkaç kuvvetinin etkisi altına girerler. Bu tanelerden yüksek yoğunluklu olanlar bu kuvvetin etkisi ile tambur yüzeyine tutunurken burada yarı katı bir tabaka oluştururlar. Düşük yoğunluklu olanlar ise kullanılan yıkama suyunun da etkisi ile sistemi alt kısımdan terk ederler. Tambur yüzeyine tutunan yoğun mineraller ise tamburun içerisindeki ve tamburun eksenine 60 derece açı ile yerleşen küreyiciler sayesinde üst kısımdan sistemden ayrılırlar.

Taneler üzerine etki eden yer çekimi kuvveti standart yer çekimi kuvvetinden 6 – 24 kat daha büyüktür. Bu farklılık ve tamburun gövdesindeki salınım hareketi sayesinde

yüksek yerçekimli ayırıcılar konvansiyonel sallantılı masalara göre 5 kat daha küçük boyutlu taneleri ayırabilirler [34].

Tamburun eğimi beslenecek olan mineralin tane boyuna ve yoğunluğuna göre 0 ile 5 derece arasında değiştirilebilir. İri ve yoğun mineraller için yüksek eğim tercih edilirken, ince ve yoğun olmayan mineraller için ise düşük eğim tercih edilmektedir.

Yüksek yerçekimli ayırıcıların işlem parametreleri tamburun hızı, besleme miktarı ve yoğunluğu, tambura verilen titreşimin yoğunluğu, yıkama suyu miktarı ve tamburun eğim açısı olarak gruplandırılabilir.

Yüksek yerçekimli ayırıcıların en büyük avantajları yüksek kapasiteleri, kompakt boyutları, yalnızca bir dönen parçalarının olması, maliyetlerinin düşük olması, kolay temizlenebilmeleri ve yüksek verimde çalıştırılabilmesidir [20]. Bunlardan ayrı olarak operasyonunun basit olması ve 15-20 mikron tane boyuna kadar zenginleştirme yapılabilmesi gibi avantajları da vardır [14].

Yüksek yerçekimli ayırıcılar endüstriyel uygulamalarında ağır mineraller için 30 ton/saat, kömür için ise 50 ton/saat kapasitesine çıkabilmektedir [12]. Yüksek yerçekimli ayırıcı altın, krom, kalay, tungsten, demir, barit, kömür ve nadir toprak minerallerinin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır.

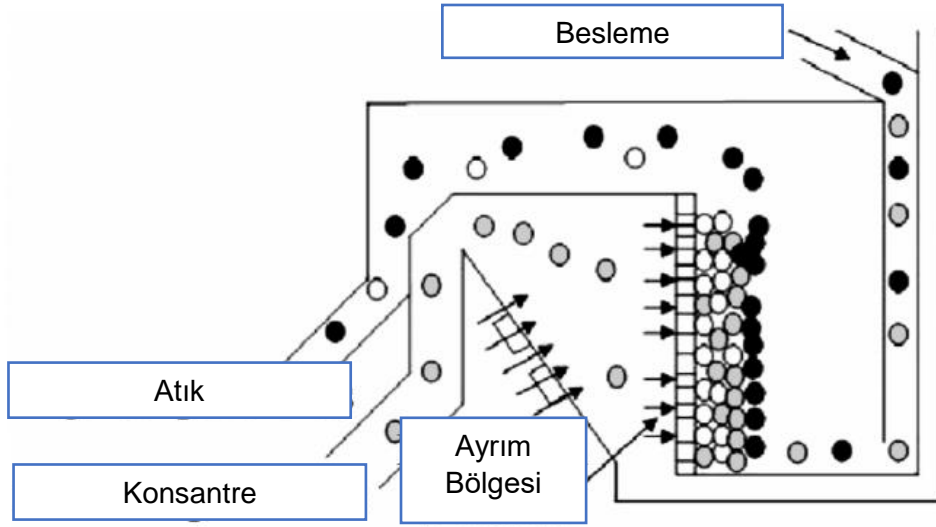
2.4.2.2 Kelsey Jigi

İnce tane boyundaki minerallerin zenginleştirilmesi amacıyla geliştirilen Kelsey jigi ilk olarak Avustralya'daki Renison Bell kalay madenine 1992 yılında kurulmuştur [38].

Santrifüj kuvveti ile konvansiyonel jigleme prensibini bir araya getiren Kelsey jigi bu özelliği sayesinde ince mineralleri yoğunlukları aralarındaki fark az dahi olsa verimli bir şekilde ayırım yapabilmektedir. Kelsey jigi ile yapılan uygulamalarda yoğunluğu 4.4 g/cm^3 olan zirkon ile yoğunluğu 3.2 g/cm^3 olan kyanitin ayrılabilirdiği görülmektedir. Kelsey jigi 10 mikrona kadar tane boylarında dahi zenginleştirme yapabilirken aynı zamanda yer çekimi kuvvetinin 60 katına kadar çıkabilmektedir.

Kelsey jigi bölmelerle sarmalanmış bir kazan içermektedir. Bölmeler dışarıya doğru gönderilen konsantreyi ve pulsasyon suyunu tutmak için tasarlanmıştır. Ayrıca jigin içerisinde bulunan tel yapılı elek içeride yataklanmış malzemeleri tutma işini görmektedir. Bu diyafram, motor yardımıyla pulsasyonu sağlar. Seçilen yataklanma malzemeleri beslenen minerallere göre ara yoğunluktadır. Bu malzemeler ağır ve

hafif minerallerin ayrılması amacıyla tel eleğin üzerine yerleştirilir. Besleme merkezkaç kuvvetiyle birlikte kazanın içerisindeki dönmenin de etkisiyle yataklanma malzemeleri ile bir araya gelir. Hem yüksek frekansın hemde sıralı vuruşların etkisiyle yatak hareketlenmeye başlar. Bu vuruşların sonucunda yoğunluklarına göre farklı şekilde hareketlenen mineraller ağır ve hafif mineraller olarak toplanırlar. Ağır mineraller, oluşturulan yataklanma eleğinin altına geçtikten sonra dışarı atılır. Hafif mineraller ise ekipmanın üzerinden taşmak suretiyle dışarıya doğru akar [39][40]. Kelsey jigi kesit görünümü Şekil 2.14’de gösterilmektedir.



Şekil 2.14 Kelsey jigi kesit görünümü

Kelsey jigi ince tane boylarında kalay, tantal, altın, nikel, tungsten, demir ve krom zenginleştirme tesislerinde başarılı bir şekilde çalışmaktadır [38].

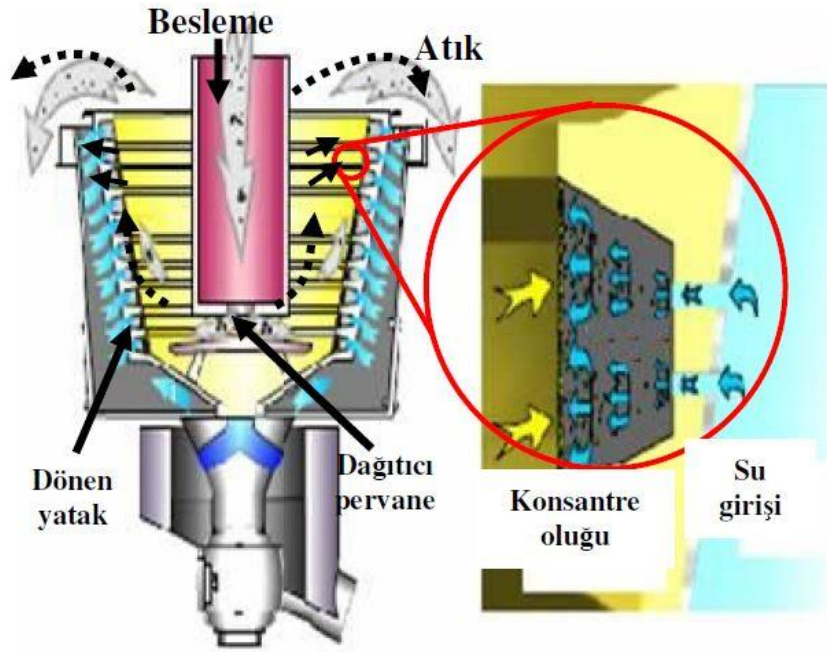
Kelsey jiginin avantajları çok ince tane boylarında çalışabilmeleri, yoğunluk farkı az olsa bile verimli ayırım yapabilmeleri ve yüksek kapasiteleri olarak gösterilebilir. Dezavantajları ise mekanik olarak karmaşık bir yapıda olmaları, sistemin devamlı kontrol edilmesi gerekliliği ve hem ilk yatırım maliyetlerinin hem de operasyon maliyetlerinin yüksek olmasıdır [14].

2.4.2.3 Knelson Zenginleştiricisi

Knelson zenginleştiricileri ilk olarak 1978 yılında Byron Knelson tarafından geliştirilmiştir. Kullanılmaya başlandığı yıllardan bu yana yetmişten fazla ülkede 1500'den fazla Knelson zenginleştiricisi kullanılmaktadır [41].

Knelson zenginleştiricileri aktif su yatağı ile birlikte merkezkaç kuvveti etkisini kullanarak ağır mineralleri tutan ayırıcılardır. Knelson çanak tipli bir zenginleştirme ekipmanı olup, çok yüksek hızda dönebilen oluklu konik kısımdan oluşmaktadır.

Maksimum tane boyu 6 mm'ye kadar olan malzemeleri işleyebilen bu zenginleştiricinin 1000 ton/saat kapasiteye kadar çıkabilen modelleri de mevcuttur. Knelson zenginleştiricileri modeline göre değişmekle birlikte 200 G kuvvetine kadar çıkabilmekte ve aynı zamanda bu ekipmanlara %75 katı oranına kadar besleme yapılabilmektedir [42]. Knelson kesikli zenginleştiricisinin düşey kesiti Şekil 2.15'de gösterilmektedir [43].



Şekil 2.15 Knelson kesikli zenginleştiricisinin düşey kesiti

Şekilde görüldüğü gibi ekipmanın üst kısmından yapılan besleme doğrudan konsantre koniğinin içine gelir. Merkezkaç kuvvetinin etkisi ile besleme malzemesi koniğin duvarlarına doğru yönelir. Besleme koniğinin içerisindeki konsantre oluğunu doldurarak konsantre yatağını oluşturur. Konsantre oluklarından içeriye giren basınçlı su ağır mineralleri yataklanmış bir biçimde olukların içerisinde tutmaya yarar. Ağır olan mineraller merkezkaç kuvvetinin etkisiyle bu olukların içerisinde

kalırken, hafif olan mineraller ise koniğin üst kısmından sistemi terkederler. Ayrım tamamlandığında koni içerisinde kalan ağır mineraller basınçlı suyun yardımı ile yıkanarak temizlenmektedir [19].

Knelson zenginleştiricisinin değişkenlik parametreleri yıkama suyu miktarı, beslemedeki katı yoğunluğu ve alıkonma zamanıdır [44].

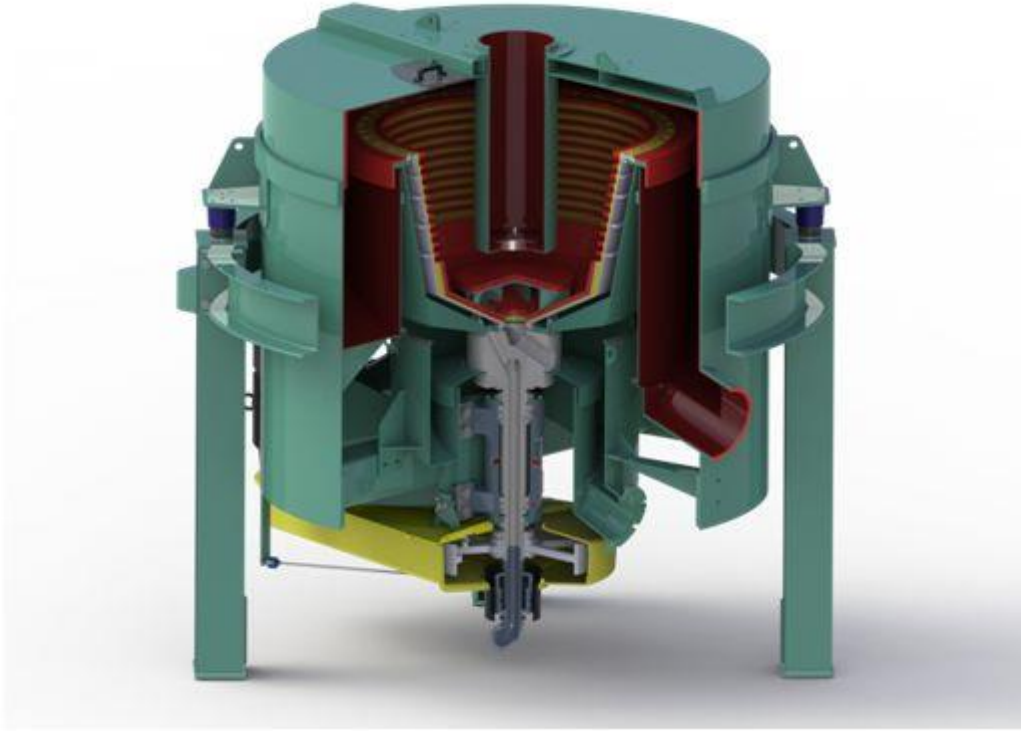
Knelson zenginleştiricisi tesis uygulamalarında, özellikle öğütme devresinin etrafında kullanıldığında, altın ve platinyum zenginleştirilmesinde yüksek verimle çalışmaktadır. Laboratuvar uygulamalarında ise serbest altın varlığının ölçülmesi amacıyla kullanıldığında çok iyi sonuçlar verebilen bir ekipmandır [23].

Knelson zenginleştiricisi özellikle altın, platinyum, gümüş, cıva zenginleştirilmesinde sıkça kullanılmaktadır [19]. Knelson zenginleştiricilerinin basit yapıları, geniş tane boyu aralığında çalışabilmeleri, çok yüksek zenginleştirme oranına sahip olmaları ve yüksek kapasiteleri en büyük avantajlarıdır. Bir diğer avantajı ise şlam uzaklaştırmaya gerek kalmadan zenginleştirme yapabilmesidir [45]. Knelson ayırıcısının en büyük dezavantajı ise tane yatağını akışkan bir şekilde tutabilmek için çok fazla miktarda su gereksiniminin olmasıdır [46].

Kesikli ve sürekli olmak üzere iki çeşit Knelson zenginleştiricisi bulunmaktadır.

2.4.2.3.1 Knelson Kesikli Zenginleştiricisi

Knelson kesikli zenginleştiricisinde (şekil 2.15) ayırma işlemi tamamlandıktan sonra besleme kesilir ve koniğin içerisinde kalan ağır mineraller koniğin dibindeki oluğun içerisine akarlar. Buraya biriken ağır mineraller, buradan ekipmanın dışına alınırlar. Bu modelin konsantre boşaltma süresi 2 dakikadan az sürmektedir.



şekil 2.16 QS serisi Knelson kesikli zenginleştiricisinin görünümü

Bu tür zenginleştiriciler günümüzde 3 farklı modelde üretilmektedir. Bunlar 400 ton/saat besleme ve 200 G kuvvete kadar çıkabilen QS (Quantum Series) modeli (şekil 2.16), 150 ton/saat besleme ve 150 G kuvvete kadar çıkabilen CD (Centre Discharge) modeli ve son olarak 1000 ton/saat besleme ve 120 G kuvvete kadar çıkabilen XD (Extended Duty) modelidir. Bu modellerin önerilen maksimum besleme tane boyları QS modeli için 1.7 mm olup diğer iki model için 2 mm'dir [42].

2.4.2.3.2 Knelson Sürekli Zenginleştiricisi

Knelson sürekli zenginleştiricisinde konsantre oluklarının içerisinde yerleştirilmiş olan vanalar kontrollü bir şekilde açılıp kapanarak ağır minerallerin sürekli olarak kazanılmasını sağlarlar (Şekil 2.17). Vanalardan geçen ağır mineraller tahliye kanalı vasıtasıyla sistemi terkederler.



Şekil 2.17 Kontrollü açılıp kapanan vanaların gösterimi

Bu model 300 ton/saat beslemeye 90 G kuvvetine kadar çıkabilir. Bu modelin maksimum besleme tane boyu 1 mm olup maksimum besleme yüzde katı oranı ise %50'dir. Bu tür zenginleştiriciler özellikle kömür endüstrisi ve baz metaller için geliştirilmiştir. Öncelikli kullanım alanları olarak ise tantalit, ilmenit, demirli alaşımların kazanımı ve mineral kumlarından, ağır minerallerin ön zenginleştirilmesi gösterilebilir [42].

2.4.2.4 Falcon Zenginleştiricisi

Falcon zenginleştiricileri 2008 yılından beri Sepro Mineral Systems tarafından üretilmekte olan, merkezkaç kuvveti uygulayan zenginleştirme ekipmanlarından bir tanesidir. Bu zenginleştirici modeli aralarında özgül ağırlık farkı bulunan mineralleri yüksek şiddetli merkezkaç kuvvetine maruz bırakarak ayırmaktadır.

Merkezkaç kuvvetini kullanarak altın zenginleştirme işlemleri, yeni tekniklerin bulunmasıyla özellikle son 30 - 40 senede çok yüksek ivmelenme göstermiştir. Bu ekipmanlar ile özellikle altın, gümüş gibi değerli ve yoğunluğu yüksek olan minerallerin ayrımı yaygın olarak gerçekleştirilmektedir [47].

Falcon zenginleştiricilerinin çalışma prensibi, yüksek hızda dönebilen konik bir haznede taneler merkezkaç kuvveti etkisi altında bırakılarak mineral zenginleştirme işlemi yapılması olup, konsantre üretme konusunda ise modeller farklılık göstermektedir.

Falcon zenginleştiricilerinin gövdeleri iki farklı kısımdan oluşmaktadır. Alt tarafı konik olan bu ekipman aşındığında değiştirilebilecek şekilde lastik astarlı olarak üretilmektedir. st tarafı ise düz olup paslanmaz çelikten üretilmiştir. Bu kısımda aşındığında değiştirilebilmektedir [12].

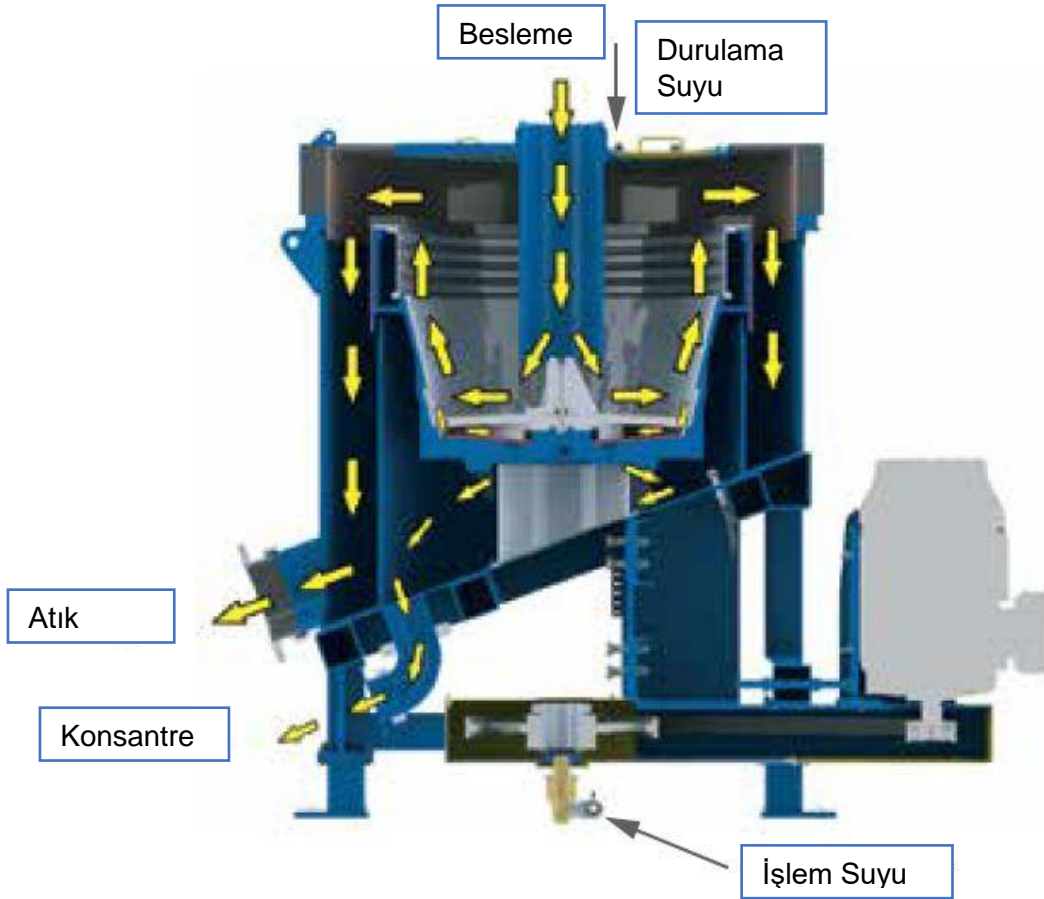
Ekipmana besleme yapılmaya başlandıktan sonra yüksek yer çekimi kuvvetinin etkisi ile mineraller konik olan kısımda tabakalanmaya başlar. Bu konik kısım, tabakalaşmanın yeterli şekilde oluşması için gerekli ykseklığe sahiptir. Malzeme st kısma ulaştığında ise yoğunluğu ağır olan mineraller konsantre oluklarına girerek burada birikirler [12]. Olukları dolduran ağır mineraller ekipmanın modeline göre kesikli yada sürekli olarak sisteminin dışına alınırlar. Yıkama frekansı otomatik olarak kontrol altında olup istenilen tenör ve verim değerlerine göre ayarlanabilir.

Falcon zenginleştiricilerinin 400 ton/saat'e kadar işleyebilen, 600 G kuvvetine kadar çıkabilen modelleri mevcuttur.

Günümüzde aktif olarak kullanılan 3 çeşit Falcon modeli vardır. Bunlar Falcon SB (Semi-Batch), Falcon C (Continuous) ve Falcon UF (Ultra – Fine) olarak adlandırılır.

