

**TRİBOELEKTROSTATİK AYIRICI TASARIM
PARAMETRELERİNİN MİNERAL AYIRMADA ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

**THE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DESIGN
PARAMETERS OF TRIBOELECTROSTATIC SEPARATOR
ON MINERAL SEPARATION**

Tahsin Onur Dizdar

PROF. DR. ÖZCAN YILDIRIM GÜLSOY

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

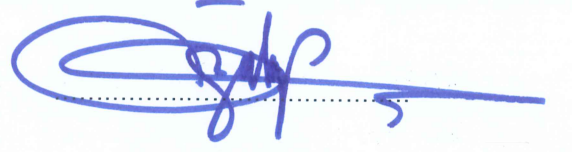
2018

TAHSİN ONUR DİZDAR' in hazırladığı "TRİBOELEKTROSTATİK AYIRICI TASARIM PARAMETRELERİNİN MİNERAL AYIRMADA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

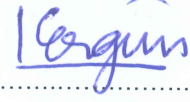
Prof. Dr. Yaşar ÜÇBAŞ
Başkan



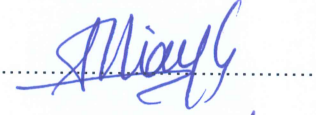
Prof. Dr. Özcan Y. GÜLSOY
Danışman



Prof. Dr. Ş. Levent ERGÜN
Üye



Doç. Dr. İlkay B. ÇELİK
Üye



Yrd. Doç. Dr. N. Metin CAN
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 koşullarda kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesi'ne 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 orjinal 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 seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirse bile, teziniz arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- Tezimin/Raporumun 10/01/2018 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 veya 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**

10.01.2018

TAHSİN ONUR DİZDAR



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.

10.10.2018

Tahsin Onur DİZDAR

ÖZET

TRİBOELEKTROSTATİK AYIRICI TASARIM PARAMETRELERİNİN MİNERAL AYIRMADA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Tahsin Onur Dizdar

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Özcan Yıldırım GÜLSOY

Ocak 2018, 101 Sayfa

Bu tez kapsamında bir triboelektrik ayırım düzeneği tasarımı ve bu düzeneğe ilişkin parametrelerin triboelektrostatik ayırım performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Tanelerin elektrik yüklerine göre ayrılmaları cevher hazırlamada kullanılan oldukça eski bir ayırma yöntemidir. Fakat deavantajları sebebiyle yaygın bir yöntem değildir. Bu yöntemde taneler iletkenliklerine göre bir elektrik alanında belirli bir yük kazanırlar ve kazandıkları yüklenmeye göre iki farklı yüke sahip elektrot arasından geçerken, elektriksel çekim kuvvetlerinin etkisi ile çekilerek veya itilerek ayrılırlar.

Triboelektrik iki farklı malzemenin birbirine sürtünmesi ile oluşan elektrik yükünün adıdır. İki tanenin birbirine ya da başka bir malzemeye sürtünmesi sonucu taneler, iletkenlikleri veya yüzey özelliklerine bağlı olarak negatif ya da pozitif yük kazanırlar. Bu yüklü taneler bir elektrik alanı içinde yüklerine (artı ya da eksi) göre farklı yönlerde hareket edebilirler. Böylece farklı iki yüke sahip iki tanenin birbirinden ayrılması mümkün olur. Literatürde yaygın olarak tanelerin sürtünme ile iyonize olmasına rastlanmaktadır. Ayrımın yapılacağı yüksek potansiyele sahip elektrik alanı için gerekli elektrik yükünün de triboelektriklenme ile elde edilebilirliğinin araştırılması ve değişik parametreler denenerek mineral ayırımına olan etkilerinin incelenmesi bu tezin temel hedefi ve özgün değeridir. Bu amaçla, bir triboelektrik ayırım düzeneği tasarımı yapılmış olup, ekipmana ait değişkenlerin bu düzeneğin ayırım performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu düzenekte tanelerin triboelektriklenme ile yüzeylerinin yüklenmesi ve tanelerin ayrımı için gereken potansiyel statik yük de sürtünme ile sağlanmıştır.

Konvansiyonel elektrostatik ayırıcıların ayırım yapabilmesi için gerekli yüksek gerilimli alternatif akımı doğru akıma çeviren büyük ve güçlü trafolar vardır. Bu amaçla yüksek sarımlara sahip doğru akım trafoları kullanılmaktadır. Bu trafolar önemli ölçüdeki güç tüketimleri, çalışma esnasında ortaya çıkan ısının soğutulması gereksinimi ve tehlikeli çalışma ortamı oluşturması, yüksek gerilim trafolarının

başlıca sorunlarından. Bu tezde ayırım için gerekli yüksek potansiyeli sürtünmeyle sağlayacak bir düzenek kurulması amaçlanmıştır. Böylece yüklü tanelerin ayrılması için gerekli yüksek potansiyelin daha az enerji ve daha düşük işletim sorunları ile üretilebilirliği araştırılmıştır. Sistemin, bilinen yöntemlerden en büyük farkı kendi gerilimini üretmesidir. Ayrıca üretilen statik yük sürekli yüksek akım oluşturmadığından görece daha güvenli bir çalışma ortamına izin vermektedir.

Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde kurulmuş olan bu düzeneğin en önemli avantajı 35 kV'a kadar olan statik yükü sürtünme ile üretiyor olmasıdır. Bu ayırım yöntemi kuru bir ayırma yöntem olup, su ve kimyasal kullanımına ihtiyaç duymaması sayesinde madencilikte kullanılan yöntemler arasında çevre dostu yöntemlerden birisidir.

Düzeneğin ana yapısı bilgisayar ortamında tasarlanmıştır. Sürtünme ile statik elektrik üretimine ortam sağlayacak malzemeler triboelektrik seri listesinden seçilmiştir. Seçilen uygun malzemeler ile kurulum yapılmıştır. Sürtünme ile oluşan elektrik, iletkenler vasıtası ile farklı yapı ve şekildeki ayırım elektrotlarına iletilmektedir. Taneler ise ayırım öncesinde farklı bir düzenek içinde karıştırılarak yine triboelektriklenme ile elektrik yükü kazandırılmış ve statik olarak yüklenmiş olan elektrotlar arasına bir titreşimli besleyici ile beslenmiştir.

Bu çalışma kapsamında amaç gerekli statik yükün sürtünme ile oluşturulması olduğundan cevher etkilerini ortadan kaldırmak için sentetik olarak hazırlanmış olabildiğince serbest kuvars ve manyetit mineralleri kullanılmıştır. Bu sentetik numuneler ile ayırım parametreleri incelenmiş ve ayırım performansına olan etkileri belirlenmiştir. Yapay numunelerin dışında doğal cevherler, tesis atıkları ve geri dönüşümde kullanılacak malzemeler ile ayrıca testler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Triboelektriklenme, cevher hazırlama, elektrostatik, kuru ayırım yöntemleri

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DESIGN PARAMETERS OF TRIBOELECTROSTATIC SEPARATOR ON MINERAL SEPARATION

Tahsin Onur Dizdar

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Özcan Yıldırım GÜLSOY

January 2018, 101 Pages

In this thesis, it is aimed to design triboelectric separation unit and investigate the effect of parameters in triboelectric separation performance.

The separation of the particles according to their electrical charges is a very old separation method used in mineral processing. However, it is not a very common method because of its high operational cost. In this method, mineral particles have been charged in an electrical field according to their conductivity and separated by attracting or repelling between positively or negatively charged electrodes.

Triboelectric is the name of static electric that is occurred by friction of two different materials. Friction of one particle to each other or to other material, loads the particles with negative or positive charges depending on its conductivity and surface properties. The particles, which have different electrical charge (negative or positive), move different directions in an electrical field. Hence, it is possible to separate a particle from each other according to their charges. In literature it is common to charge particles with friction. Investigation of the electric charge required for the high potential electric field and investigate of the effects of different parameters on the mineral separation are the main objective and original value of this thesis. For this purpose triboelectric seperaton unit is designed and test are applied with changed varriables to understand separation performance of this unit. In this unit, the triboelectrical charging of the surfaces of the particles and the potential static charge required to separate the particles are provided by friction.

Conventional electrostatic separators require external high potential transformers that convert alternative current to direct current. For this purpose, direct current transformers with high number of turn are required. Main problems with this tranformers are high consumption of power, cooling problems during operation and dangerous work enviroment. In this thesis, it is aimed to build a system that producing the required electrical potential by friction. Hence, required electrical

energy consumption will be lower and there will be less operational problems. Considering to conventional system, innovative part of this system is required energy is supplied from produced from friction. In addition to these static charge is not provide high electric current and come in with more safe work environment.

The operational cost of the conventional electrostatic separators is relatively high because of its high voltage requirements. Rather than electrostatic separators and other conventional processing equipment, triboelectric separator does not have high-energy consumption. Major advantage of setup, which is built in Mining Engineering Department of Hacettepe University, is to produce high voltage up to 35 kV with friction. This is the innovative part of the project. Furthermore this is dry equipment which reduces the water consumption and it does not need any chemicals. It is environmentally friendly method.

In this study, artificial test samples are used to investigate the separation performance of the system. This study provides the required information about design parameter for this new equipment.

The most important advantage of this system, which was established in the Department of Mining Engineering at Hacettepe University, is that it produce static loads up to 35 kV by friction. This method of separation is a dry separation method and one of the eco-friendly methods used in mining due to the fact that it does not require water or any chemical.

The main structure of the unit had been designed by computer program and then it is built with appropriate materials which are chosen from triboelectric series. The electricity produced is transferred to electrodes which have different size, shape and material. The mineral particles had been also charged by mixing in a mixer and then fed into the electrical field occurred between the electrodes via vibrating feeder.