2.4.2.4.1 Falcon Kesikli Zenginleştiricisi (SB)

Falcon kesikli zenginleştiricisi ilk olarak 1935 yılında MacNicol tarafından Avustralya'da yapılan çalışmalar esas alınarak 1994 yılında tasarlanmıştır [17][16][48]. İlk olarak İngiliz Kolombiyasında plaser tipte bir yataktan altın kazanımı için 1995 yılında denenmiştir [48]. Birçok yerde pilot ve tesis uygulaması yapılmasına rağmen ilk endüstriyel uygulaması 1998 yılında Tanco madeninde yapılmıştır [49]. Bu tür kesikli zenginleştirici modelleri tasarlandığı yıldan itibaren tüm dünyada birçok işletmede kullanılmaktadır. Falcon kesikli zenginleştiricisinin kesit görünümü Şekil 2.18'de gösterilmektedir.



Şekil 2.18 Falcon kesikli zenginleştiricisinin kesit görünümü

Bu modelin ayırma konisi pürüzsüz bir iç yüzeye sahiptir. Bu bölüm toplam bölümün üçte ikisine denk gelmektedir. Bu haznenin üst kısmında kalan bölümde ise yıkama suyunun verildiği deliklere sahip konsantre bölmesi bulunmaktadır [48]. Ekipmanda ayırım bu iki farklı bölgede meydana gelmektedir. İlk olarak yapılan besleme tabakalaşma zonuna gelmektedir. Burada oluşan yatağın alt kısmında ağır

mineraller üst kısmında ise hafif mineraller birikmeye başlarlar. Bu aşamadan sonra taneler ağır olan tanelerin konsantre boşluklarında kalacağı ve hafif olan tanelerin de haznenin üzerinden sistemi terkedeceği akışkanlaştırma zonuna giderler. Burada üst kısımdaki ayırma çentiklerine verilen su sayesinde bir engelli çökeltme ortamı oluşur. Bu suyun sayesinde tabakalanma tamamlanır. Yıkama suyunun yardımıyla ağır minerallerin arasında çentiklere girmiş hafif mineraller de sistemi üst kısımdan terkederken, yalnızca ağır mineraller bu konsantre boşluklarında kalmış olurlar [50][46][17][48][16]. Bu döngü tamamlandıktan sonra besleme durdurulur ve haznenin içerisine yıkama suyu verilerek konsantre sistemin dibine doğru akar ve dipteki oluğun içerisinden sistemi terkeder.

Bu modelde konsantre önceden belirlenmiş belirli aralıklarla sistem dışına alınır. Bu süre beş dakika ile birkaç saat arasında olabilir [51]. Bu süreye elde edilmek istenen tenör ve verim değerlerine göre karar verilir. Konsantrenin dışarı alınması esnasında vana ya da tıpa gibi bir parça bulunmaz. Konsantre kazanım işlemleri manuel olarak ya da otomatik kontrol programı (AutoPAC) aracılığıyla yapılabilir. Ekipmanın sahip olduğu dinamik frenleme sistemi sayesinde konsantrenin yıkanarak alınması bir dakikadan az sürmektedir.

Bu zenginleştirici modeli, düşük su tüketimine sahip olması, yüksek tenörlü konsantreler üretebilmesi, uygulama esnasında fazla bilgi ve tecrübe gerektirmemesi ve düşük bakım, işletme giderleri gibi özellikleri sayesinde endüstri için çok önemli bir zenginleştirme ekipmanıdır [17][48][16].

Günümüzde üretilen Falcon kesikli zenginleştiricileri 6 adettir. Bunların ilki laboratuvarlar için üretilen L40 modeli olup diğer beş model endüstriyel tesisler için üretilmiştir. Bu modellerin en büyüğü olan SB5200 serisine saatte 400 tona kadar besleme yapılabilmektedir. Ayrıca bu model 200 G'ye kadar merkezkaç kuvveti oluşturabilir. Maksimum beslenebilecek tane boyu ürün kataloğunda 4 mm yazsada üretici firma olan Sepro birçok uygulama için maksimum 2 mm tane boyunda besleme yapılmasını önermektedir. Bu modellerin su kullanımları ise büyüklüğüne göre 3 ile 35 m³/saat arasında olup kullanılan yıkama suyunun basıncı da 2 – 3 bar arasındadır. Son olarak bu modellere %70 katı oranına kadar besleme yapılabileceği belirtilmiştir [51].

Bu ekipman çok yüksek tenörlü konsantre alabilmek amacıyla geliştirilmiştir. Tesis uygulamasında alınan konsantre miktarı beslemenin %1'inden daha azdır.

Falcon kesikli zenginleştirici modelleri altın, gümüş, platin gibi değerli minerallerin kazanımında yaygın olarak kullanılır [51].

Bu model tesis kullanımlarında genelde siklon beslemesinde, siklon alt akımında ya da değirmen çıkışlarında kullanılmaktadır. Birçok uygulamada sallantılı masa gibi bir ekipmanla ikincil zenginleştirme yapılmaktadır [51].

Bu ekipmanın operasyon değişkenleri ise tanelere uygulanan merkezkaç kuvveti, konsantre alma frekansı, yıkama suyunun şiddeti, besleme miktarı ve beslemedeki % katı oranıdır.

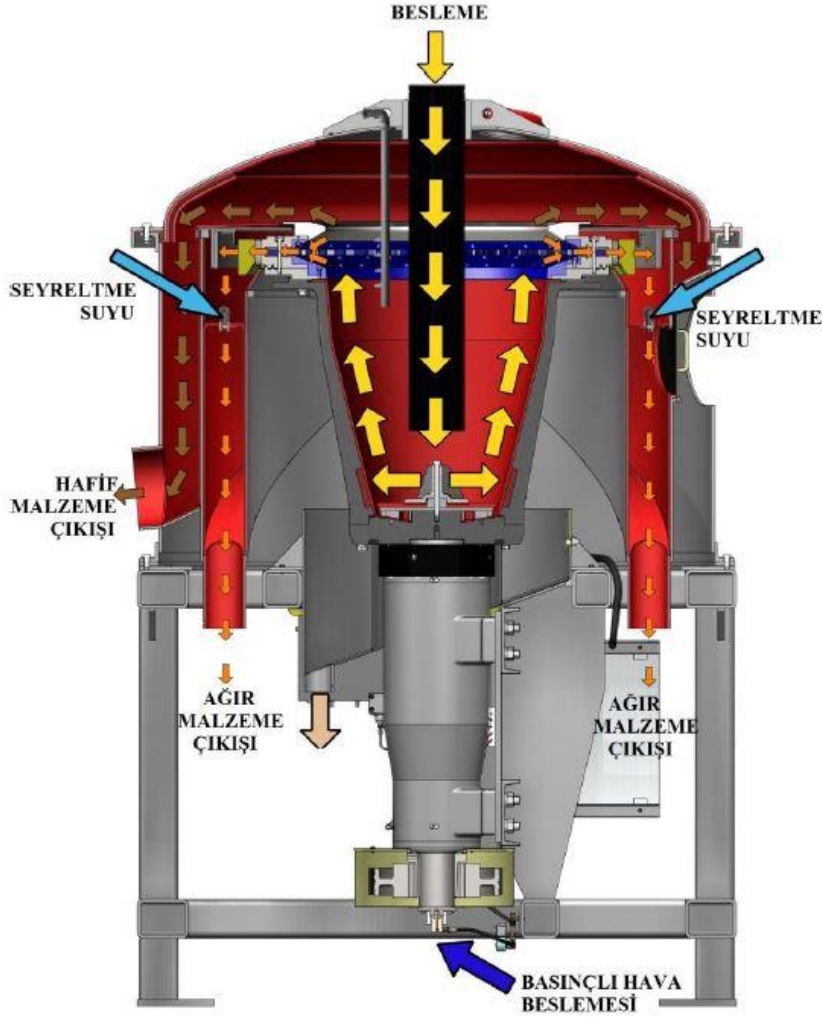
Kesikli Falcon zenginleştiricisinin operasyon maliyeti endüstrideki en düşük ekipmanlardan bir tanesidir. Kesikli Falcon zenginleştirici altın madenciliğinde genelde verimli bir şekilde çalışmaktadır. Laboratuvar ölçekli yapılan testler tesis uygulamalarında oluşabilecek sonuçları önceden görebilmek için iyi bir seçenektir [23]. Falcon kesikli zenginleştiricilerinin tesis içerisindeki görünümü Şekil 2.19'da gösterilmektedir.



Şekil 2.19 Falcon kesikli zenginleştiricilerinin tesis içerisindeki görünümü

2.4.2.4.2 Falcon Sürekli Zenginleştiricisi (C)

Bu model isminden de anlaşılacağı üzere kesikli olan modelden farklı olarak devamlı olarak konsantre akışı sağlar. Bu zenginleştirici modeli beslemenin %40'ına kadar konsantre kazanımı yapabilmektedir. Falcon sürekli zenginleştiricisinin kesit görünümü Şekil 2.20'de gösterilmektedir.



Şekil 2.20 Falcon sürekli zenginleştiricisinin kesit görünümü

Bu modelin içi düz olup, koni şeklinde bir haznesi bulunur. Bu haznede ince tanelerin çökmesi ve tabakalanması için çok yüksek merkezkaç kuvveti kullanılmaktadır. Bu modelde diğer modelin aksine ne ayırma çentiği ne de akışkanlaştırma suyu vardır. Haznenin yan duvarı boyunca ince akan bir pülp tabakası oluşur ve bu tabakada hidrolik farklılıklarından dolayı taneler tabakalanır. Bu haznenin içerisinde kayarak ilerleyen ağır mineraller haznenin duvarlarındaki küçük deliklerden geçerek sistemi terk ederler. Bu tabakalanmış katmanın üzerinden ise hafif taneler sistemi

terkederler. Bu modelde ayrıca kesikli modelden farklı olarak haznenin kendi çapından daha küçük çapa sahip bir üst akım dudağı vardır. Bu kısım ağır olan minerallerin atığa kaçmalarını engelleyerek, konsantre oluklarından çıkana kadar orada kalmalarını sağlar [52].

Günümüzde üretilen Falcon sürekli zenginleştiricileri 4 adettir. Üretilen dört model de endüstriyel tesisler için üretilmiştir. Bu modellerin en büyüğü olan C4000 serisine saatte 100 ton/saat'e kadar besleme yapılabilir. Ayrıca bu model 300 G'ye kadar merkezkaç kuvveti oluşturabilir. Maksimum beslenebilecek tane boyu 1 mm olup bu ekipman ile 10 mikron tane boyuna kadar zenginleştirme yapılabilmektedir. Bu modellerin maksimum besleme yüzde katı oranları ise %40-45 arasındadır [53].

İçerisinde ince boydaki ağır mineralleri içeren birçok akış için sürekli çalışan Falcon zenginleştiricisi iyi bir süpürme ekipmanı olabilir. Verimi arttırdığı gibi eğer istenirse çok yoğun konsantre elde etme amaçlı da kullanılabilir [23]. Bu modelde bir Falcon ekipmanı kullanılarak %65-72 katı yoğunluğunda konsantre elde etmek mümkündür [53]. Endüstriyel boyuttaki bir Falcon zenginleştiricisinin görünümü Şekil 2.21'de gösterilmiştir.



Şekil 2.21 Falcon sürekli zenginleştiricisi

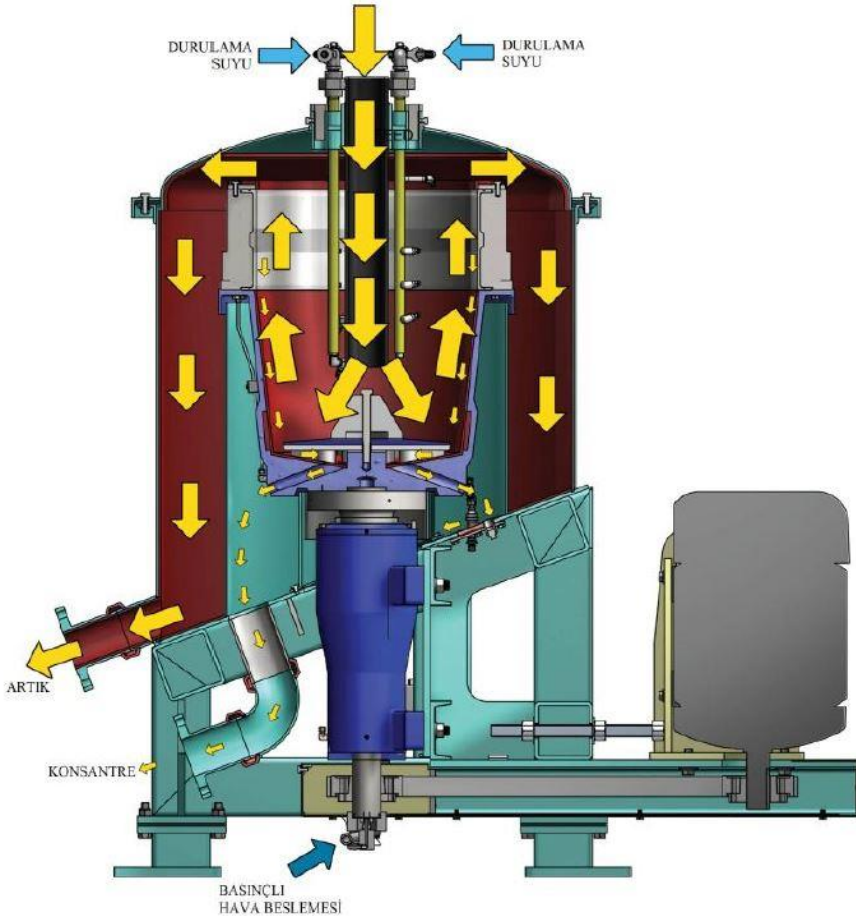
Kesikli olan modele göre en büyük farklarından biri yıkama suyuna ihtiyaç duymadan zenginleştirme yapmasıdır. Su kullanılmadığı için özellikle öğütme devrelerinde kullanıldığında su problemi yaşanmaz. Bu model kesikli olan modele kıyasla daha yüksek konsantre verimi elde edilmesi istenilen durumlarda kullanılır.

Falcon sürekli zenginleştiricisinin kullanım alanları arasında liç yada flotasyon atığından ince altın yada sülfürlü minerallerin kazanımı, liç performansını maksimize etmek için liç öncesi ön konsantre kazanımı, kömürden kül ve sülfürlü minerallerin ayrımı, flotasyon yada liç öncesi istenmeyen hafif minerallerin sistemden çıkarılması, tesis atıklarından ince altın yada gümüş kazanımı olarak gösterilebilir [54].

Bu tip zenginleştiriciler kurşun, kalay, tantal, altın, gümüş, kömür, demir gibi minerallerin kazanımında kullanılmaktadır [54].

2.4.2.4.3 Falcon Ultra İnce Zenginleştiricisi (UF)

Bu modelin geliştirilmesindeki temel amaç tesislerde çok ince tane boylarında olduğu için kazanılamayan minerallerin kazanılmasını sağlamaktır. Bu model de kesikli olarak çalıştırılır. Tıpkı kesikli modelde olduğu gibi dinamik frenleme sistemi sayesinde ekipman bir dakikadan az sürede topladığı ağır mineralleri yıkayarak eski hızına geri dönebilir. Falcon UF serisi zenginleştiricisinin kesit görünümü Şekil 2.22'de gösterilmektedir.



Şekil 2.22 Falcon UF serisi zenginleştiricisinin kesit görünümü

Bu modelde besleme zenginleştiricinin ortasında bulunan borudan doğrudan ekipmanın dip tarafına doğru yapılır. Ekipmanın dibinde bulunan karıştırıcı sayesinde besleme yan çeperlere doğru savrulur. Çok yüksek merkezkaç kuvveti ile birlikte taneler tabakalaşmaya başlarlar. Bu tabakalaşma ile birlikte yukarı doğru çıkan minerallerden ağır olanlar koniğin üst kısmında bulunan oluklara birikmeye başlarken hafif olan mineraller sistemi üst kısımdan terkeder. Konsantre toplama süreci tamamlandıktan sonra ekipman durdurulur, koniğin konsantre toplama

kanalları yıkanarak konsantre haznenin dibindeki oluklardan kazanıldıktan sonra sistem yeniden çalışmaya başlar.

Kullanım alanları arasında çok ince tane boyundaki minerallerin kazanımı (kalay, tantal, tungsten vb.), şlam siklonlarının üst akımından minerallerin kazanımı ve ince tane boyundaki flotasyon konsantrelerinden yüksek verimle ikincil zenginleştirme yapılması gösterilebilir [55]. Falcon UF zenginleştiricisinin görünümü Şekil 2.23'de gösterilmektedir.



Şekil 2.23 Falcon UF serisi zenginleştirici

Günümüzde üretilen Falcon UF serisi zenginleştiriciler 2 adettir. Üretilen iki model de endüstriyel tesisler için üretilmiştir. Bu modellerin büyük olanı olan UF1500 serisine saatte 2 tona kadar besleme yapılabilir. Ayrıca bu model 600 G'ye kadar merkezkaç kuvveti oluşturabilir. Maksimum beslenebilecek tane boyu 38 mikron olup bu modeller 5 mikron tane boyundan daha küçük mineralleri bile zenginleştirmektedir [55].

2.5 Merkezkaç Kuvvetine Dayalı Zenginleştirme Ekipmanları ile Altın Kazanımına Örnekler

Bu bölümde merkezkaç kuvvetine dayalı zenginleştirme ekipmanları (Falcon, Knelson) ile altın kazanımı çalışmalarına örnekler verilmektedir. Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi bu ekipmanları birçok işletme uzun yıllardır tercih etmekte ve kullanmaktadır. Ayrıca bu ekipmanlar kullanılarak yapılan birçok deneysel çalışma da literatürde yer almaktadır.

Boliden konsantratöründe hidrosiklon alt akımı bir Reichert konisine beslenmekte daha sonra koninin ürünü spiral ve sallantılı masa ile zenginleştirilerek yer çekimi ile zenginleştirme yöntemleri ile altın kazanımı yapılmaktaydı. Boliden zenginleştiricisinde bu sistem yerine hidrosiklon beslemesine ve hidrosiklon alt akışına yerleştirilen iki adet Knelson zenginleştiricisi ile yapılan çalışmalarda tesise kurulan bu ekipmanlar sayesinde yer çekimi ile zenginleştirme ile kazanılan altının miktar olarak %13.5'ten %35.7'ye çıktığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda verim ise %67.4'ten %71.7'ye yükseltilmiştir [56].

Amerika'da bulunan Kettle River madenine yapılan çalışmalar sonucunda siklon üst akışına 2 adet Falcon C2500 tipi sürekli zenginleştirici yerleştirilmiştir. Liç yöntemi kullanılarak altın zenginleştirme yapılan bu tesise Falcon kurulduktan sonra, siklon üst akımından gelen altının verim olarak %17'sini kazanmaya başlamıştır. Tesiste Falcon konsantresi doğrudan birinci liç tankına yönlendirilmekte iken atığı ise ikinci liç tankına yönlendirilmiştir. Bu adım toplam tesis veriminde %0-5 arası artış sağlamıştır [15].

Kanada'da bulunan Myra Falls madeni flotasyon ile zenginleştirme yapan bir bakır/çinko tesisidir. Bu ürünlerin yanı sıra senede 28.000 ons altını yan ürün olarak satmaktadır. Knelson kurulumu öncesinde tesisteki altın verimi %40-55 dolaylarında olup bu verimin %20-30'u bakır konsantresi içindeki altından, %15-25'i ise çinko konsantresi içindeki altından gelmektedir. Kalan %50'lik kısmı ise kazanılamayarak atığa gitmektedir. Bu durumun değiştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda tesisteki primer ve sekonder değirmenlerin çıkışlarına iki adet Knelson yerleştirilmiştir. Tesise iki adet Knelson CD-30 tipi zenginleştiricinin kurulmasının ardından ise altın verimi %5 artmıştır [57].

Zimbabve'de bulunan Elvington madenine yerleştirilen kesikli çalışan Falcon zenginleştiricisi ile ilgi çekici sonuçlara ulaşılmıştır. Liç yöntemi kullanılarak altın

zenginleştirme yapılan bu tesisin altın verimi %76 iken siklon beslemesine yerleştirilen Falcon ekipmanı sayesinde verim %88'e çıkarılmıştır. Ayrıca Liç atığında 0.64 ppm olan altın miktarı Falcon ekipmanı ile %31 dolayında düşürülerek 0.40 ppm değerine inmiştir. Tesisin ayda ortalama 5 kg daha fazla altın üretmesini sağlayan Falcon, bu tesis için ekipman maliyetinin bir ayda geri dönmesini sağlamıştır. Aynı zamanda tüm kurulum maliyetinin geri dönmesi ise iki aydan kısa sürmüştür [58].

İngiliz Kolombiya'sında bulunan Kemess altın/bakır madeninde, geneli pirit ile bağlı olmakla birlikte bir kısmı da serbest halde bulunan altının atığa gitme problemi uzun yıllardır devam etmekteydi. Bu altın kaçağını azaltmak amacıyla yapılan çalışmalar neticesinde tesisin yeniden öğütme devresinin siklon altına Knelson yerleştirilmiştir. Bu çalışmada öğütme devresinde bulunan altının %10'unun Knelson ile kazanıldığı ve bu kazanılan altının toplam verimini %3 arttırdığı gözlemlenmiştir [59].

Ülkemizde yapılan çalışmalara örnek verecek olursak ise, Gümüşhane'de bulunan Mastra cevherine hem Falcon hem Knelson ekipmanları ile zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Knelson ile yapılan testlerde 771.95 ppm altın konsantreye %47.15 verimle 74 mikron tane boyunun altında kazanılmıştır [45]. Falcon ile yapılan testlerde ise yine aynı tane boyunda %81 verimle altın kazanılmıştır. Bu yapılan çalışmada altının tenörü 262 ppm iken yapılan nihai zenginleştirme sonucunda altının tenörü %33.8 verim ile 1760 ppm'a kadar yükseltilmiştir [60].

Knelson zenginleştiricisi ile yapılan bir çalışmada ekipmanın 30 mikron tane boyunun altındaki beslemeden 0.3 mikron tane boyuna kadar olan serbest altını %96 verimle kazanabildiği gösterilmiştir [61].

Ayrıca yayınlanan bir bildiride ise, altın zenginleştirmede Falcon zenginleştiricisi siyanür liçi yerine önerilmiştir [62].

3. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Giriş

Bu bölüm, 29 Haziran - 11 Temmuz 2015 tarihleri arasında Artvin-Murgul bölgesinde bulunan Eti Bakır A.Ş. Murgul İşletmelerine ait Akarşen zenginleştirme tesisinden alınan numuneler ile yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarını içermektedir. Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan tesisin konumu Şekil 3.1'de gösterilmiştir [63].



Şekil 3.1 Akarşen zenginleştirme tesisinin konumu

Yapılan bu çalışmanın amacı Akarşen zenginleştirme tesisinden yer çekimi ile zenginleştirme yöntemlerini kullanarak altın kazanımı sağlamak ve bu sayede atığa giden altın miktarını düşürmektir. Numune alınacak noktalar belirlendikten sonra, tesis kararlı bir halde iken numune alma çalışması gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar önceden planlanan akım şemasına ve deney prosedürüne göre yapılmış ve elde edilen sonuçların desteklenmesi amacı ile başarı elde edilen koşulda ilk dönemden yaklaşık 6 ay sonra alınan numuneler ile tekrar testleri gerçekleştirilmiştir. Siklon etrafından alınan numuneler ile siklon etrafındaki katı akış miktarları ve ağırlıkça % katı oranlarının belirlenmesi yine bu çalışmada yer almaktadır. Ayrıca bu çalışma kapsamında cevherin karakterizasyonunun yapılabilmesi amacı ile primer değirmen beslemesinden alınan numune fraksiyonlara ayrılarak detaylı mineralojik analiz yaptırılmıştır.

3.2 Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar

Bu çalışmada; Akarşen cevherinde bulunan altının yer çekimi ile zenginleştirme yöntemleri kullanılarak kazanılması hedeflenmiş, bunun için de kesikli olarak çalışan laboratuvar ölçekli Falcon L40 (Şekil 3.2) ekipmanı kullanılmıştır. Nihai zenginleştirme için ise laboratuvar ölçekli Deisler tipi sallantılı masa kullanılmıştır.



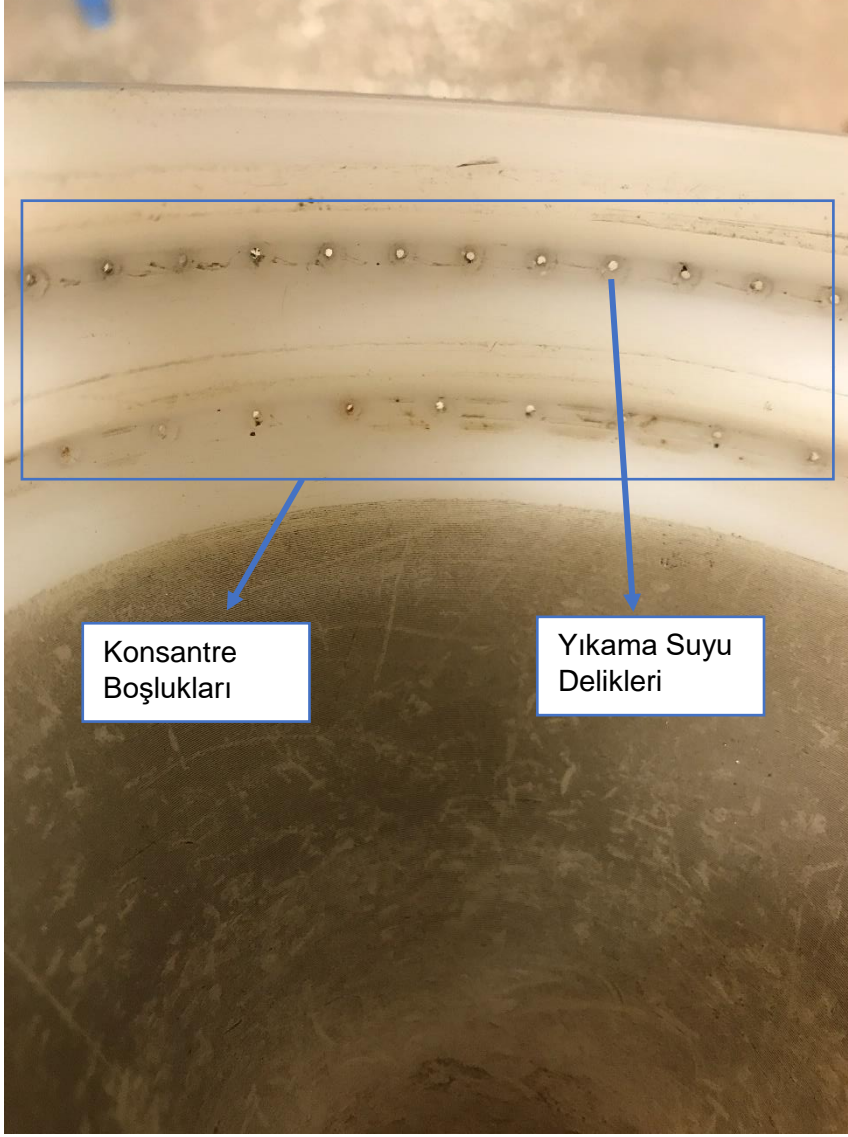
Şekil 3.2 Falcon L40 zenginleştiricisi

Laboratuvar ölçekli Falcon L40 modeline saatte 300 kg'a kadar ve maksimum %75 katı yüzdesine kadar numune beslenebilmektedir. Beslenecek tane boyunun en fazla 1.7 mm olması gerekmektedir. İçerisinde bulunan konsantre haznesinin hacmi 65 ml olup, santrifüj kuvveti olarak 300 G'ye kadar çıkabilmektedir. Falcon zenginleştiricisinin net ağırlığı ise 32 kg'dır [54].

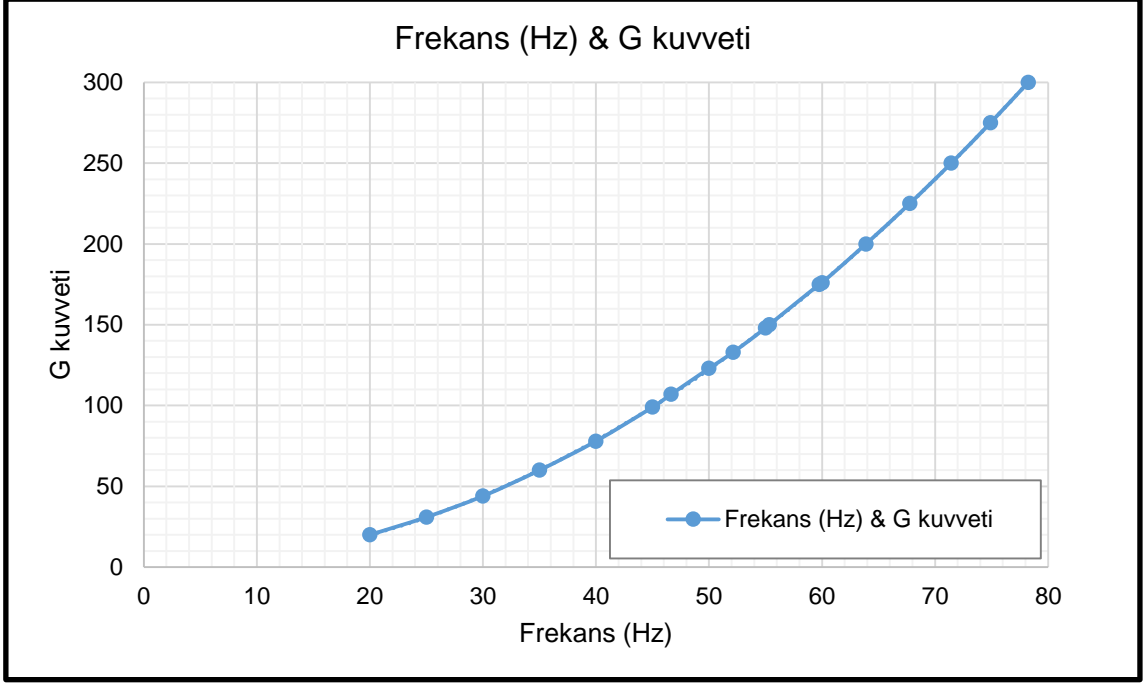
Bu modelin ulaştığı G kuvvetine (Taneler üzerine etkiyen merkezkaç kuvveti) göstergesindeki Hz değerinden bakılmaktadır. 300 G değerine 78.25 Hz frekansında çalışırken ulaşmaktadır. L40 tipi zenginleştirme ekipmanının üstten görünümü ve içerisinde bulunan konsantre haznesinin içten görünümü Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Falcon L40 zenginleştiricisinin iç kısmının üstten görünümü



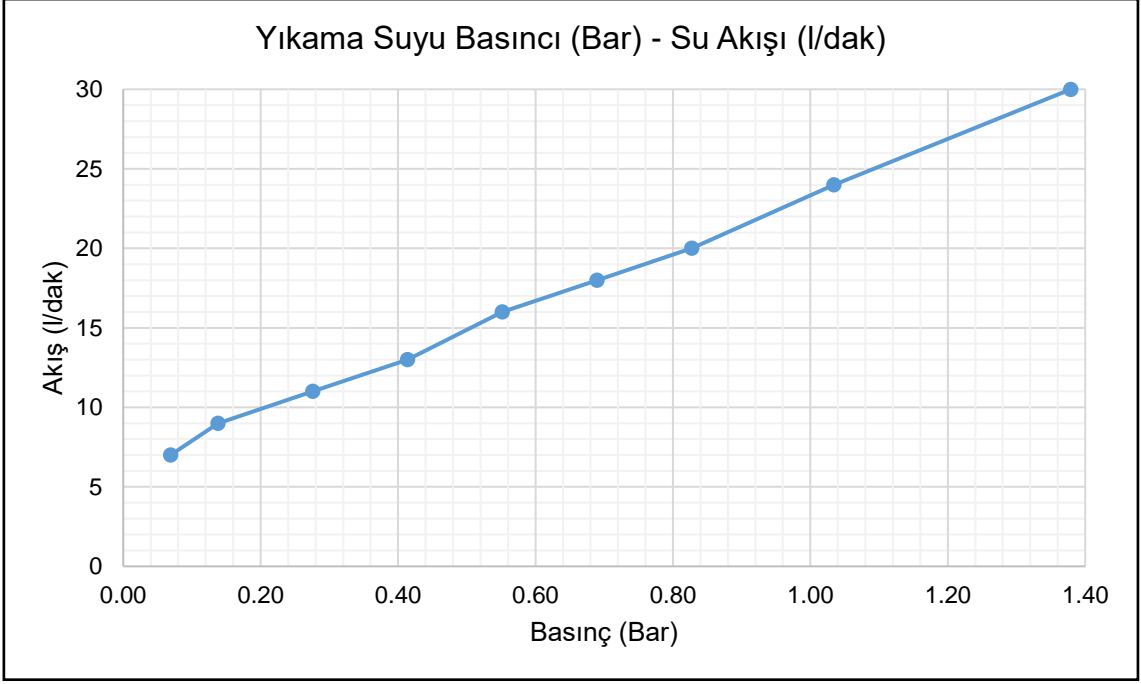
Şekil 3.4 Falcon L40 zenginleştiricisinin konsantre haznesinin içten görünümü
Falcon L40 tipi zenginleştiricisi ile yapılan deneysel çalışmalarda dikkat edilmesi gereken önemli parametreler vardır. Bunlardan ikisi merkezkaç kuvveti ve basınçlı yıkama suyudur. Taneler üzerine etkiyen merkezkaç kuvveti frekans kontrollü olarak ayarlanabilmektedir. Frekans değeri ile merkezkaç kuvveti arasındaki ilişki Şekil 3.5'de gösterilmektedir [54].



Şekil 3.5 Frekans (Hz) değerine karşılık uygulanan G kuvveti

Şekil 3.5'ten de görüleceği gibi Frekans (Hz) arttıkça G kuvveti de artmaktadır. Merkezkaç kuvvetinin artmasıyla tanelerin üzerine etki eden kuvvet arttığı için taneler bu kuvvete daha zor karşı koymakta ve konsantre haznesinde kalma eğilimi göstermektedir.

Ayırım performansı üzerinde etkisi bulunan ikinci parametre çanak içerisine verilen basınçlı yıkama suyudur. Çanak çeperlerine tutunan hafif malzemeler yıkama suyunun etkisiyle dışarıya taşınmaktadır. Yıkama suyunun etkisi, çanak çeperlerine tane şekli veya tane boyutu özelliklerinden dolayı tutunan görece hafif tanelerin atık olarak dışarı alınabilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla, çanak içerisinde biriken konsantrenin tenörü yükseltilmektedir. Fakat yıkama suyu basıncı artarsa çeperde tutunan yüksek yoğunluğa sahip minerallerin de çeperden sökülmesi kolaylaşmaktadır. Yıkama suyu basıncının artmasıyla birlikte, aynı zamanda su tüketiminde de artış meydana gelmektedir. Su tüketimindeki artış özellikle tesis uygulamalarında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir durumdur. Yıkama suyu basıncı ve su akış miktarı arasındaki ilişki Şekil 3.6'da incelenmiştir [54].



Şekil 3.6 Yıkama suyu basıncı (Bar) ve su akış miktarı (l/dak) arasındaki ilişki

Ayrım performansını etkileyen diğer faktörler ise, konsantre alma sıklığı ve beslemenin yüzde katı oranıdır.

Yapılan deneysel çalışmalarda nihai zenginleştirme için ise Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan Deisler tipi sallantılı masa kullanılmıştır. Concenco marka olan laboratuvar ölçekli bu sallantılı masanın ölçüleri ise 116*54 cm'dir.

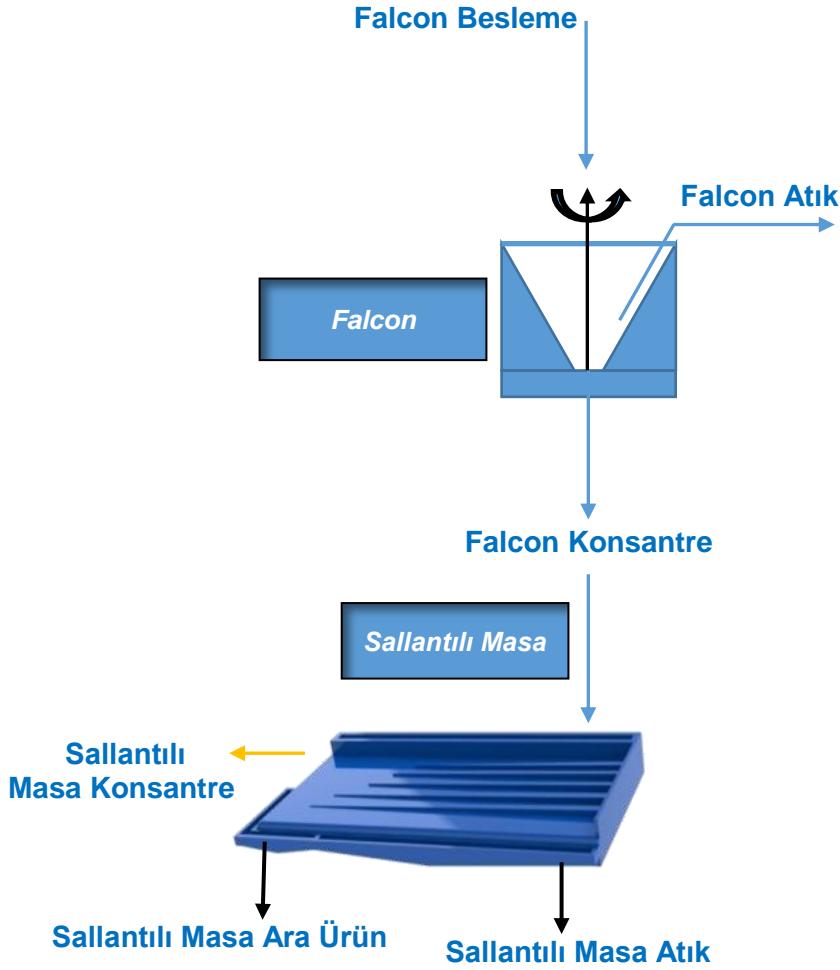
3.3 Deney Prosedürü ve Uygulanan Akım Şeması

Akarşen devresine uygulanacak olan yer çekimi ile altın kazanımı çalışması için öncelikle öğütme ve sınıflandırma devrelerinden alınacak numune noktalarına karar verilmiştir. Sürekli olarak öğütme ve sınıflandırma devresi arasında sıkışan iri boydaki altın taneleri, çok ince tane boylarına inebildikten sonra ancak siklon üst akımından çıkabilmektedir. Aşırı öğütmeye maruz kalan altın taneleri, siklon üst akımından çıkabilecek boya geldiğinde ise konvansiyonel flotasyon yöntemleri ile kazanılmaları oldukça güçleşmektedir. Bundan dolayı yer çekimi ile zenginleştirme testlerinde kullanılmak üzere siklon beslemesinden, siklon altından ve sekonder değirmen çıkışından numune alınmasına karar verilmiştir. Ayrıca flotasyon devresinin süpürme atığından ve nihai atığından da kaçan altını kazanabilmek için numuneler alınmıştır.

Numune alma işlemine başlanılmadan önce tesis 2 saat boyunca kontrol odasından izlenmiş, beslemenin sabit olduğundan ve tesisin kararlı bir şekilde çalıştığından emin olunmuştur. Numune alma işlemleri tamamen bitene kadar tesiste herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Numune alma sırasında akışı tamamen kesebilecek özelliklerde numune alıcılar kullanılmış olup örnekleme en doğru şekilde yapılması sağlanmıştır.

Akarşen devresindeki testlere başlamadan önce akışlardan alınan numuneler ile deneme testleri yapılarak hangi koşulların uygulanacağına karar verilmiştir. Alınan örnek numuneler ile farklı G kuvveti ve su basıncı değerlerinde deneme testleri yapılmış ve uygun değerlere karar verilmiştir. Bu deneme testleri sonucunda Akarşen öğütme devresinin numuneleri ile yapılacak deneysel çalışmalar için frekans değerleri 50 Hz (123 G), 60 Hz (176 G) ve 70 Hz (240 G) olarak ayarlanmış ve 3 farklı G kuvvetinde çalışılmıştır. Flotasyon devresinin süpürme atığından ve nihai atığından alınacak numuneler ile yapılacak testler için ise görece daha ince tane boyunda olmaları nedeniyle 70 Hz (240 G) değerine karar verilmiştir. Yapılan testlerde yüksek frekans değerlerinde konsantreye gelen altın veriminin artırılması, en düşük G kuvvetinde ise yüksek altın tenörüne sahip konsantre alınması hedeflenmiştir. Yıkama suyu basıncı tüm testlerde 0.5 bar olarak ayarlanarak su basıncı sabit tutulmuştur. Bu sayede yalnızca G kuvvetindeki değişimin tenör ve verim üzerindeki etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Falcon testlerinden elde edilen konsantreler sallantılı masa beslemesi olarak kullanılmıştır. Testlerde izlenen akım şeması Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

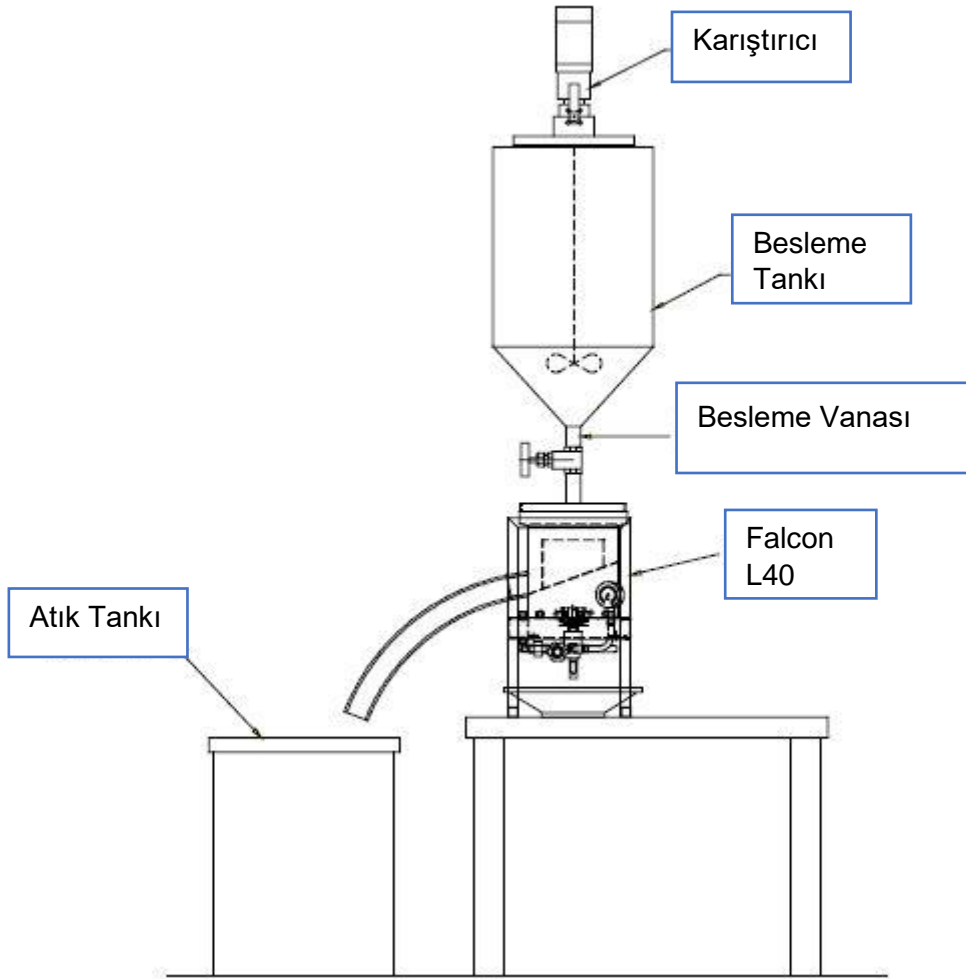


Şekil 3.7 Yer çekimi ile zenginleştirme yöntemleri kullanılarak altın kazanımı çalışmalarında kullanılan akım şeması

Yapılan Falcon testlerinde karıştırıcı, Falcon zenginleştiricisi ve atık tankından oluşan bir düzenek Akarşen devresinin yanına gerekli tesisat düzenekleri çekilerek kurulmuştur. Yapılan çalışmalarda Denver marka, 1450 devir/dakika dönme hızına sahip ve 27 litre hacminde karıştırıcı kullanılmıştır. Falcon zenginleştiricisine besleme yapılması amacıyla yerleştirilen karıştırıcı Şekil 3.8'de, kurulan düzenek Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Deneylerde kullanılan karıştırıcının görüntüsü



Şekil 3.9 Deneylerde kullanılmak üzere kurulan Falcon test düzeneği



Şekil 3.10 Deney düzeneğinden bir görüntü

Çalışmaya başlanılmadan önce belirlenen akış kollarından her bir frekans değeri için ayrı numune alınmıştır. Frekans değeri ve yıkama suyu basıncı ayarlandıktan sonra tesisten alınan numuneler karıştırıcıya beslenmiş ve testlere başlanmıştır. Yapılan testlerde her bir frekans değeri için karıştırıcı içerisindeki numune tamamen bitene kadar konsantre alınmaya devam edilmiştir. Karıştırıcı boşaldıktan sonra ise diğer koşul için yeniden doldurularak testler yapılmaya devam edilmiştir. Besleme ve atıktan kesikli olarak numune alma işlemleri gerçekleştirilmiş olup, gelen analiz sonuçlarına ve konsantrenin ağırlığına göre besleme ve atığın ağırlığı hesaplanmıştır. Yapılan deneme testlerinde konsantre haznesinin dolma süresi de belirlenmiştir. Buna göre Falcon zenginleştiricisinden altın verimi yüksek konsantre elde etmek amacı ile her test koşulu için 5 dakikada bir besleme kesilerek konsantre

haznesi boşaltılmıştır. Besleme hızlarına ise yapılan deneme testleri, akışların % katı oranları ve akışların tane boyları göz önünde bulundurularak siklon altı için 400 ml/dakika, sekonder değirmen çıkışı ve siklon beslemesi için 500 ml/dakika, süpürme devresinin atığı ve nihai atık için ise 1000 ml/dakika olarak karar verilmiştir.

Yapılan Falcon testleri sonucunda, her 5 dakikada bir besleme kesilerek biriktirilen Falcon konsantreleri, kurutularak sallantılı masa testleri yapılması amacıyla Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarına getirilmiştir. Sallantılı masa ile yapılan nihai zenginleştirme testlerinde ise, altın tenörü yüksek konsantre elde etmek amacı ile masanın eğimi 4° olarak ayarlanmıştır. Numune sallantılı masaya titreşimli besleyici yardımı ile kuru bir şekilde beslenirken, besleme hızı ve masaya verilen su miktarı ise konsantre bandının genişliği gözlemlenerek belirlenmiştir.

3.4 Cevher Karakterizasyonu Çalışmaları

Cevher karakterizasyonu çalışmaları için Akarşen devresinin primer değirmen beslemesinden çalışma dönemi boyunca düzenli aralıklarla numune biriktirilmiştir. Biriktirilen numune konileme ve dörtleme yöntemi kullanılarak azaltılmıştır. Örneklenen numune, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında tamamı 212 µm'nin altında olacak şekilde kırılmış ve -212+106 µm, -106+53 µm, -53+20 µm ve -20 µm dar tane boyu fraksiyonlarına ayrılmıştır. Fraksiyonel olarak hazırlanan cevher numunesi taramalı elektron mikroskobu ve özel bir yazılımla donatılmış MLA cihazı ile detaylı serbestleşme analizi için Actlabs (Kanada) firmasına gönderilmiştir. Ayrıca alınan besleme numunesine piknometre deneyi yapılmış ve cevherin yoğunluğu 4 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Analize gönderilen numunenin kimyasal analizi Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Akarşen zenginleştiricisinin besleme numunesinin kimyasal analiz değerleri

Akarşen Primer Değirmen Beslemesi				
Cu (%)	Zn (%)	Au (ppm)	Ag (ppm)	S (%)
3.60	7.35	4.3	117.0	28.55

MLA analizi kapsamında öncelikle cevher içerisinde bulunan tüm mineral grupları tanımlanmıştır. Bunlar sırasıyla; sülfatlar, silikatlar, oksitler/hidroksitler ve ince agregalar olarak belirtilmiştir. Her bir grup içerisinde bulunan mineral oranları fraksiyonel olarak belirlenmiştir.

Tüm bu oranlar incelendiğinde Akarşen cevherinin ana bileşenlerinin bulunma miktarına göre sırasıyla pirit/markasit, barit, sfalerit ve kalkopirit olduğu görülmektedir. Silikatlar grubundan kuvars mineralinin ise yaklaşık olarak cevher içerisinde %5'lik bir orana sahip olduğu belirlenmiştir. Cevherde yaklaşık %1 civarında Pb minerali galenin de bulunduğu görülmektedir.

Cevherin ana bakır minerali kalkopirit olup fraksiyonlarda yaklaşık %10-12 oranında bulunmaktadır. Diğer bakır kaynağı olan bornit ve tennantit/enarjit eser miktardadır. Cevherin tek çinko kaynağı sfalerit minerali olup fraksiyonlarda yaklaşık %11-13 oranında bulunmaktadır. Fraksiyonel bazda minerallerin yüzde dağılımları

Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 Fraksiyonel bazda minerallerin yüzde dağılımları

Tane Boyu		-20 μ m (%)	-53+20 μ m (%)	-106+53 μ m (%)	-212+106 μ m (%)
Sülfürler	Kalkopirit	12.13	10.44	9.81	9.80
	Pirit/Markasit	35.78	15.47	48.28	51.18
	Sfalerit	13.25	12.51	11.75	12.49
	Bornit	0.02	0.00	0.01	0.02
	Galen	1.36	0.75	1.15	1.21
	Galen (Diğer fazlarda ince boyda)	0.20	0.16	0.23	0.20
	Tennantit/Enarjit	0.01	0.01	0.01	0.01
	Barit	25.78	24.70	18.54	15.19
	Molibdenit	0.01	0.38	0.01	0.01
	Kalsit	0.65	0.42	0.95	0.87
Magnezyum içeren Siderit	0.50	0.20	0.46	0.59	
Silikatlar	Kuvars	5.12	5.59	4.12	4.29
	K-Feldispat	0.72	1.03	0.55	0.47
	Plajjoklaz	0.43	0.11	0.40	0.35
	Amfibol	0.16	0.06	0.24	0.14
	Muskovit	0.95	1.16	0.77	0.66
	Klorit	0.19	0.16	0.17	0.18
	Kaolinit	0.45	0.99	0.43	0.35
	Zirkon	0.00	0.00	0.00	0.00
Oksitler/ Hidroksitler	Manyetit/Hematit	0.04	0.03	0.02	0.10
	Götit	0.30	0.21	0.45	0.32
	Rutil	0.03	0.05	0.04	0.08

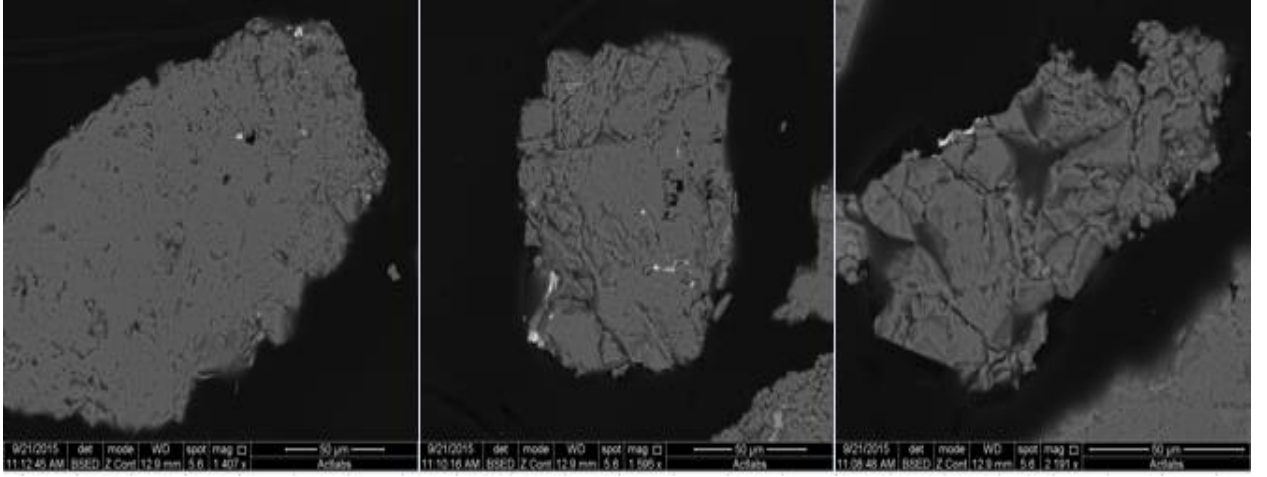
	Apatit	0.03	0.01	0.02	0.01
İnce Agregalar	Barit-Kil Karışımı (Pirit İçerebilir)	0.15	14.80	0.11	0.07
	Diğerleri	1.71	10.64	1.45	1.37
	Düşük Miktarda Olanlar	0.04	0.11	0.04	0.04
	Toplam	100	100	100	100

MLA analizi için fraksiyonel olarak gönderilen numune üzerinde altın taraması da yapılmıştır. Akarşen cevheri içerisinde bulunan altının hangi formda olduğu ve oluşum boyları incelenmiştir. Actlabs firması tarafından verilen rapora göre altının iri boylarda Au-Ag alaşımı (elektrum), daha ince boylarda ise altının nabit olarak olduğu sonucuna varılmaktadır. Altın taramasının özeti Çizelge 3.3'de verilmektedir.

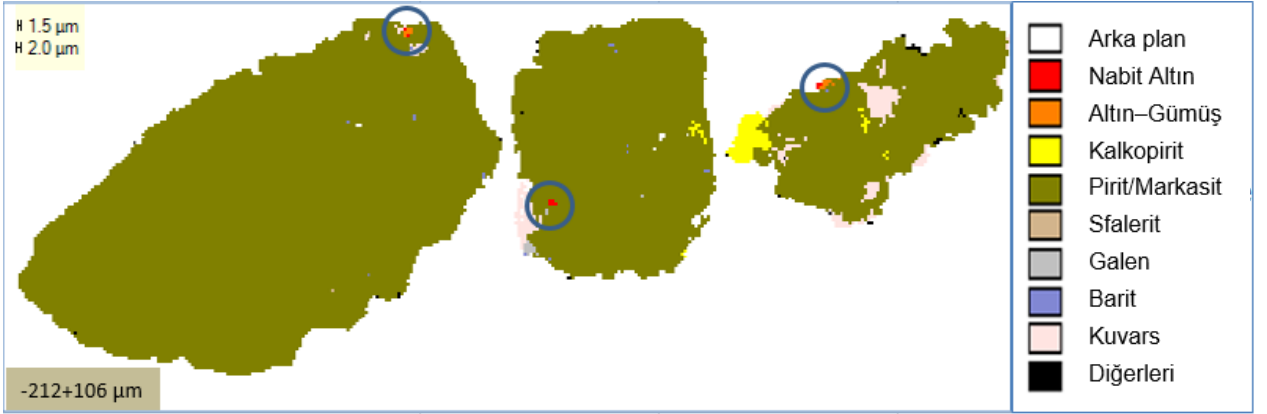
Çizelge 3.3 Altın taramasının fraksiyonel özeti

Tane Boyu	-20 μ m	-53+20 μ m	-106+53 μ m	-212+106 μ m
Altın Tespit Edilen Tane Sayısı	1	2	1	4
Tespit Edilen Altın Minerali	Au-Ag Alaşımı	Nabit Au/Au-Ag Alaşımı	Nabit Altın	Nabit Au/Au-Ag Alaşımı
Altın Mineralinin Bağlılık Durumu	İnce taneler içinde kilitli	Pirit/Markasit	Pirit/Markasit	Pirit/Markasit

Altın içeren tanelerin genellikle pirit/markasit minerali ile birlikte bulunduğu görülmektedir. Şekil 3.11'de -212+106 μ m tane boyundaki altın içeren tanelerin elektron mikroskobu görüntüleri, Şekil 3.12'de ise bu tanelerin MLA ile tanımlanan mineralojik bileşimleri verilmektedir.

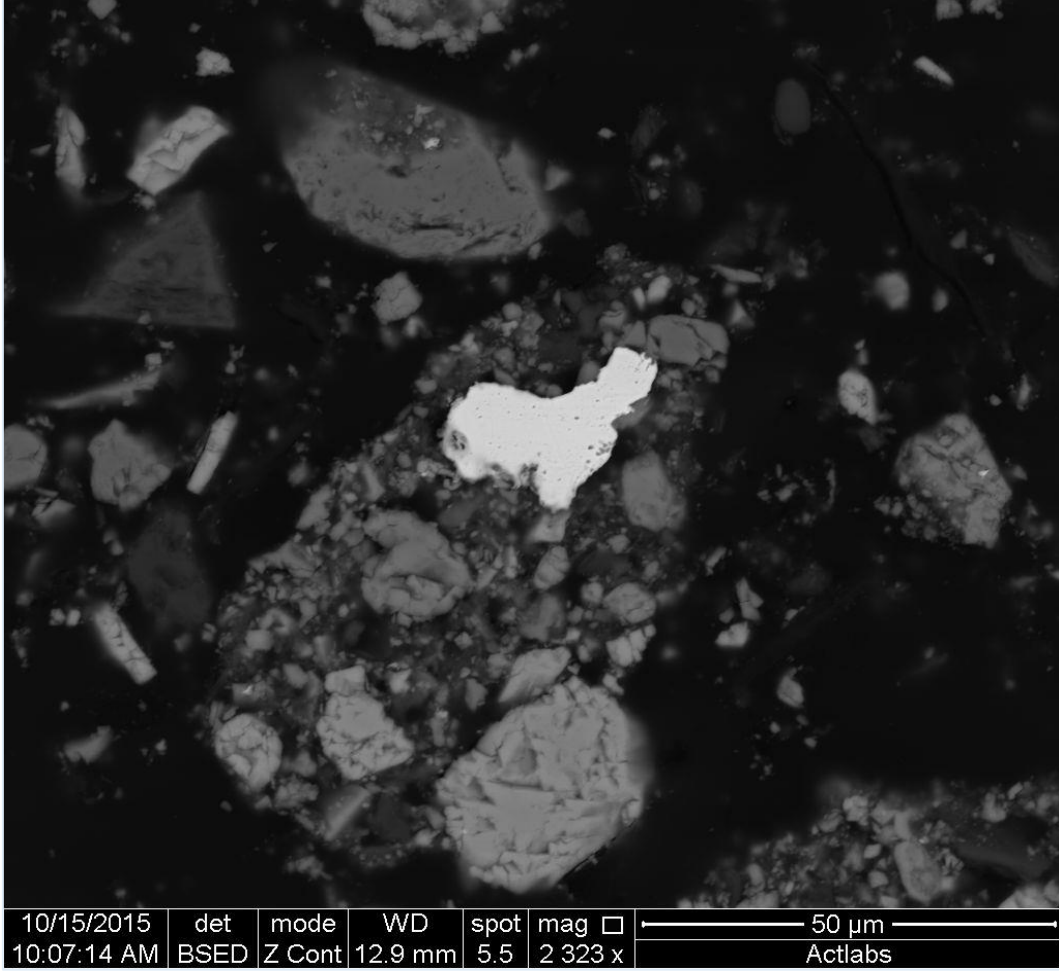


Şekil 3.11 -212+106 µm tane boyu aralığında belirlenen altın tanelerine ait elektron mikroskobu görüntüleri

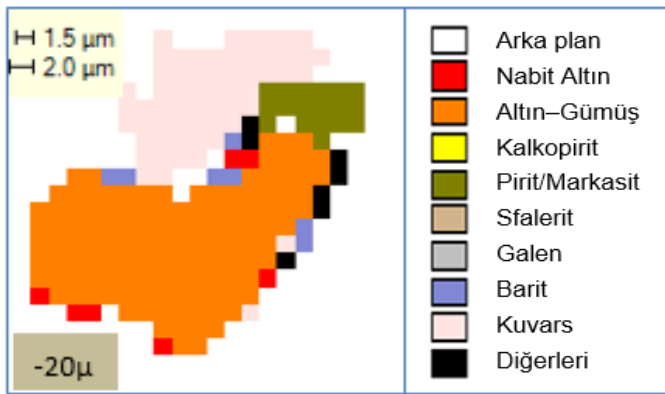


Şekil 3.12 -212+106 µm tane boyu aralığındaki altın içeren taneler

-20 µm tane boyu aralığında bulunan altın tanelerine ait elektron mikroskobu görüntüsü Şekil 3.13'de verilmektedir. Altın tanelerinin ince taneler içinde kilitli olduğu Şekil 3.14'den de anlaşılmaktadır.



Şekil 3.13 -20 μm tane boyu aralığında bulunan altın tanelerine ait elektron mikroskobu görüntüsü



Şekil 3.14 -20 μm fraksiyonunda bulunan altın tanelerinin gösterimi

Çizelge 3.4'de, saptanan altın minerallerinin tane boyu dağılımı verilmektedir. Buna göre; nabit altının %100'ü 7 μm'dan daha ince olup Au-Ag alaşımının ise daha iri bir tane boyu dağılımı sergilediği ve %100'nün yaklaşık 18 μm'dan daha küçük olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.4 Altın minerallerinin tane boyu dağılımı

Nabit Au/ Tüm fraksiyonlar		Au-Ag alaşım/ Tüm fraksiyonlar
Boy, μm	Kümülatif Geçen %	
S\leq1.5	0	0
S\leq3	44	2
S\leq5	88	5
S\leq7	100	11
S\leq10		27
S\leq13.25		27
S\leq18.75		100

Çizelge 3.5’de ise altın minerallerinin serbestleşme durumu özetlenmektedir. Buna göre; Au-Ag alaşımı nabit altına göre mineral tanelerinde daha fazla yüzeye sahiptir.

Çizelge 3.5 Altın minerallerinin serbestleşme durumu

Serbest yüzey alanı bazında serbestleşme/Fraksiyonların Birleşimi						
	$\leq 20\%$	$\leq 40\%$	$\leq 50\%$	$\leq 75\%$	$\leq 90\%$	Serbest
Au-Ag serbestleşmesi	62	0	0	38	0	0
Nabit Au serbestleşmesi	100	0	0	0	0	0

Çizelge 3.6’da, tane yüzeylerinde belirlenen altın minerallerinin diğer minerallerle bağlılık durumu özetlenmektedir. Nabit Au genellikle Au-Ag alaşımı ve pirit/markasit ile birlikte bulunurken, Au-Ag alaşımı ise hem nabit Au ve pirit/markasitle hem de baritle birlikte bulunmaktadır.

Çizelge 3.6 Altının tane yüzeylerinde belirlenen diğer minerallerle bağlılık durumu

	Nabit Altın	Altın – Gümüş (Elektrum)
Nabit Altın	0	20
Altın - Gümüş	20	0
Kalkopirit	3	6
Pirit/Markasit	24	39
Sfalerit	0	0
Galen	0	0
Barit	3	27
Kuvars	1	2
Arka plan	7	30
Toplam	58	124

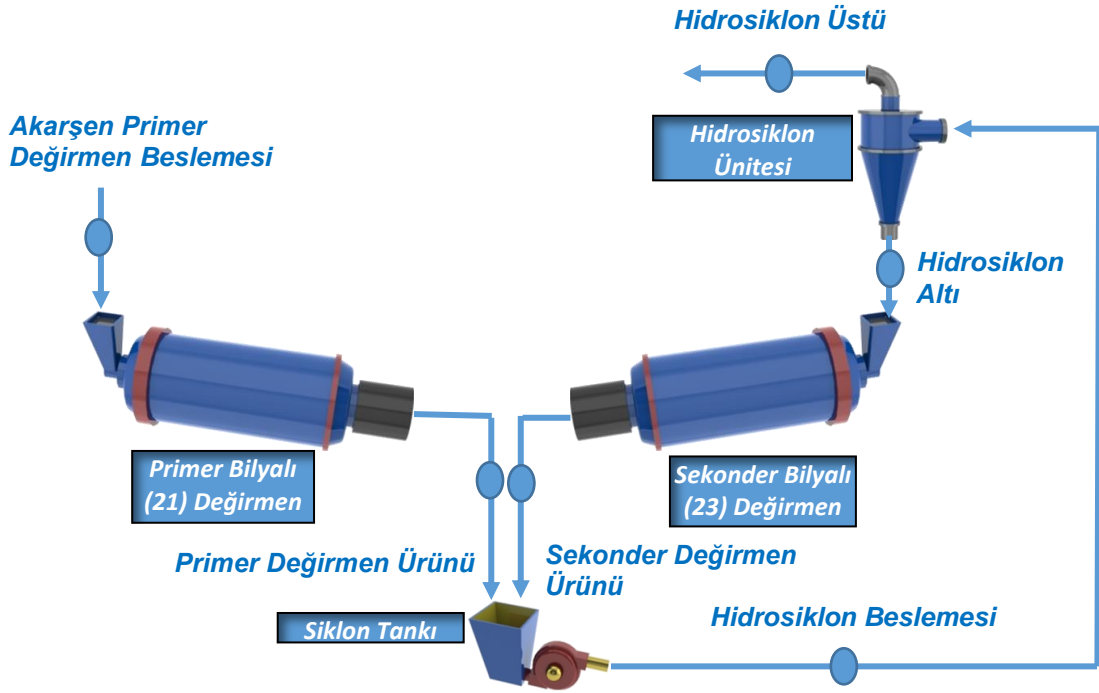
3.5 Madde Denkliği alışmaları

Çalışmanın bu kısmında Akarşen ğütme ve sınıflandırma devresinin (şekil 3.15) siklon etrafından alınan numuneler ile bu akışların tane boyu dağılımları ve ağırlıkça % katı oranları belirlenmiştir. Belirlenen tane boyu dağılımlarıyla JK Simmet v6.01 programı kullanılarak madde denkliği yapılmış, siklon etrafındaki katı akış miktarları hesaplanmıştır. Akış kollarındaki miktarlar ve yüzde katı oranları, madde denkliği ilkelerine uygun olarak istatistiksel olarak düzeltilmiş ve hesaplamalarda bu veriler kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, alınan numunelerin bakır (Cu), inko (Zn), altın (Au) ve gümüş (Ag) analizleri de yapılmış, elde edilen sonuçlar izelge 3.7'de sunulmuştur.

Çizelge 3.7 Siklon etrafından alınan numunelere ait analiz sonuçları

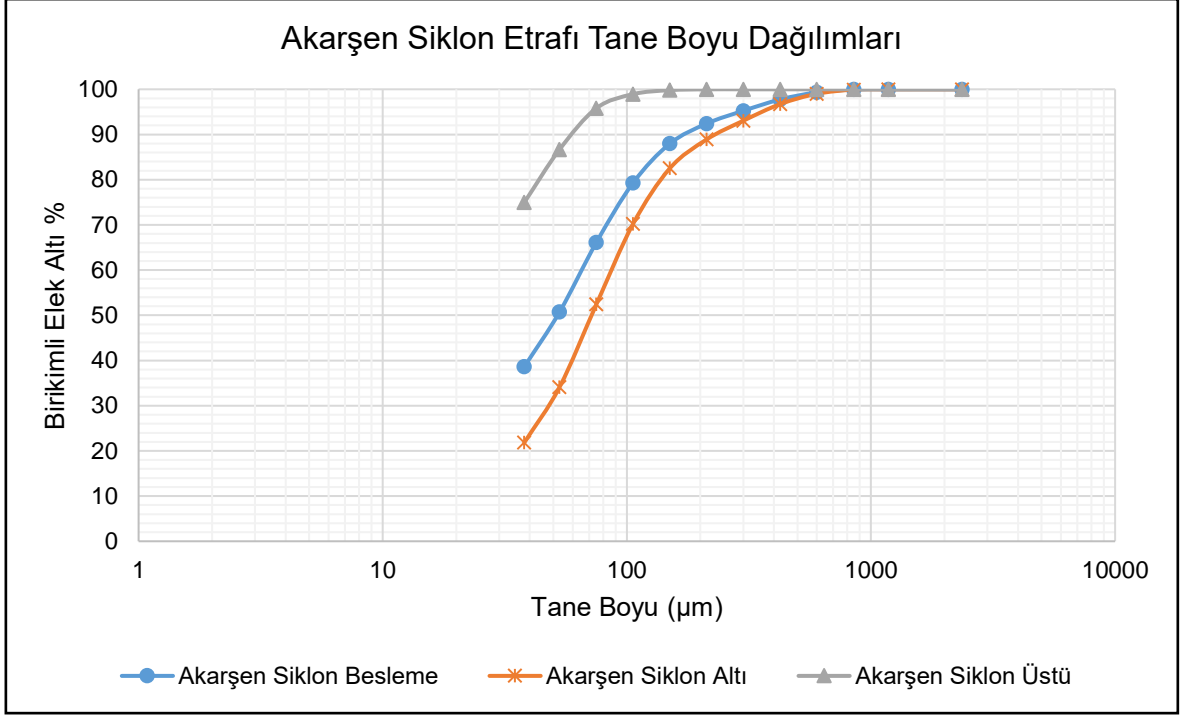
Numune Alma Noktaları	Cu (%)	Zn (%)	Au (ppm)	Ag (ppm)
Akarşen Siklon Üstü	3.19	6.28	2.99	117.76
Akarşen Siklon Altı	3.07	5.90	8.12	135.41
Akarşen Siklon Besleme	3.11	6.02	6.50	129.83

Akarşen öğütme ve sınıflandırma devresinin akım şeması Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15 Akarşen öğütme ve sınıflandırma devresi

Akarşen devresinin siklon etrafından alınan numunelerin tane boyu dağılımları ve % katı değerleri belirlenmiştir. Tane boyu dağılımları Şekil 3.16'da verilmiştir. Tane boyu dağılımları üzerinden gerçekleştirilen madde denklığı çalışmaları sonucunda siklon etrafındaki katı akış miktarları ve ağırlıkça % katı değerleri Çizelge 3.8'de verilmektedir.



Şekil 3.16 Akarşen siklon etrafı tane boyu dağılımları

Akarşen öğütme devresi ile kapalı devre çalışan siklon grubunun üst akımının d_{80} tane boyu 44 µm olarak belirlenmiştir. Akarşen siklon etrafı tane boyu dağılım tablosu EK 1'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Akarşen siklon etrafı madde denklığı çalışmaları

	Siklon Besleme	Siklon Altı	Siklon Üstü
Katı (Ton/Saat)	126.63	86.63	40.00
% Katı (Ağırlıkça)	52.68	70.02	34.29

Sekonder değirmen çıkışından alınan numune ile yapılan çalışma sonucunda bu akışın % katı(ağırlıkça) değerinin de %67.66 olduğu belirlenmiştir. Kullanılan tonaj ve % katı değerleri madde denklığı çalışmaları sonucunda elde edilmiş olup çalışmanın gerçekleştirildiği dönem için geçerlidir.

3.6 Falcon L40 ile Yapılan Çalışmalar

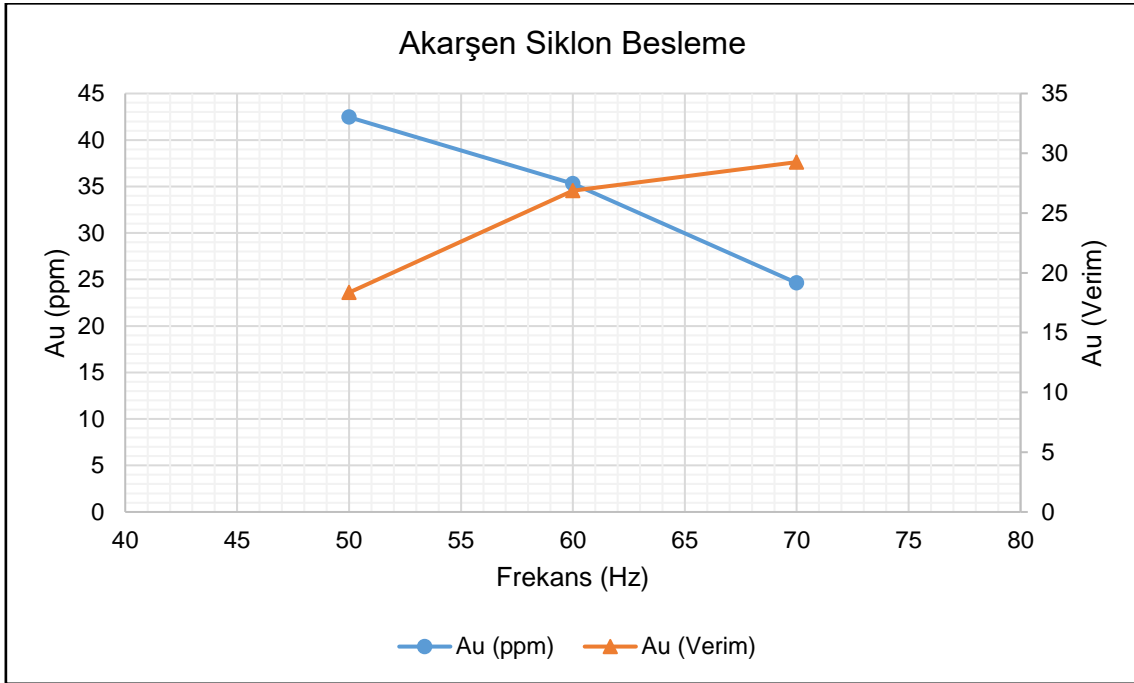
Akarşen cevheri ile gerçekleştirilen Falcon testleri sonucunda elde edilen veriler bu kısımda sunulmuştur. Çalışma dönemi boyunca, cevher karakterizasyonu çalışmaları için primer değirmen beslemesinden biriktirilen Akarşen cevherinin Au tenörü 4.3 ppm olarak belirlenmiştir. Test çalışmalarında elde edilen tüm ürünler Eti Bakır A.Ş. Samsun bakır izabe tesisindeki kimyasal analiz laboratuvarına gönderilmiş ve gelen analiz sonuçlarına göre devrelerde madde denklığı yapılarak verim ve tenör değerleri hesaplanmıştır. Cevher karakterizasyon çalışmaları sonucunda altının ince boylarda daha çok nabit formda, iri boylarda ise daha çok Au-Ag alaşım (elektrum) formunda olduğu saptanmıştır. Çizelge 3.9'da Akarşen siklon beslemesinden alınan numune ile farklı frekans değerlerinde yapılmış Falcon testlerine ait sonuçlar verilmektedir.

Çizelge 3.9 Akarşen siklon besleme numunesi ile 50 Hz, 60 Hz ve 70 Hz değerlerinde 0.5 bar su basıncı ile yapılan Falcon testlerinin sonuçları

Akarşen Siklon Besleme	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)
50 Hz 0.5 Bar			
Besleme	100.00	6.58	
Konsantre	2.84	42.45	18.35
Atık	97.16	5.53	81.65
60 Hz 0.5 Bar			
Besleme	100.00	6.54	
Konsantre	4.97	35.32	26.87
Atık	95.03	5.03	73.13
70 Hz 0.5 Bar			
Besleme	100.00	6.62	
Konsantre	7.87	24.63	29.26
Atık	92.13	5.09	70.74

50 Hz ve 0.5 bar su basıncı ile yapılan deneyde beslemenin 6.58 ppm Au tenörü, Falcon konsantresinde 42.45 ppm değerine yükseltilmiştir. Falcon konsantresine

gelen ağırlık oranı ise beslemenin %2.84'lük kısmını oluşturmaktadır. Bu konsantrenin Au verimi ise %18.35 olarak hesaplanmıştır. 60 Hz ve 0.5 bar su basıncı ile yapılan deneyde ise beslemenin 6.54 ppm Au tenörü, konsantrede 35.32 ppm değerine yükseltilmiştir. Konsantrenin ağırlıkça oranı beslemeye göre %4.97 olmuştur. Bu koşul sonucunda Au verimi %26.87 olarak hesaplanmıştır. 70 Hz ve 0.5 bar su basıncında yapılan deneyde beslemedeki 6.62 ppm Au tenörü, Falcon konsantresinde 24.63 ppm değerine zenginleştirilmiştir. Falcon konsantresinin verimi ise %29.26 olarak belirlenmiştir. Siklon beslemesinden alınan numune ile yapılan çalışma sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi Şekil 3.17'de gösterilmektedir.



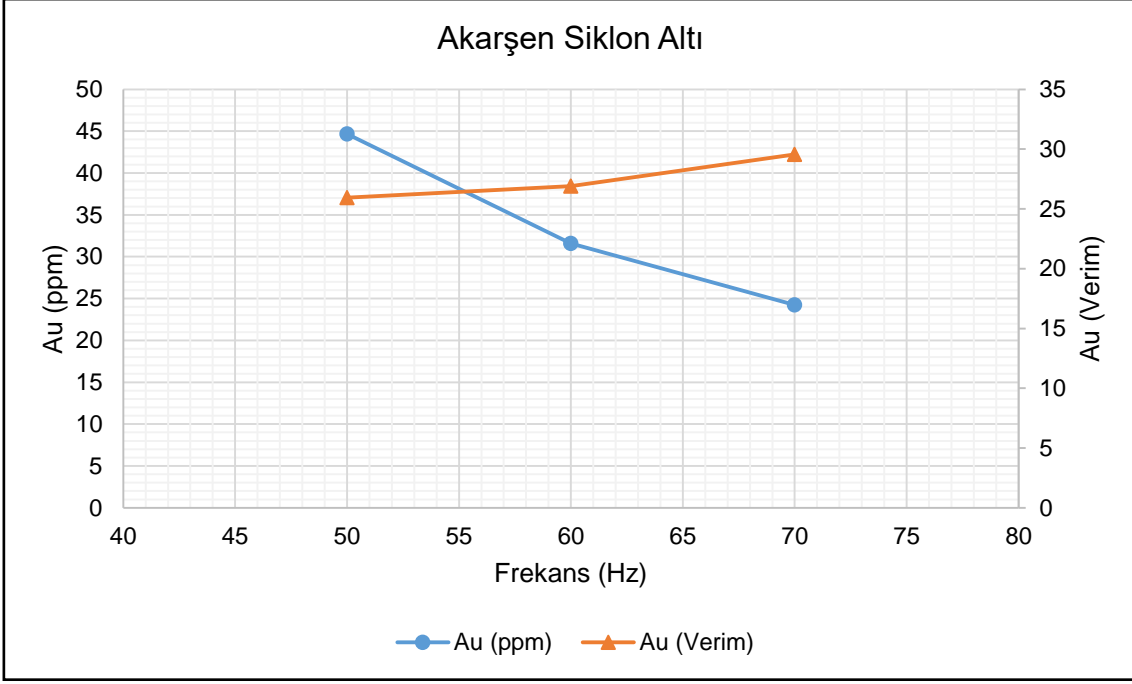
Şekil 3.17 Akarşen siklon besleme numunesi ile yapılan testler sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi

Şekilden de anlaşılacağı üzere frekans artışına bağlı olarak konsantre tenöründe azalma meydana gelirken konsantre veriminin ise arttığı gözlenmektedir. Ayrıca yapılan çalışmada frekans değerinin artması ile ekipmanın konsantre haznesinde yakaladığı konsantre miktarı da artmaktadır. Bunun sebebi ise tanelere etki eden G kuvveti arttığı için tanelerin oluşan merkezkaç kuvvetine karşı koyması zorlaşmakta ve buna bağlı olarak haznede biriken konsantre miktarı artmaktadır. Çizelge 3.10'da Akarşen siklon altı numunesine uygulanan Falcon testlerinin sonuçları verilmektedir.

Çizelge 3.10 Akarşen siklon altı numunesi ile 50 Hz, 60 Hz ve 70 Hz değerlerinde 0.5 bar su basıncı ile yapılan Falcon testlerinin sonuçları

Akarşen Siklon Altı	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)
50 Hz 0.5 Bar			
Besleme	100.00	7.91	
Konsantre	4.59	44.65	25.94
Atık	95.41	6.14	74.06
60 Hz 0.5 Bar			
Besleme	100.00	7.86	
Konsantre	6.70	31.60	26.91
Atık	93.30	6.16	73.09
70 Hz 0.5 Bar			
Besleme	100.00	7.95	
Konsantre	9.70	24.22	29.54
Atık	90.30	6.20	70.46

Akarşen devresinin siklon alt akımından alınan numunenin Au tenörünün, primer değirmen beslemesindeki Au tenöründen yüksek olduğu görülmekte bu da altın tanelerinin yüksek yoğunluğa sahip olması nedeniyle siklon alt akımına gitme eğiliminde olduğuna işaret etmektedir. 50 Hz değerinde 7.91 ppm Au tenörü, Falcon konsantresinde 44.65 ppm değerine zenginleştirilmiş, Au verimi de %25.94 olmuştur. Bu koşulda Falcon ile en yüksek konsantre tenörü elde edilmiştir. 60 Hz değerinde ise 7.86 ppm Au besleme tenörü, Falcon konsantresinde 31.60 ppm değerine çıkarılmıştır. Frekans değerinin artışına bağlı olarak Au tenöründe azalma olduğu görülmektedir. Au verimi de %26.91 olarak hesaplanmıştır. 70 Hz değerinde 7.95 ppm Au tenörü 24.22 ppm değerine zenginleştirilmiştir. Au verimi de %29.54 olarak hesaplanmıştır. Siklon altından alınan numune ile yapılan çalışma sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi Şekil 3.18'de gösterilmektedir.



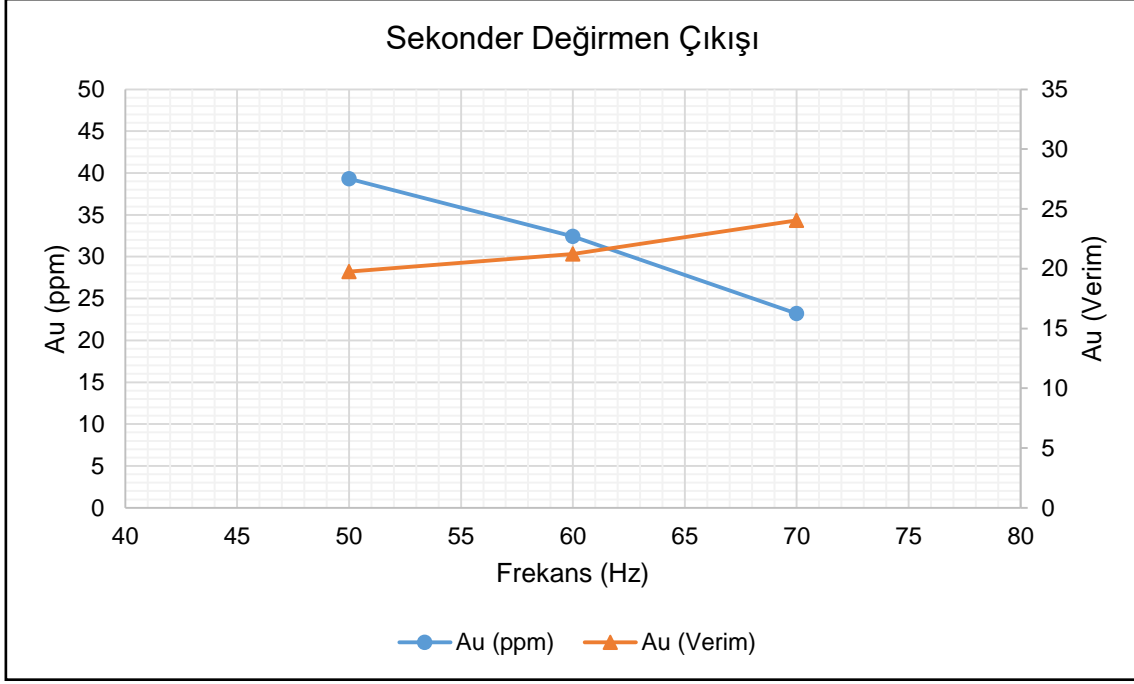
Şekil 3.18 Akarşen siklon altı numunesi ile yapılan testler sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi

Akarşen siklon altı numunesi ile yapılan çalışmada da siklon besleme numunesi ile yapılan çalışmada olduğu gibi frekans değeri arttıkça tenör azalırken verim değeri artmaktadır. Siklon altı numunesinde siklon besleme numunesinden farklı olarak verim artışının daha kısıtlı olduğu gözlemlenmektedir. Siklon altı ile yapılan Falcon çalışmalarının 50 Hz koşulunda, Falcon ekipmanı ile yapılan testlerdeki en yüksek tenör ve verim değerlerine ulaşılmıştır. Çizelge 3.11'de Akarşen öğütme devresindeki sekonder değirmenin çıkışından alınan numuneler ile gerçekleştirilen Falcon testlerinin sonuçları verilmektedir.

Çizelge 3.11 Sekonder değirmen çıkışı numunesi ile 50 Hz, 60 Hz ve 70 Hz değerlerinde 0.5 bar su basıncı ile yapılan Falcon testlerinin sonuçları

Sekonder Değirmen Çıkışı	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)
50 Hz 0.5 Bar			
Besleme	100.00	6.96	
Konsantre	3.50	39.33	19.76
Atık	96.50	5.79	80.24
60 Hz 0.5 Bar			
Besleme	100.00	6.91	
Konsantre	4.52	32.42	21.23
Atık	95.48	5.70	78.77
70 Hz 0.5 Bar			
Besleme	100.00	6.94	
Konsantre	7.19	23.20	24.04
Atık	92.81	5.68	75.96

50 Hz değerinde 6.96 ppm Au tenörü, 39.33 ppm değerine yükseltilirken konsantrenin Au verimi de %19.76 olarak belirlenmiştir. 60 Hz değerinde 6.91 ppm Au tenörü 32.42 ppm değerine zenginleştirilirken, Au verimi de %21.23 olarak belirlenmiştir. 70 Hz değerinde 6.94 ppm Au içeriği 23.20 ppm değerine yükseltilirken, Au verimi de %24.04 olarak belirlenmiştir. Yapılan zenginleştirme çalışmaları sonucunda, Akarşen siklon altı 50 Hz 0.5 bar koşulundan sonra en yüksek altın konsantre tenörüne sekonder değirmen çıkışından alınan numune ile yapılan deneylerden 50 Hz 0.5 bar koşulunda ulaşılmıştır. Akarşen sekonder değirmen çıkışından alınan numune ile yapılan çalışma sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi Şekil 3.19'da gösterilmektedir.



Şekil 3.19 Akarşen sekonder değirmen çıkışı numunesi ile yapılan testler sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi

Akarşen sekonder değirmen numunesi ile yapılan çalışmada da diğer iki numunede olduğu gibi frekans değeri arttıkça tenör azalmakta ancak verim artmaktadır. Elde edilen konsantre miktarına da bağlı olarak tenör ve verim değerlerindeki değişikliklerin akış kollarında farklılık gösterdiği gözlemlenmektedir.

Akarşen zenginleştirme tesisinin flotasyon devresinden alınan numunelerle de testler yapılmıştır. Falcon testlerinde, Akarşen flotasyon devresinin süpürme atığından ve nihai atıktan alınan numuneler kullanılmıştır. Akarşen süpürme atığı ile yapılan Falcon testine ait sonuçlar Çizelge 3.12'de verilmektedir.

Çizelge 3.12 Akarşen süpürme atık numunesine 70 Hz değerinde, 0.5 bar su basıncı ile yapılan Falcon testinin sonuçları

Akarşen Süpürme Atık	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)
70 Hz 0.5 Bar			
Besleme	100.00	2.35	
Konsantre	7.04	4.20	12.58
Atık	92.96	2.21	87.42

Süpürme atığında 2.35 ppm Au tenörü, Falcon konsantresinde 4.2 ppm değerine yükseltilmiştir. Au verimi de %12.58 olarak belirlenmiştir. Akarşen nihai atık ile gerçekleştirilen Falcon testine ait sonuçlar Çizelge 3.13'de verilmektedir.

Çizelge 3.13 Akarşen nihai atık numunesine 70 Hz değerinde, 0.5 bar su basıncı ile yapılan Falcon testinin sonuçları

Akarşen Nihai Atık	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)
70 Hz 0.5 Bar			
Besleme	100.00	2.11	
Konsantre	9.68	2.95	13.53
Atık	90.32	2.02	86.47

70 Hz değerinde 2.11 ppm Au olan besleme tenörü 2.95 ppm değerine yükseltilirken Au verimi de %13.53 olarak hesaplanmıştır. Atık tenörü ise 2.02 ppm olarak belirlenmiştir. Akarşen devresinden alınan her iki atık numunesi ile yapılan Falcon testleri sonucunda Au tenöründe kayda değer bir zenginleşme söz konusu değildir. Falcon'un bu iki akış kolunda zenginleştirme yapmaktan ziyade merkezkaç kuvvetine yenik düşen görece iri taneleri konsantre oluşuna biriktirerek boyuta göre bir sınıflandırma yaptığı görülmektedir. Flotasyon devresine gelen altın tanelerinin öğütme devresinden ancak çok ince tane boylarında çıkabildiği ve bunların da flotasyon atıklarından gravite yöntemleri ile kazanılmasının oldukça zor olduğu görülmüştür. Bundan dolayı, yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanının öğütme ve sınıflandırma devresi akış kollarında değerlendirilmesinin gerektiği açıkça görülmektedir.

3.7 Sallantılı Masa ile Yapılan Çalışmalar

Akarşen devresinden alınan numuneler ile yapılan Falcon testlerinden elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda Au tenörlerinin yükseltilmesi amacıyla sallantılı masa testleri gerçekleştirilmiş, üretilen Falcon konsantreleri sallantılı masa testlerinin beslemesi olarak kullanılmıştır. Sallantılı masa testlerinden elde edilen ürünler analize gönderilmiş ve JK Simmet v6.01 programı kullanılarak madde denklığı yapılmış, akış kollarındaki miktarlar madde denklığı ilkelerine uygun olarak istatistiksel olarak düzeltilmiştir. Hesaplamalarda bu veriler kullanılmıştır.

Akarşen siklon beslemesi 50 Hz Falcon konsantresi ile sallantılı masa testi gerçekleştirilmiştir. Sallantılı masa testine ait sonuçlar Çizelge 3.14'de verilmektedir.

Çizelge 3.14 Akarşen siklon beslemesi 50 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları

Akarşen Siklon Besleme 50 Hz Falcon Konsantre				
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	6.67	255.75	40.16	7.37
Ara Ürün	37.69	56.41	50.09	9.19
Atık	55.64	7.44	9.75	1.79
Besleme	100.00	42.45	100.00	18.35

Sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 42.45 ppm değerinden, 255.75 ppm değerine zenginleştirilmiştir. Sallantılı masa testinin sonucunda, Falcon konsantresinin ağırlıkça %6.67'si sallantılı masa konsantresi olarak alınmıştır. Sallantılı masa testine ait Au verimi %40.16 olarak hesaplanmıştır. Falcon konsantresinin veriminin de %18.35 olduğu bilinmektedir. Böylece, nihai Au verimi %7.37 olarak hesaplanmıştır.

Akarşen siklon beslemesi 60 Hz Falcon konsantresi ile sallantılı masa testi gerçekleştirilmiştir. Sallantılı masa testine ait sonuçlar Çizelge 3.15'de verilmektedir.

Çizelge 3.15 Akarşen siklon beslemesi 60 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları

Akarşen Siklon Besleme 60 Hz Falcon Konsantre				
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	6.83	216.51	41.84	11.24
Ara Ürün	43.40	39.34	48.35	12.99
Atık	49.78	6.96	9.81	2.63
Besleme	100.00	35.32	100.00	26.87

Akarşen siklon besleme 60 Hz Falcon konsantresine yapılan sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 35.32 ppm değerinden, 216.51 ppm değerine çıkmıştır. Sallantılı masa testinin sonucunda, Falcon konsantresinin ağırlıkça %6.83'ü sallantılı masa konsantresi olarak alınmıştır. Yapılan bu teste ait verim ise %41.84 olarak hesaplanmıştır. Falcon konsantresinin veriminin de %26.87 olduğu bilinmektedir. Böylece, nihai Au verimi %11.24 olarak hesaplanmıştır.

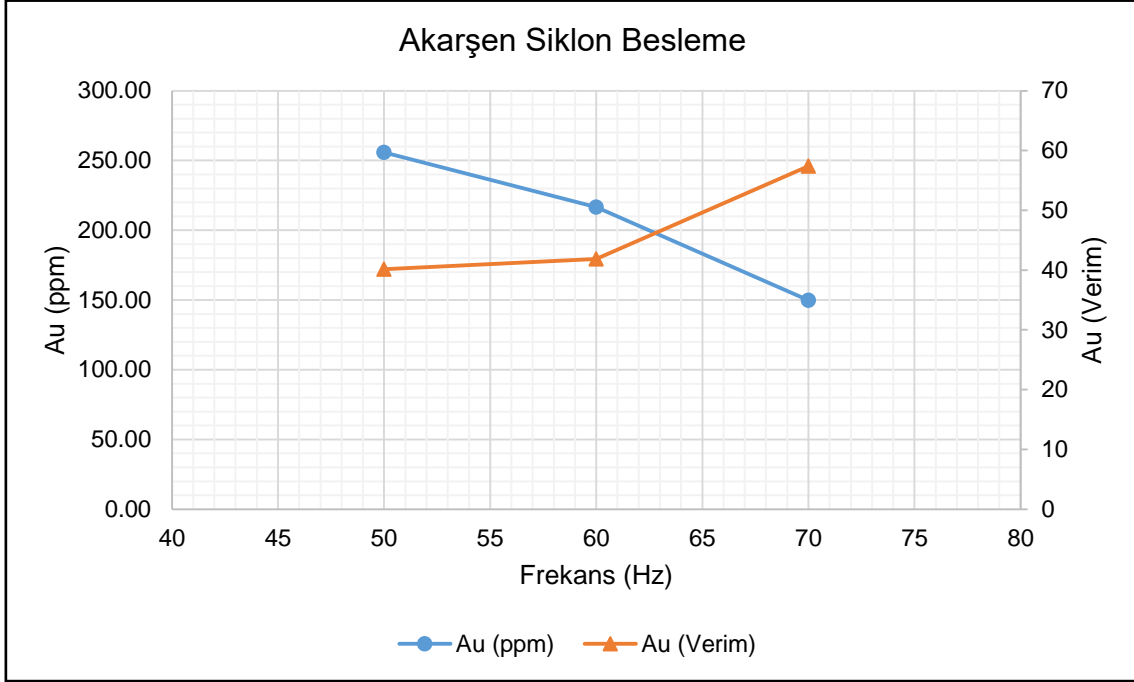
Akarşen siklon beslemesi 70 Hz Falcon konsantresi ile gerçekleştirilen sallantılı masa testine ait sonuçlar Çizelge 3.16'da verilmektedir.

Çizelge 3.16 Akarşen siklon beslemesi 70 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları

Akarşen Siklon Besleme 70 Hz Falcon Konsantre				
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	9.44	149.70	57.37	16.79
Ara Ürün	43.27	16.59	29.15	8.53
Atık	47.29	7.02	13.48	3.94
Besleme	100.00	24.63	100.00	29.26

Sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 24.63 ppm değerinden 149.70 ppm değerine zenginleştirilmiştir. Sallantılı masa testine ait Au verimi %57.37 olarak hesaplanmıştır. Nihai Au verimi ise %16.79 olarak belirlenmiştir. Akarşen siklon

beslemesinden alınan numune ile yapılan sallantılı masa testleri sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi Şekil 3.20'de gösterilmektedir.



Şekil 3.20 Akarşen siklon besleme numunesi ile yapılan sallantılı masa testleri sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi

Şekilden de görüleceği üzere yapılan çalışmalar sonucunda da tenör ile verim arasında ters bir orantı ortaya çıkmıştır. 50 Hz Falcon konsantresine yapılan sallantılı masa testinde Au tenörü 250 ppm değerinin üzerindeyken, 70 Hz Falcon konsantresine yapılan sallantılı masa testinde bu değer 150 ppm'in altına inmiştir.

Akarşen siklon altı 50 Hz Falcon konsantresi ile gerçekleştirilen sallantılı masa deneyine ait sonuçlar Çizelge 3.17'de verilmektedir.

Çizelge 3.17 Akarşen siklon altı 50 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları

Akarşen Siklon Altı 50 Hz Falcon Konsantre				
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	12.45	168.80	47.49	12.32
Ara Ürün	48.03	35.14	42.75	11.09
Atık	39.53	13.17	9.77	2.53
Besleme	100.00	44.65	100.00	25.94

Falcon konsantresinin ağırlıkça %12.45'i sallantılı masa konsantresi olarak alınmıştır. Sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 44.65 ppm değerinden 168.80 ppm değerine zenginleştirilmiştir. Sallantılı masa testine ait Au verimi %47.49 olarak hesaplanmıştır. Nihai Au verimi ise %12.32 olarak belirlenmiştir. Bu koşulda Falcon ekipmanı ile en iyi sonuçlar alınmasına rağmen sallantılı masa çalışmalarında tenör değeri diğer koşullara göre düşük kalmıştır. Akarşen siklon altından alınan numuneler ile gerçekleştirilen sallantılı masa testlerine ait sonuçlar içerisinde en yüksek Au tenörü 50 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testinin sonucunda elde edilmiştir.

Akarşen siklon altı 60 Hz Falcon konsantresi ile gerçekleştirilen sallantılı masa testine ait sonuçlar Çizelge 3.18'de verilmektedir.

Çizelge 3.18 Akarşen siklon altı 60 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları

Akarşen Siklon Altı 60 Hz Falcon Konsantre				
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	17.41	98.23	54.14	14.57
Ara Ürün	39.14	25.70	31.84	8.57
Atık	43.45	10.20	14.03	3.77
Besleme	100.00	31.60	100.00	26.91

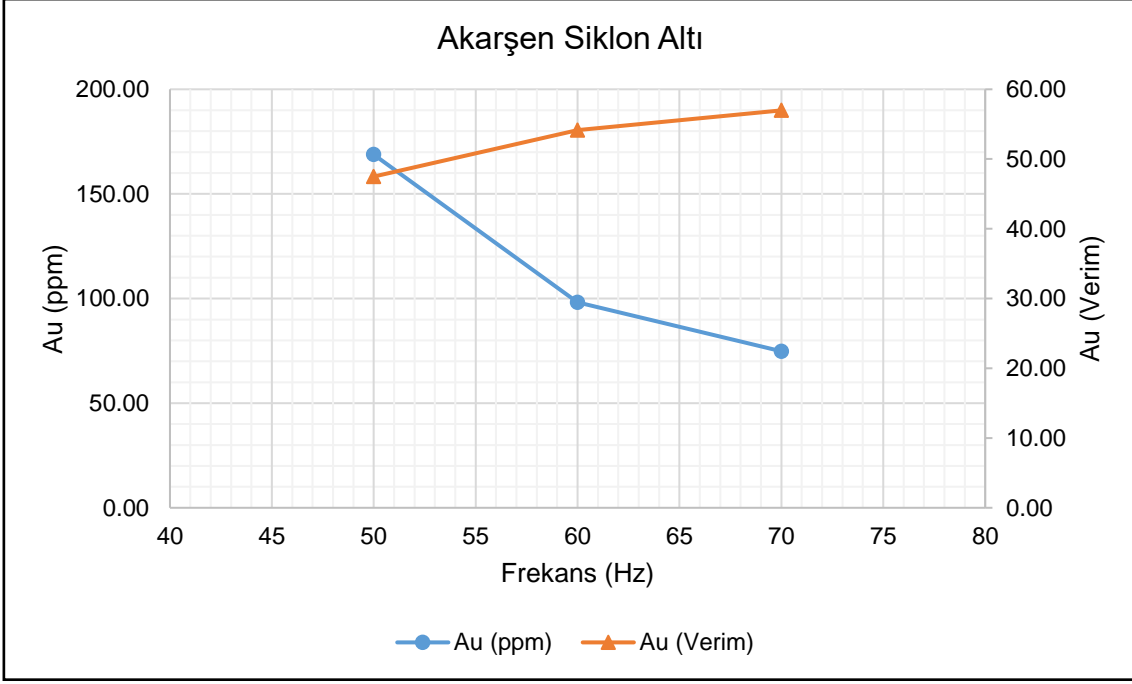
Falcon konsantresinin ağırlıkça %17.41'i sallantılı masa konsantresi olarak alınmıştır. Falcon konsantresinden elde edilen ve Au tenörü 31.60 ppm değerinde olan numune sallantılı masa testi sonucunda 98.23 ppm değerine zenginleştirilmiştir. Sallantılı masa testine ait Au verimi %54.14 olarak hesaplanmıştır. Nihai Au verimi ise %14.57 olarak belirlenmiştir.

Akarşen siklon altı 70 Hz Falcon konsantresi ile gerçekleştirilen sallantılı masa testine ait sonuçlar Çizelge 3.19'da verilmektedir.

Çizelge 3.19 Akarşen siklon altı 70 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları

Akarşen Siklon Altı 70 Hz Falcon Konsantre				
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	18.45	74.80	56.98	16.83
Ara Ürün	33.35	20.68	28.46	8.41
Atık	48.20	7.32	14.56	4.30
Besleme	100.00	24.22	100.00	29.54

Beslemenin ağırlıkça %18.45'i sallantılı masa konsantresine alınmıştır. Sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 24.22 ppm değerinden 74.80 ppm değerine zenginleştirilmiştir. Zenginleştirme oranının oldukça düşük olduğu görülmüştür. Sallantılı masa testine ait Au verimi %56.98 olarak hesaplanmıştır. Nihai Au verimi ise %16.83 olarak belirlenmiştir. Akarşen siklon altından alınan numune ile yapılan sallantılı masa testleri sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi Şekil 3.21'de gösterilmektedir.



Şekil 3.21 Akarşen siklon altı numunesi ile yapılan sallantılı masa testleri sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi

Akarşen siklon altından alınan numuneler ile gerçekleştirilen Falcon ve sallantılı masa testlerinin sonuçları değerlendirildiğinde en iyi tenör değerinin 50 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testlerinde olduğu belirlenmiştir. 50 Hz Falcon konsantresi ile gerçekleştirilen sallantılı masa testlerinde, Au tenörü 168.80 ppm değerine ulaşmıştır. Diğer iki koşulda, 60 Hz ve 70 Hz değerlerinde elde edilmiş Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testlerinde Au tenörü görece düşük seviyelerde kalmıştır. Bu koşullarda yapılan testlerde verim değeri az miktarda yükselmiş olsa da tenör değerleri hızlı bir düşüş göstermiştir. Frekans değerlerinin artışına bağlı olarak iri tanelerin tane boyu etkisiyle Falcon tarafından çanak içerisinde tutulma olasılığı artmaktadır. Siklon altında bulunan iri boydaki tanelerin sallantılı masa deneylerinde de konsantreye kolayca taşınmalarından dolayı konsantrenin altın tenöründe istenilen zenginleşme gerçekleştirilememiştir.

Akarşen devresi sekonder değirmen çıkışıdan alınan numunenin 50 Hz değerinde elde edilen Falcon konsantresine yapılan sallantılı masa (Şekil 3.22) sonuçları Çizelge 3.20'de verilmektedir.



Şekil 3.22 Akarşen sekonder değirmen çıkışına yapılan sallantılı masa testlerinden bir görüntü

Çizelge 3.20 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 50 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları

Akarşen Sekonder Değirmen Çıkışı 50 Hz Falcon Konsantre				
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	9.24	267.90	62.94	12.44
Ara Ürün	42.64	20.94	22.71	4.49
Atık	48.12	11.73	14.35	2.84
Besleme	100.00	39.33	100.00	19.76

Falcon konsantresi sallantılı masaya beslendiğinde konsantreye gelen miktar beslemenin %9.24'ü dür. Sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 39.33 ppm değerinden 267.90 ppm değerine zenginleştirilirken, sallantılı masa testine ait Au verimi de %59.71 olarak hesaplanmıştır.

Nihai Au verimi ise %12.44 olarak belirlenmiştir. Bu akış koluna uygulanması planlanan Falcon ve sallantılı masa uygulaması sonucunda öğütme devresinin içerisinde yüksek tenörde altın içeren konsantre elde edilebileceği ortaya konmuştur.

Sekonder değirmen çıkışından alınan numunenin 60 Hz değerinde elde edilen Falcon konsantresine yapılan sallantılı masa test sonuçları Çizelge 3.21'de verilmektedir.

Çizelge 3.21 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 60 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları

Akarşen Sekonder Değirmen Çıkışı 60 Hz Falcon Konsantre				
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	11.22	176.10	60.97	12.94
Ara Ürün	46.51	19.31	27.69	5.88
Atık	42.27	8.70	11.34	2.41
Besleme	100.00	32.42	100.00	21.23

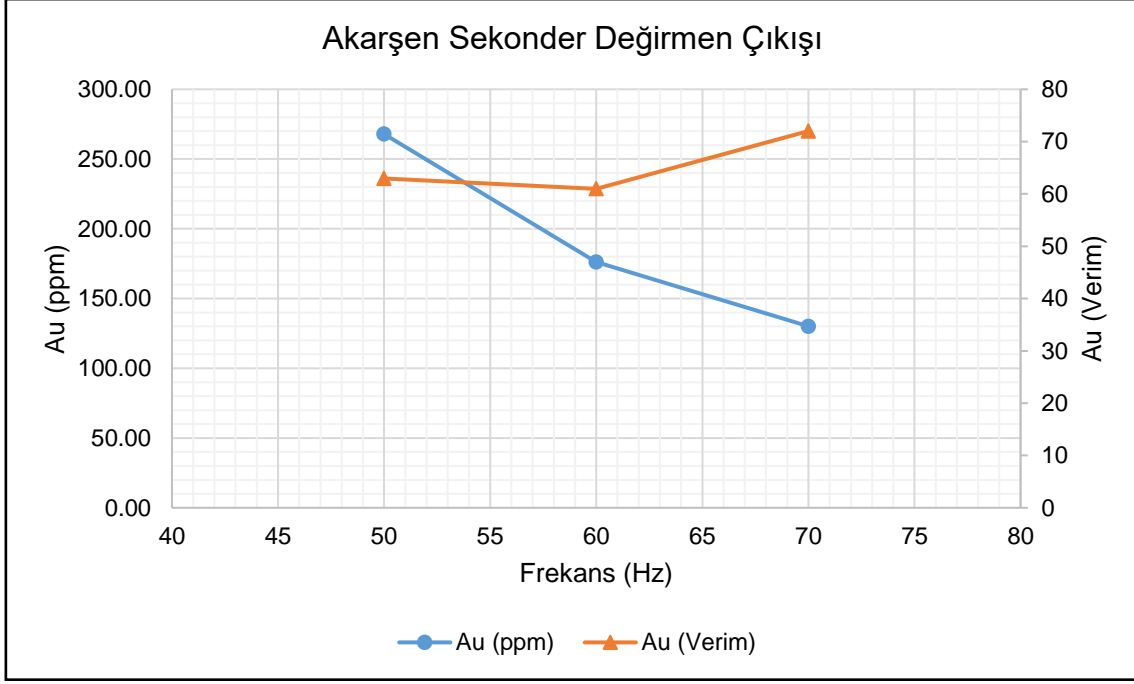
Falcon konsantresinin sallantılı masaya beslenmesi sonucunda, beslemenin ağırlıkça %11.22'sinin sallantılı masa konsantresi olarak alındığı belirlenmiştir. Sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 32.42 ppm değerinden 176.10 ppm değerine zenginleştirilmiştir. Sallantılı masa testine ait Au verimi ise %60.97 olarak hesaplanmıştır. Nihai Au verimi ise %12.94 olarak belirlenmiştir.

Sekonder değirmen çıkışından alınan numunelerin 70 Hz değerinde elde edilen Falcon konsantresine yapılan sallantılı masa test sonuçları Çizelge 3.22'de verilmektedir.

Çizelge 3.22 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 70 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları

Akarşen Sekonder Değirmen Çıkışı 70 Hz Falcon Konsantre				
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	12.84	130.12	72.02	17.31
Ara Ürün	29.73	10.36	13.27	3.19
Atık	57.43	5.94	14.71	3.54
Besleme	100.00	23.20	100.00	24.04

Beslemenin ağırlıkça %12.84'ü sallantılı masa konsantresi olarak alınmıştır. Sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 23.20 ppm değerinden 130.12 ppm değerine zenginleştirilirken, sallantılı masa testine ait Au verimi %72.02 olarak hesaplanmıştır. Nihai Au verimi ise %17.31 olarak belirlenmiştir. Akarşen sekonder değirmen çıkışından alınan numune ile yapılan sallantılı masa testleri sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi Şekil 3.23'de gösterilmektedir.



Şekil 3.23 Akarşen sekonder değirmen çıkışı numunesi ile yapılan sallantılı masa testleri sonucu elde edilen frekansa bağlı verim ve tenör ilişkisi

Akarşen sekonder değirmen çıkışına uygulanan sallantılı masa testleri sonucunda yapılan tüm çalışmadaki en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Sekonder değirmen çıkışına uygulanması planlanan Falcon ve sallantılı masa uygulaması sonucunda öğütme devresinin içerisinde yüksek tenörde altın içeren konsantre elde edilebildiği ortaya konmuştur. 50 Hz Falcon konsantresine yapılan sallantılı masa testinde tenör 267.90 ppm değerine yükseltilmiş, masa verimi ise %62.94 olarak tespit edilmiştir.

Akarşen zenginleştirme tesisinin flotasyon nihai atığından alınan numunelerin 70 Hz değerinde elde edilen Falcon konsantresine yapılan sallantılı masa test sonuçları Çizelge 3.23'de verilmektedir. Sallantılı masa beslemesinin ağırlıkça %11.16'sı sallantılı masa konsantresi olarak alınmıştır. Sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 2.95 ppm değerinden 5 ppm değerine zenginleştirilmiştir. Sallantılı masa testine ait konsantrenin Au verimi %18.91 olarak hesaplanmıştır. Nihai Au verimi ise %2.56 olarak belirlenmiştir. Fakat zenginleştirme oranı açısından bakıldığında dikkate değer bir ayırımın olmadığı görülmektedir.

Çizelge 3.23 Akarşen nihai atık 70 Hz Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonuçları

Akarşen Nihai Atık 70 Hz Falcon Konsantre				
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	11.16	5.00	18.91	2.56
Ara Ürün	5.46	3.86	7.16	0.97
Atık	83.38	2.62	73.94	10.00
Besleme	100.00	2.95	100.00	13.53

3.8 İkinci Dönemde Yapılan Çalışmalar

Yapılan çalışmanın farklı dönemde tekrarlanarak birinci dönemde elde edilen sonuçların güvenilirliğinin desteklenmesi için birinci dönemde yapılan çalışmalar tamamlanıp sonuçları ortaya çıkarıldıktan sonra, sekonder değirmen çıkışından ilk dönemde yapılan çalışmadan 6 ay sonra tesisten numune talep edilmiştir. Eti Bakır Murgul İşletmelerinde yapılan çalışma sonucu elde edilen sonuçlara bakıldığında sekonder değirmen çıkışında 50 Hz ile yapılan testlerde altın tenörü 267.9 ppm değerine yükseltilmişti. Bu sonuçları karşılaştırmak amacı ile sekonder değirmen çıkışı akışından alınan ikinci bir numune Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarlarına gönderildikten sonra testler yeniden yapılmıştır.

Falcon ile zenginleştirme testleri 50 Hz 0.5 bar koşulunda yapılmıştır. Sekonder değirmen çıkışına ait ikinci dönemde yapılan Falcon testinin sonuçları Çizelge 3.24'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.24 Akarşen sekonder değirmen çıkışı numunesi ile ikinci dönemde yapılan 50 Hz, 0.5 Bar koşulundaki Falcon testi sonuçları

Sekonder Değirmen Çıkışı	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)
50 Hz 0.5 Bar			
Besleme	100.00	8.30	
Konsantre	5.62	25.60	17.34
Atık	94.38	7.27	82.67

50 Hz değerinde 8.30 ppm Au tenörü, 25.60 ppm değerine yükseltilirken konsantrenin Au verimi de %17.34 olarak belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmanın tam olarak bir önceki dönemdeki yapılan çalışma ile karşılaştırılabilmesi için bu yapılan testin konsantresi sallantılı masaya beslenerek altın tenörünün artırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla yapılan sallantılı masa testinin sonuçları Çizelge 3.25'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.25 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 50 Hz Falcon konsantresi ile ikinci dönemde yapılan sallantılı masa testi sonuçları

Akarşen Sekonder Değirmen Çıkışı 50 Hz Falcon Konsantre				
	Ağırlık (%)	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre	4.31	306.00	51.54	8.94
Ara Ürün	54.17	15.97	33.79	5.86
Atık	41.52	9.05	14.67	2.54
Besleme	100.00	25.60	100.00	17.34

Yapılan sallantılı masa testinin sonucunda beslemenin ağırlıkça %4.31'i sallantılı masa konsantresi olarak alınmıştır. Sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 25.60 ppm değerinden 306.00 ppm değerine zenginleştirilmiştir. Sallantılı masa testine ait Au verimi %51.54 olarak hesaplanmıştır. Nihai Au verimi ise %8.94 olarak belirlenmiştir.

İkinci dönemde yapılan çalışmalarda birinci dönem yapılan çalışmalara ek olarak sekonder değirmen çıkışına yapılan Falcon testinde elde edilen konsantre ve atık numunelerine altının tane boylarına göre dağılımını belirlemek amacı ile fraksiyonel elek analizi yapılmıştır. Bu sayede konsantre ve atık numuneleri için her tane boyundaki altın tenörü belirlenmiştir. Bu yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar Çizelge 3.26'da ve Çizelge 3.27'da verilmektedir.

Çizelge 3.26 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 2. dönem Falcon konsantresinin fraksiyonel elek analizi sonuçları

Akarşen Sekonder Değirmen Çıkışı 2.Dönem Falcon Konsantre			
Tane Boyu (µm)	Fraksiyon (µm)	Birikimli Elek Altı (%)	Au (ppm)
150	-150+106	100.00	21.45
106	-106+75	74.43	23.16
75	-75+53	56.73	31.60
53	-53+38	38.89	30.21
38	-38+20	26.33	32.18
20	-20	15.11	42.10
	Toplam		28.99

Çizelge 3.27 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 2. dönem Falcon atığının fraksiyonel elek analizi sonuçları

Akarşen Sekonder Değirmen Çıkışı 2.Dönem Falcon Atık			
Tane Boyu (µm)	Fraksiyon (µm)	Birikimli Elek Altı (%)	Au (ppm)
150	-150+106	100.00	7.46
106	-106+75	83.19	7.65
75	-75+53	68.06	8.04
53	-53+38	52.80	7.80
38	-38+20	42.06	8.16
20	-20	27.41	8.42
	Toplam		7.98

Fraksiyonel elek analizi sonuçları incelendiği zaman Falcon konsantresi ve atık numuneleri ile yapılan çalışmalar sonucunda numunelerin içerisindeki altın dağılımının belli bir boyda toplanmadığı görülmektedir.

3.8.1 İki Farklı Dönemde Yapılan Çalışmaların Karşılaştırılması

İki farklı dönemde aynı koşullarda yapılan çalışmaların karşılaştırılması bu bölümde gösterilmektedir. Akarşen sekonder değirmen çıkışından iki farklı dönemde alınan numuneler ile yapılan sallantılı masa testleri sonucu elde edilen verim ve tenör ilişkisi Çizelge 3.28’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.28 Akarşen sekonder değirmen çıkışı 50 Hz Falcon konsantresi ile iki farklı dönemde yapılan sallantılı masa testlerinin sonuçları

Akarşen Sekonder Değirmen Çıkışı 50 Hz Falcon Konsantre			
	Au (ppm)	Au Verim (%)	Nihai Au Verim (%)
Konsantre 1.Dönem	267.90	62.94	12.44
Konsantre 2.Dönem	306.00	51.54	8.94

Birinci dönemde 267.90 ppm değerine yükseltile Au tenörü ikinci dönemde istenen numune ile aynı koşullarda yapılan test sonucunda 306.00 ppm değerine çıkmıştır. Birinci dönemde %62.94 olan sallantılı masa verimi ikinci dönemde %51.54 olarak tespit edilmiş olup nihai verimler ise sırasıyla %12.44 ve %8.94 olarak hesaplanmıştır.

Bu yapılan çalışmalardan farklı olarak iki farklı dönemde sekonder değirmen çıkışından alınan numunelere fraksiyonel elek analizi yapılarak altın tenörünün belli bir tane boyu aralığındaki varlığı araştırılmıştır. Bu amaçla her iki dönemde alınan numuneler fraksiyonel olarak elek analizine gönderilmiş olup sonuçları Çizelge 3.29’da ve Çizelge 3.30’da gösterilmektedir.

Çizelge 3.29 Akarşen sekonder değirmen çıkışından birinci dönemde alınan numunenin fraksiyonel elek analizi sonuçları

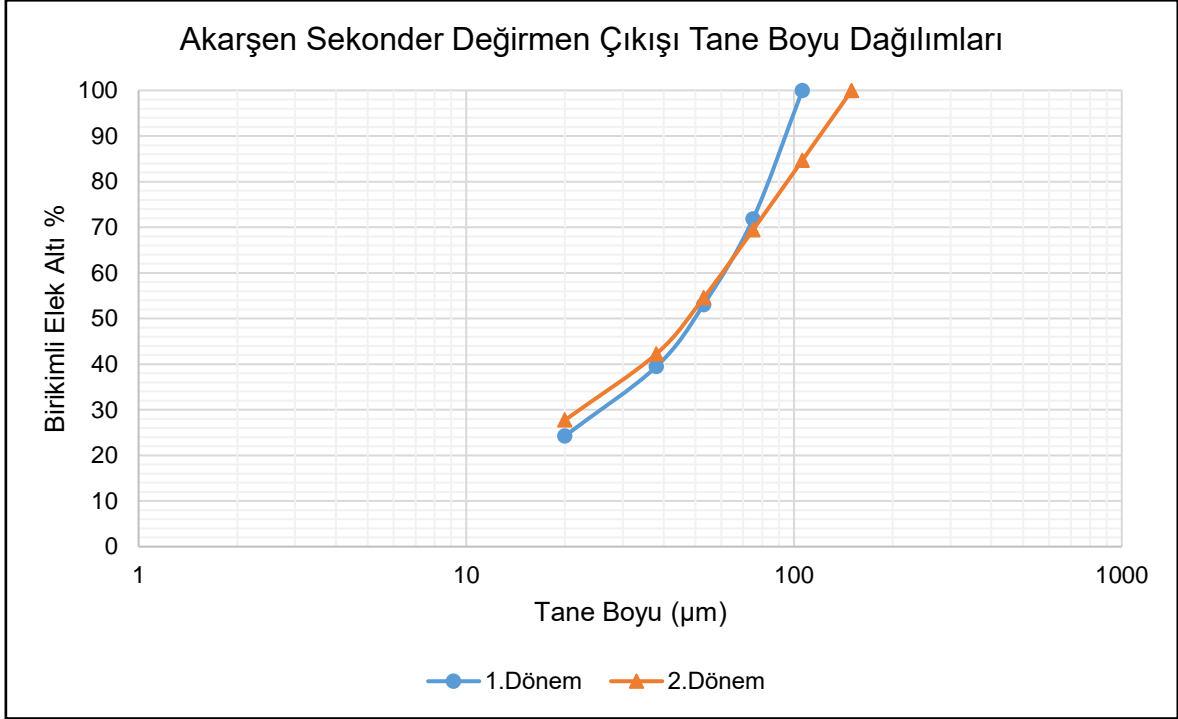
Akarşen Sekonder Değirmen Çıkışı 1.Dönem Fraksiyonel Au Analizi			
Tane Boyu (μm)	Fraksiyon (μm)	Birikimli Elek Altı (%)	Au (ppm)
106	-106+75	100.00	6.95
75	-75+53	71.87	7.12
53	-53+38	53.05	7.01
38	-38+20	39.46	7.80
20	-20	24.28	8.12
	Toplam		7.42

Çizelge 3.30 Akarşen sekonder değirmen çıkışından ikinci dönemde alınan numunenin fraksiyonel elek analizi sonuçları

Akarşen Sekonder Değirmen Çıkışı 2.Dönem Fraksiyonel Au Analizi			
Tane Boyu (μm)	Fraksiyon (μm)	Birikimli Elek Altı (%)	Au (ppm)
150	-150+106	100.00	8.04
106	-106+75	84.69	8.12
75	-75+53	69.45	9.34
53	-53+38	54.55	9.41
38	-38+20	42.24	9.35
20	-20	27.74	9.74
	Toplam		9.10

Fraksiyonel analiz sonuçlarına bakıldığı zaman her iki dönemde de sekonder değirmen çıkışından alınan numunelerin içerisindeki altın dağılımının belli bir boyda toplanmadığı görülmektedir. Ayrıca ikinci dönemdeki numunenin ilk dönemdeki

numuneye göre tane boyu dağılımının da farklı olduğu görülmektedir. Birinci dönemde alınan numunenin d_{80} değeri 84 μm iken bu değer ikinci dönem için 96 μm 'dir. İkinci dönemde alınan numunenin altın tenörü az da olsa birinci dönemde alınan numuneye göre daha yüksek bulunmuştur. Akarşen sekonder değirmen çıkışından alınan numunelerin tane boyu dağılımlarını gösteren grafik Şekil 3.24'de gösterilmektedir.



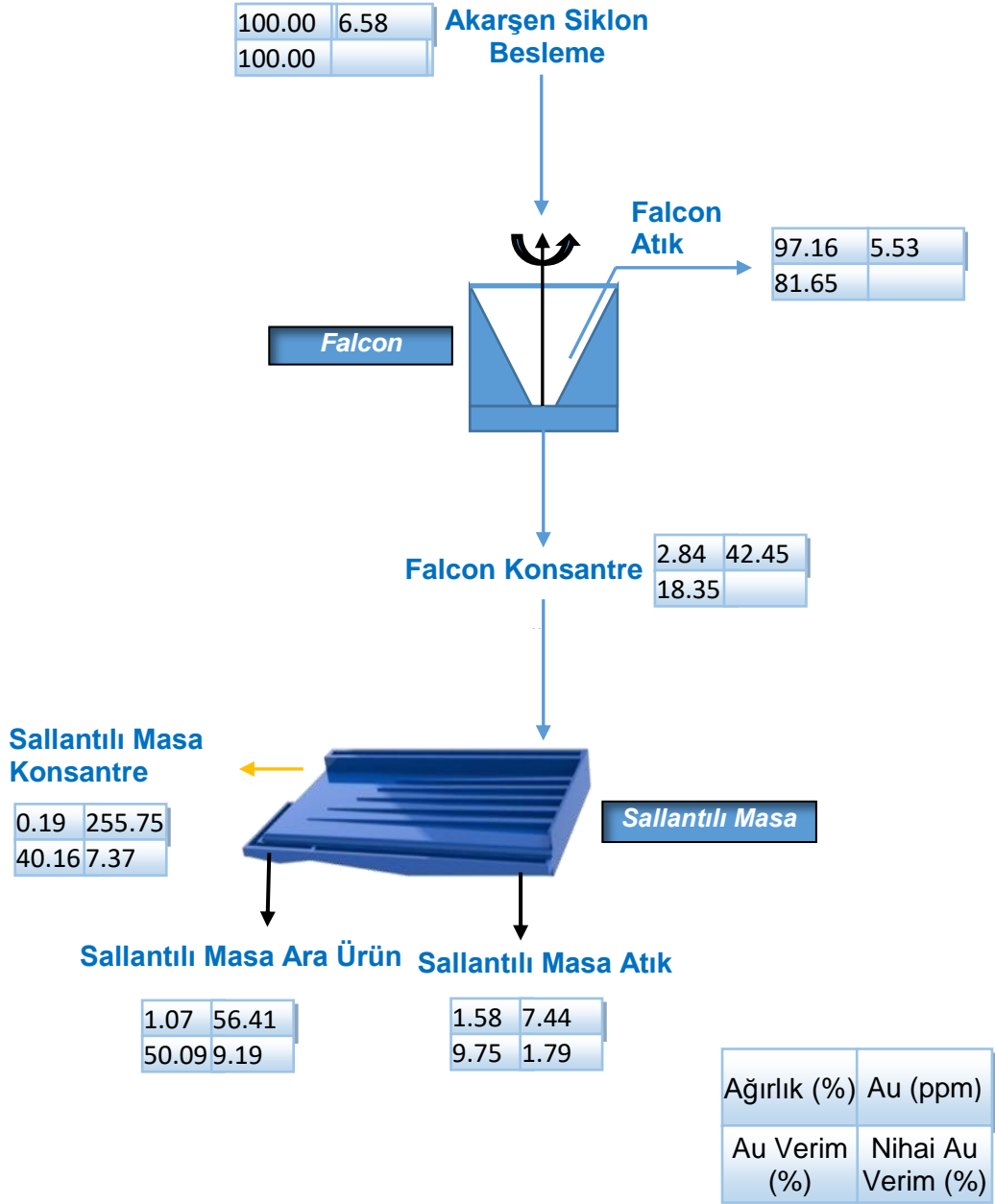
Şekil 3.24 Akarşen sekonder değirmen çıkışı tane boyu dağılımları

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Eti Bakır A.Ş. Murgul işletmelerine ait Akarşen zenginleştirme tesisinde yapılan çalışmalarda, cevherden altın kazanımı yer çekimi ile zenginleştirme yöntemleriyle araştırılmıştır. Akarşen cevherinin detaylı mineralojik karakterizasyonu yapılmış ve cevherde hem nabit altın hem de Au-Ag (elektrom) alaşım formları bulunmuştur. Özellikle, ince tane boylarında bulunan altın tanelerinin nabit formda, iri boyda oluşmuş tanelerin ise Au-Ag alaşım formunda olduğu belirlenmiştir. Altın içeren mineraller genel olarak pirit/markasit minerali ile bağlılık göstermektedir.

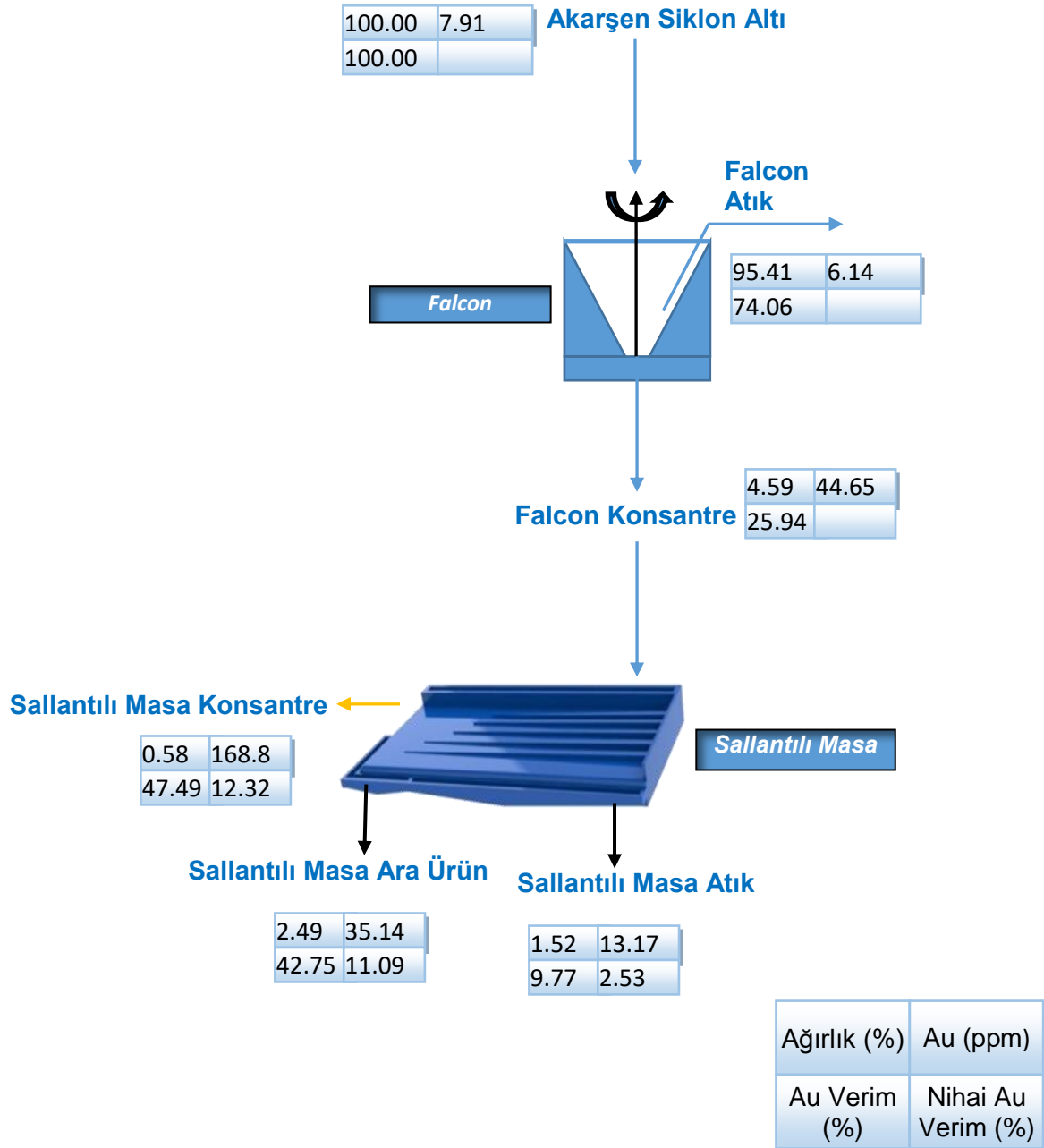
Akarşen cevheri ile yapılan yer çekimi ile zenginleştirme çalışmalarında altın için umut verici tenör değerleri elde edilmiştir. Akarşen siklon beslemesi, siklon altı ve sekonder değirmen çıkışından alınan numuneler ile yapılan Falcon testleri sonucunda, altın tenörleri sırasıyla 42.45 ppm, 44.65 ppm ve 39.33 ppm değerlerine yükseltilmiştir. Elde edilen bu tenörlerin hepsi 50 Hz frekans koşulunda yapılmış deneylere ait olup düşük frekans değerlerinde, yüksek altın tenörlü Falcon konsantresi üretilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Üretilen Falcon konsantrelerinin altın tenörlerinin artırılması amacıyla seçilen akış kollarına ait numuneler ile sallantılı masa deneyleri yapılmıştır.

Akarşen siklon besleme akışının 50 Hz frekans koşulunda üretilen Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 255.75 ppm değerine zenginleştirilmiştir. Nihai Au verimi ise %7.37 olarak hesaplanmıştır. Akarşen siklon beslemesi ile yapılan testler sonucunda hesaplanmış değerler Şekil 4.1'de verilmektedir. Au verim % değeri sallantılı masa beslemesine göre olup nihai Au verim % değeri ise Falcon beslemesine göre hesaplanmıştır.



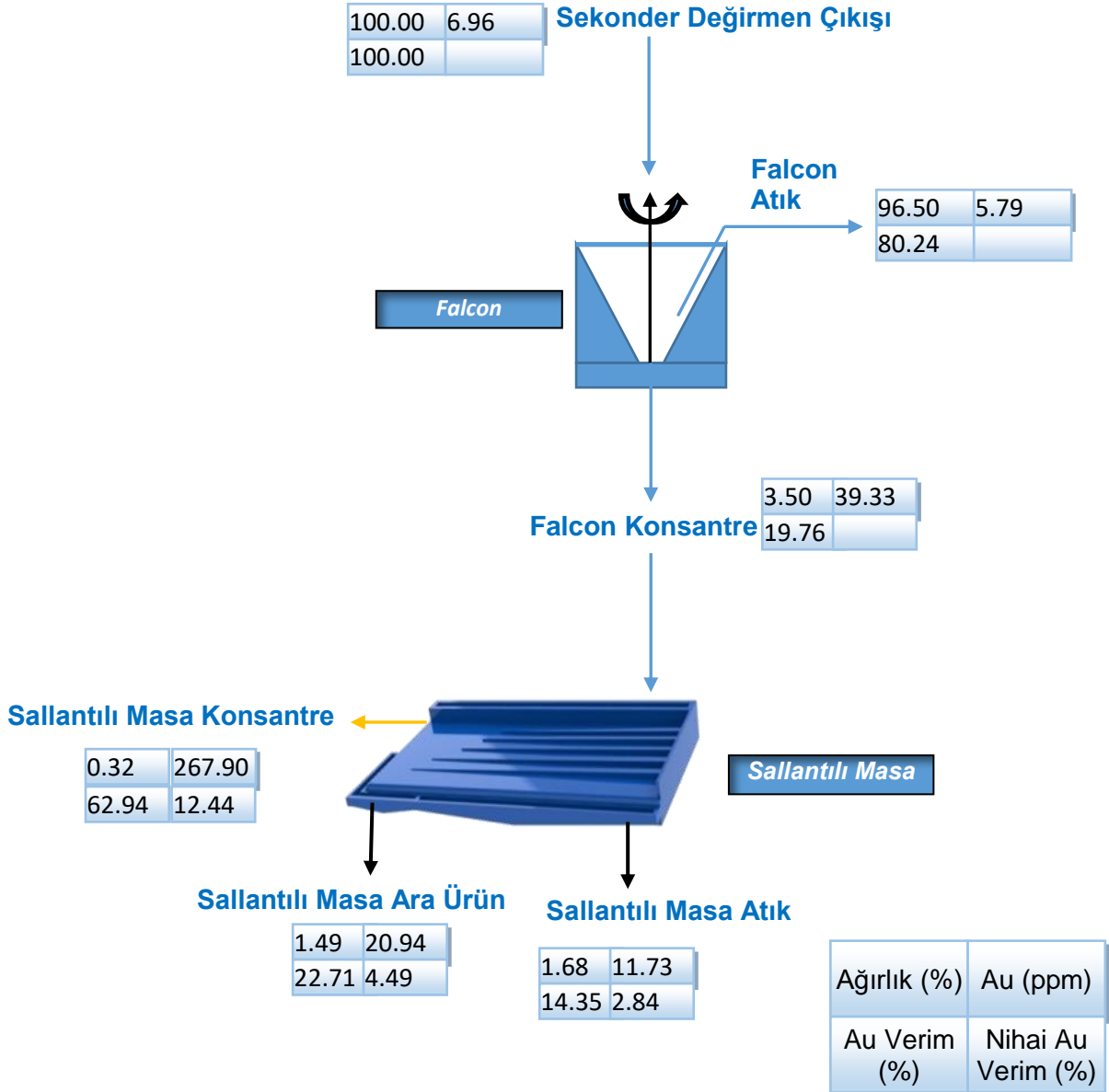
Şekil 4.1 Akarşen siklon beslemesi ile yapılan Falcon ve sallantılı masa testlerinin sonuçları (50 Hz)

Akarşen siklon altı numunesinin 50 Hz frekans koşulunda üretilen Falcon konsantresi ile yapılan sallantılı masa testi sonucunda Au tenörü 168.80 ppm olarak belirlenmiştir. Nihai Au verimi ise %12.32 olarak hesaplanmıştır. Akarşen siklon altından alınan numuneler ile yapılan testler sonucunda hesaplanmış olan değerler Şekil 4.2'de verilmektedir.



Şekil 4.2 Akarşen siklon altı numunesi ile yapılan Falcon ve sallantılı masa testlerinin sonuçları (50 Hz)

Akarşen sekonder değirmen çıkışı numunesi ile yapılan Falcon ve sallantılı masa testleri sonucunda 267.90 ppm değerinde testler arasındaki en yüksek altın tenörüne sahip konsantre üretilmiştir. Konsantrenin nihai altın verimi ise %12.44 olarak hesaplanmıştır. Sekonder değirmen çıkışı numunesi ile yapılan Falcon ve sallantılı masa deneyi sonucunda elde edilmiş veriler Şekil 4.3'de verilmektedir.



Şekil 4.3 Akarşen sekonder değirmen çıkışı ile yapılan Falcon ve sallantılı masa testlerinin sonuçları (50 Hz)

Akarşen flotasyon devresinden alınan süpürme atık ve nihai atık numuneleri ile yapılan testlerde ise istenilen zenginleşme gerçekleşmemiştir. Flotasyon devresine geçen altın tanelerinin siklon üstünden çıkabilmeleri için çok ince tane boylarına inmeleri gerektiğinden bu tanelerin gravite yöntemleri ile kazanılmasının oldukça zor olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmalar, numune alınan dönemde, cevher içinde yer çekimiyle kazanılabilir altın bulunduğunu göstermektedir. Tesis atığı üzerinde yapılan çalışmalarda başarı sağlanamamış, serbest altının kazanılabilmesi amacıyla devreye eklenecek herhangi bir yer çekimi ile zenginleştirme ekipmanının öğütme ve sınıflandırma akış kollarından birisinde değerlendirilmesi gerektiği görülmüştür.

Akarşen siklon altına yapılan testlerde siklon altından gelen akışın iri olması bu tanelerin Falcon zenginleştiricisinin haznesini hızlı bir şekilde doldurmasına ve sallantılı masa eşiklerinde de hızlı bir şekilde çökeliş konsantreye taşınmalarına sebep olmaktadır. İri boyda altın serbestleşmesinin de düşük olması sebebiyle, bu akışta yapılan çalışmaların sonuçlarında istenilen verim ve tenör değerlerine ulaşılamamıştır. Cevher içerisinde bulunan nabit altın ve Au-Ag alaşım taneleri öğütme ortamına girdikleri zaman yumuşak yapılarından dolayı yassı bir şekil alabilirler. Altın taneleri, yoğun olmalarına rağmen aldıkları bu yassı şekilden dolayı yer çekimi ile zenginleştirme uygulamalarında atığa kaçabilmektedir. Bundan dolayı altın tanelerinin öğütülmeden önce kazanılabilirliğinin incelenmesi adına siklon altı akışı da önemlidir.

Akarşen siklon beslemesinden alınan numune ile yapılan çalışmaların sonuçlarında da altın tenörü yüksek değerler elde edilmesine rağmen serbestleşmeye de bağlı olarak sekonder değirmen çıkışıyla elde edilen konsantrenin tenörü ve verimi daha yüksek olmuştur. Falcon atıklarının öğütme devresine dönmesi durumunda su denkliliğinin korunması açısından da sekonder değirmen çıkışı daha avantajlıdır.

Bu sebeplerden dolayı ikinci dönemde yapılan çalışmalara sekonder değirmen çıkışından alınan numune ile devam edilmiştir. İkinci dönemde yapılan çalışmada beslemede 8.30 ppm olan altın tenörü sallantılı masa testi sonrasında 306.00 ppm değerine, %51.54 sallantılı masa verimi ile çıkartılarak ilk dönemde yapılan çalışmaların sonuçlarının tekrarlanabildiği gösterilmiştir.

Fraksiyonel elek analizi sonuçları incelendiği zaman ikinci dönemde yapılan Falcon testinin konsantre ve atık numuneleri ile yapılan çalışmalar sonucunda numunelerin içerisindeki altın dağılımının belli bir boyda toplanmadığı görülmektedir. Altın tenörünün alt boylara gidildikçe konsantre için daha fazla artış gösterse de atık için çok az bir artış gösterdiği görülmektedir.

Sekonder değirmen çıkışı besleme numuneleri ile yapılan fraksiyonel elek analizlerinin sonuçlarında ise her iki dönemde de altının belli bir tane boyunda toplanmadığı görülmektedir. Alt tane boylarına inildikçe tenör artsa da bu artışın az miktarda olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ikinci dönemdeki numunenin ilk dönemdeki numuneye tane boyunun daha iri olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Yapılan Falcon ve sallantılı masa testlerinin sonuçlarına göre yüksek altın tenörlü konsantrelerin kazanılabileceği tespit edilmiştir. 3 farklı G kuvvetinde yapılan testlerde G kuvveti arttıkça hem konsantre miktarının hem verimin arttığı, tenörün ise düştüğü gözlemlenmektedir.
- Yapılan çalışmalar sonucunda siklon beslemesinden %7.37 nihai verimle 255.75 ppm altın içeren konsantre, siklon altından %12.32 nihai verimle 168.80 ppm altın içeren konsantre ve sekonder değirmen çıkışından %12.44 nihai verimle 267.90 ppm altın içeren konsantre elde edilebileceği belirlenmiştir.
- Akarşen flotasyon devresinden alınan süpürme atık ve nihai atık numuneleri ile yapılan testlerde ise istenilen zenginleşme gerçekleşmemiştir.
- İkinci dönemde yapılan çalışmalarda ise sekonder değirmen çıkışından alınan numune ile yapılan testlerde %8.94 nihai verimle 306.00 ppm altın kazanılabileceği görülmektedir. Bu çalışma, ilk dönemde yapılan çalışmayı desteklemektedir.
- Yapılan fraksiyonel elek analizlerinin sonuçlarına göre ise hem ilk dönemde hem de ikinci dönemde yapılan çalışmalarda altının belli bir tane boyunda toplanmadığı, ancak alt tane boylarına inildikçe altın tenörünün arttığı belirlenmiştir.
- Tüm bu çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde, Falcon ekipmanının Akarşen öğütme devresinin akış kollarından sekonder değirmen çıkışına yerleştirilmesinin uygun olabileceği görülmektedir. Tesise kurulacak Falcon ekipmanının öğütme devresinden sistemin kütle denkliliğini bozmayacak şekilde en az ağırlıkta konsantre çıkartması hedeflenmektedir. Sonrasında ise bu üretilen konsantre ile sallantılı masa devresinde nihai zenginleştirme yapıldıktan sonra yüksek tenörde altın içeren konsantre elde edilebileceği görülmektedir.
- Yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda öğütme devresinde bir miktar serbest altın birikimi olabileceği gözardı edilmemelidir. Uygulama başlarsa bu birikim oluşmayacağından besleme tenörünün daha düşük olması beklenmektedir.

- Yapılacak olan tesis uygulamasında sallantılı masa ara ürününün tesisin kütle denkleğini bozmayacak şekilde Falcon zenginleştiricisine geri çevrilmesi mümkün olur ise kazanılacak olan altın miktarı artış gösterebilir.
- Bu aşamadan sonra, tercih edilecek seçenek için tesis uygulamasının yapılması ve bu uygulamanın tesis koşullarında optimizasyonunun yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] İ. H. Ünal, "Türkiye ve Dünyada Altın Üretimi," *Madencilik Türkiye*, no. 55, sf. 68–72, **2016**.
- [2] "Türkiyenin Altın Profili," **2016**. [İnternet]. Link: <http://altinmadencileri.org.tr/turkiyenin-altin-profil/>. [Erişildi: 31-Ara-**2016**].
- [3] "Altın," **2016**. [İnternet]. Link: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Altın>. [Erişildi: 31-Ara-2016].
- [4] "Altının Kullanım Alanları." [İnternet]. Link: http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=maden_kullanim. [Erişildi: 01-Ocak-**2016**].
- [5] İ. H. Ünal, S. Tuncel, B. Yoleri, and M. Arslan, "Türkiye ve Dünyada Altın," Ankara, **2016**.
- [6] A. Gökçe, "Özel Maden Yatakları," *Cumhur. Üniversitesi Yayınları*, no. 59, sf. 133–140, **1995**.
- [7] D. C. Gasparrini, *Gold and Other Precious Metals - From Ore to Market*. Tucson,AZ,USA: Springer, **1993**.
- [8] A. J. Weining and C. B. Carpenter, "The Trends of Flotation," *Q.Colorado Sch. Mines*, vol. 42, no. 4, sf. 47–48, 59–60, 80–83, **1937**.
- [9] P. Rabone, *Flotation Plant Practice*, Third. Mining Publications Ltd, **1939**.
- [10] R. H. Richards and C. E. Locke, *Textbook of Ore Dressing*. McGraw-Hill, **1940**.
- [11] A. F. Taggart, *Handbook of Mineral Dressing*. New York: Wiley, **1945**.
- [12] N. Yıldız, *Cevher Hazırlama*. Ankara: Ertem, **2007**.
- [13] F. F. Aplan, *Gravity Concentration - Introduction: in SME Mineral Processing Handbook*. New York: Society of Mining Engineers, **1985**.
- [14] A. Falconer, "Gravity Separation: Old Technique/New Methods," *Phys. Sep. Sci. Eng.*, vol. 12, no. 1, sf. 31–48, **2003**.

- [15] A. Laplante and S. Gray, "Advances in gravity gold technology," *Dev. Miner. Process.*, vol. 15, no. C, sf. 280–307, **2005**.
- [16] B. K. Parekh and M. A. Abdel-Khalekh, "Using Falcon Concentrator, as a new technology, for removal of enviromental pollutans of Egyptian coal," *J. Ore Dress.*, no. 7, **2002**.
- [17] P. Ancia, J. Frenay, and P. Dandois, "Comparison of Knelson and Falcon centrifugal seperators," *Innov. Phys. Seperation Technol.*, sf. 53–62, **1997**.
- [18] R. Q. Honaker, D. Wang, and K. Ho, "Application of the Falcon concentrator for fine coal cleaning," *Miner. Eng.*, no. 1143, sf. 56, **1996**.
- [19] B. A. Wills and T. Napier-munn, *Mineral Processing Technology*, no. Ekim. **2006**.
- [20] A. Gupta and D. S. Yan, "Introduction to Mineral Processing Design and Operation," *Elsevier Sci.*, sf. 718, **2006**.
- [21] A. B. Holland - Batt, "Gravity Seperation: a revitalized technology," *Min. Eng.*, sf. 43–48, **1998**.
- [22] R. O. Burt, G. Korinek, S. R. Young, and C. Deveau, "Ultrafine tantalum recovery strategies," *Miner. Eng.*, vol. 8, sf. 859–870, **1995**.
- [23] A. R. Laplante, "A Comparative Study of Two Centrifugal Concentrators," *Canadian Mineral Processors' Conference*. McGill University, Montreal, sf. 14–15, **1993**.
- [24] R. Sivamohan and E. Forssberg, "Principles of tabling," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 15, no. 4, sf. 281–295, **1985**.
- [25] R. O. Burt, *Gravity Concentration Technology*. New York: Elsevier Science Publishing Company, **1984**.
- [26] W. Blaschke and E. Malysa, "Gravitational beneficiation of Ultrafine Grains of Zinc - Lead Ores from Olkusz Region," *Fine Part. Process.*, **1980**.
- [27] L. Ş. Ergün and Ö. Y. Gülsoy, "Daralan Oluklar," *Madencilik*, vol. 33, no. 1, sf. 5–16, **1994**.

- [28] Ç. Hoşten, *Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Temel İşlemlerinin Tasarımı*. Ankara: ODTÜ Basım, **2002**.
- [29] R. O. Burt, "Tantalum Mining Corporation's Gravity Concentrator - Recent Developments," *Can. Inst. Min. Met.*, sf. 103–108, **1979**.
- [30] P. Ramsaywok, M. K. G. Vermaak, and R. Viljoen, "Case Study : High Capacity Spiral Concentrators," **2010**.
- [31] M. A. Doheima, A. F. Abdel Gawadb, M. H. Mahranc, M. H. Abu-Alia, and A. M. Rizka, "Numerical Simulation of Particulate-flow in spiral separators: Part I. Low Solids Concentration," sf. 198–215, **2013**.
- [32] L. F. Mashburn, "Introduction and Specifications: Gemeni Gold Table." [İnternet]. Link: <http://www.gravityrecovery.com/Introduction.html>. [Erişildi: 01-May-2017].
- [33] G. Stephanopoulos, *Chemical Process Control*. Prentice Hall International, **1984**.
- [34] D. Güçbilmez, "Spiral Zenginleştiricilerde Tane Boyunun Performansa Etkisinin İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, **2013**.
- [35] A. L. Mular, D. N. Halbe, and D. J. Barratt, "Mineral processing plant design, practice, and control proceedings," **2002**.
- [36] K. S. Forssberg and E. Sandström, "Operational characteristics of the Reichert cone in ore processing," sf. 259, **1979**.
- [37] S. K. Chan Billy, R. H. Mozley, and G. J. C. Childs, "Multi Gravite Ayırıcı," *Madencilik Derg.*, no. 1, sf. 33–41, **1994**.
- [38] T. Jones, "Efficient Enhanced Gravity Separation of Fine Minerals Using the Kelsey Centrifugal Jig," *Downer EDI Min.*, **2007**.
- [39] T. Malvik, K. Sandvik, and A. Rein, "Innovation in Physical Separation Technologies," sf. 113–122.
- [40] A. R. Laplante, "A comparison of two centrifugal concentrators," in *Annual Canadian Mineral Processors' Conference*, **1997**.

- [41] A. K. Majumder and J. P. Barnwal, "Modeling of Enhanced Gravity Concentrators-Present Status," *Mineral Process. Extr. Metall. Rev.*, no. 27, sf. 61–86, **2006**.
- [42] FLSmidth, "Knelson." [Internet]. Link: <http://www.flsmidth.com/en-US/About+FLSmidth/Our+History/Our+Product+Brands/Knelson>. [Erişildi: 01-May-2017].
- [43] J. Ling, "A study of a variable speed 3-in Knelson Concentrator," McGill University, **1998**.
- [44] L. Huang, "Upgrading of Gold Gravity Concentrates: A Study of the Knelson Concentrator," McGill University, **1996**.
- [45] O. Celep, "Gold Recovery From Mastra (Gümüşhane) Ore Using Knelson," *İstanbul Üniversitesi Müh.Fak. Yerbilim. Derg.*, vol. 19, no. 2, sf. 175–182, **2006**.
- [46] G. Luttrell, H. Honaker, Q. R., and D. I. Phillips, "Enhanced gravity separators: New alternatives for fine coal cleaning," in *12th International Coal Preparation Conference*, sf. 281–292, **1995**.
- [47] A. R. Laplante, "Report on the Characterization of Gravity Recoverable Gold in sample of Kemess #1 Ore," **2001**.
- [48] S. McAlister and K. Armstrong, "Development of the Falcon concentrators," *Soc. Mining, Metall. Explor. Annu. Meet.*, sf. 7, **1998**.
- [49] J. Xiao, "Testing a New Gold Centrifugal Concentrator," McGill University, **1998**.
- [50] A. R. Laplante, M. Buonvino, A. Veltmeyer, J. Robitaille, and G. Naud, "A Study of the Falcon Concentrator," *Can. Metall. Q.*, vol. 33, no. 4, sf. 279–288, **1994**.
- [51] S. Systems, "Falcon SB Gravity Concentrators." [Internet]. Link: http://seprosystems.com/products/gravity-concentrators/_falcon-sb-gravity-concentrators/. [Erişildi: 25-Nis-2017].

- [52] O. Kökkılıç, "Falcon Santrifüjlü Gravite Ayırıcısında Zenginleştirmenin Modellenmesi," Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, **2011**.
- [53] S. Systems, "Falcon C concentrator." [İnternet]. Link: http://seprosystems.com/products/gravity-concentrators/_falcon-c-gravity-concentrators/. [Erişildi: 25-Nis-**2017**].
- [54] F. C. Inc., "Operations and Maintenance Manual: Falcon SB Concentrator Model SB40."
- [55] S. Systems, "Falcon UF concentrator." [İnternet]. Link: http://seprosystems.com/products/gravity-concentrators/_falcon-uf-gravity-concentrators/. [Erişildi: 25-Nis-**2017**].
- [56] J. Söderlund and B. Johansson, "Knelson Concentrator – New Gravity Equipment at the Boliden Concentrator," **2004**.
- [57] C. Potorieko and T. Yeomans, "Improvements in Gravity and Overall Gold Recovery at NVI Mining Ltd. Myra Falls Operation," *Solutions*, vol. 5, no. 604.
- [58] S. Mcalister and C. Sprake, "Gravity Concentration of Gold From Cyclone Feed In Grinding Circuits."
- [59] M. Froehling, C. Mohns, R. Rajwani, and M. Fullam, "Reduction of Free Gold Losses in the Cleaner Circuit with the Installation of a Gravity Circuit at the Kemess Mine," in *Canadian Mineral Processors' Conference*, **2007**.
- [60] İ. Alp, O. Celep, H. Deveci, and M. Vıçıl, "Recovery of Gold From a Free-Milling Ore by Centrifugal Gravity Separator," vol. 2, no. 2, sf. 19–26, **2012**.
- [61] T. Coulter and G. K. N. Subasinghe, "A mechanistic approach to modelling Knelson Concentrators," *Miner. Eng.*, vol. 18, sf. 9–17, **2005**.
- [62] S. Gray, J. Abols, A. McCallum, Patrick, and G. G. Johansen, "Who needs it? A combination circuit of gravity, flotation and intensive leach may provide the optimal enviromental end cost outcome for gold plants," in *Canadian Mineral Processors' Conference2*, **2003**.

- [63] Google, "Eti Bakır A.Ş. Murgul İşletmelerinin Haritadaki Konumu." [Internet].
Link:
<https://www.google.com.tr/maps/place/Eti+Bakır/@41.3375983,41.5085099,10.25z/data=!4m5!3m4!1s0x4067c50908d7d5d5:0x7e20b8f676a961fb!8m2!3d41.2533351!4d41.5896486?hl=tr>. [Erişildi: 25-Oca-**2017**].

EKLER

EK 1 Akarşen devresi siklon etrafı tane boyu dağılımları

Tane Boyu (μm)	Siklon Besleme	Siklon Altı	Siklon Üstü
	Birikimli Elek Altı (%)		
2360	100.00	100.00	100.00
1180	100.00	100.00	100.00
850	99.95	99.93	100.00
600	99.32	99.01	100.00
425	97.76	96.73	100.00
300	95.25	93.05	100.00
212	92.40	88.89	100.00
150	87.98	82.51	99.81
106	79.27	70.20	98.92
75	66.11	52.40	95.81
53	50.71	34.10	86.68
38	38.60	21.82	74.94

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Ahmet Yaşar Yamantaş

Doğum Yeri ve Yılı: Ankara 13.01.1991

Telefon: +90 554 708 1998

E-Posta: ahmetyamantas@gmail.com

Adres: Koru Mahallesi Vadikent Sitesi Vahdet Apt. 7/43 Çayyolu Çankaya/ANKARA

Eğitim

Lisans: Hacettepe Üniversitesi - Maden Mühendisliği (İngilizce) (2009-2014)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce, İleri Düzey

İş Deneyimi

Hacettepe Mineral Teknolojileri LTD. ŞTİ. - Proje Mühendisi (08.2014 - ...)

Deneyim Alanları

Cevher Hazırlama Tesisleri için Akım Şeması Geliştirme, Cevher Karakterizasyonu ve Proses Mineralojisi, Cevher Hazırlama Tesislerinin Performans Ölçümü ve Optimizasyonu, Matematiksel Modelleme ve Simülasyon

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih:29/05/2017

Tez Başlığı : Yer Çekimi ile Zenginleştirme Yöntemleri Kullanılarak Akarşen Cevherinden Altın Kazanımı Çalışmaları

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 116 sayfalık kısmına ilişkin, 29/05/2017 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 5 'tir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

29/5/2017

Adı Soyadı: Ahmet Yaşar Yamantaş

Öğrenci No: N14128239

Anabilim Dalı: Maden Mühendisliği

Programı:

Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Yrd. Doç. Dr. N. Metin CAN

(Unvan, Ad Soyad, İmza)