Tests are performed on synthetic mixtures of liberated magnetite-quartz samples to prevent any effect of ore in separation performance. After the promising result with the synthetic samples, tests are performed with industrial mineral, metal ore, coal and mixture of recyclable material samples. Results of these tests indicated that most of these samples could be separated successfully with this new method.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenim hayatım boyunca sonsuz desteğini ve yol göstericiliğini esirgemeyen Hacettepe Üniversitesi Rektör Yardımcısı ve Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Özcan Yıldırım GÜLSOY' a,

Tezin hazırlama sürecinde 1001 Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı çerçevesinde 115M729 Proje No'lu Triboelektrostatik Ayırıcı isimli projeye sağladığı bütün desteklerden dolayı Tübitak'a,

Çalışmalarım boyunca desteklerini ve öğretilerini paylaşan Sayın Hocalarım Prof. Dr. Ş. Levent ERGÜN 'e, Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ 'ye, Yrd. Doç. Dr. N. Metin CAN 'a, Doç. Dr. İlkey B. ÇELİK 'e ve Dr. E. Caner ORHAN 'a,

Hayatımın her aşamasında varlıkları ve çabalarıyla hep yanımda olan annem Ayla ALPTEKİN 'e, babam Ahmet DİZDAR 'a, kardeşim Anıl DİZDAR 'a,

Tez çalışmam süresince bölüm imkânlarından yararlanmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Ahmet Hakan BENZER'e,

Bilgi birikimlerini paylaşan ve arkadaşlığını hep hissettiren Dr. Ergin GÜLCAN, Ahad AGHLMANDI HARZANAGH ve Dr. Özgür ÖZCAN 'a,

Desteğini bütün süreç boyunca hissettiğim Özgün DARILMAZ ve diğer arkadaşlarıma,

Çalışmalarımın her aşamasında yardım, emek, desteğini sağlayan ve gösterdiği fedakarlıkları için Gizem KOCAUSTA 'ya,

Son olarak bütün bölüm arkadaşlarıma sağlamış oldukları her türlü yardım ve güzel ortam için,

En içten duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. Triboelektrostatik AYIRma	3
2.1. Elektrostatik Ayırıcılar	3
2.2. Triboelektriklenme.....	17
2.3. Triboelektrik Seri	19
2.4. Triboelektriklenmeyi Sağlayan Makineler.....	20
3. Triboelektrostatik Ayırıcı Sisteminin Tasarımı Ve Kurulumu	24
3.1. Triboelektrostatik Ayırıcı Deney Düzenliğinin Oluşturulması	24
3.2. Sürtünme İle Elektrik Üretim Ünitesi Tasarımı	24
3.3. Zenginleştirme Ünitesi Tasarımı	28
4. Statik Yükün Üretilmesi ve Elektrot Üzerinde Toplanması Testleri	31
5. Triboelektrostatik Ayırıcının Tasarım Parametrelerinin Mineral Ayırmada Etkilerinin İncelenmesi.....	42
5.1. Numune Hazırlama	42
5.1.1. Yapay Karışım Numunelerinin Hazırlanması	42
5.1.2. Cevher Numunelerinin Hazırlanması	43
5.2. Yapay Olarak Hazırlanmış Numuneler İle Yapılan Ayırma Testleri.....	44
5.2.1. Bıçak Konumu Değiştirilerek Yapılan Testler	47
5.2.2. Farklı Tambur Dönüş Hızlarında Yapılan Testler	48
5.2.3. Elektrot Boyutları ve Cinslerinin Ayırım Üzerindeki Etkisi.....	49
5.2.4. Elektrot ve Tambur Arasındaki Mesafe Değiştirilerek Yapılan Testler ...	51
5.3. Numune Değişkenliğinin Ayırım Üzerindeki Etkilerin İncelenmesi	53
5.3.1. Farklı Tane Boyutlarının Ayırım Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	53
5.3.2. Aynı Tane Boyutunda Farklı Manyetit Oranlarına Sahip Numuneler İle Yapılan Testler	57
5.3.3. Verim Değerlerini Arttırmak Amacıyla Akım Şeması Değiştirilerek Yapılan Testler	60
5.4. Mineraller ve Kömür ile Yapılan Zenginleştirme Testleri	74
5.4.1. Tunçbilek Kömür Hazırlama Tesisi Tüvenan Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması	75

5.4.2. Ömerler Kömür Hazırlama Tesis Tüvanan Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması	77
5.4.3. Dereköy Kömür Hazırlama Tesisi Tüvanan Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması	78
5.4.4. Soma Bölgesinden Alınan Kömür Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması	79
5.4.5. 3 Farklı Feldspat Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması	81
5.4.6. Purunsur Bölgesinden Alınan Demir Cevheri Atık Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması	82
5.4.7. Altın, Bakır, Gümüş, Demir İçeren Sülfürlü Cevher Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması	83
5.4.8. Sülfürlü Bakır Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması	85
5.4.9. Kütahya Şaphane Bölgesinden Alınan Alunit Cevheri Üzerinde Yapılan Test Çalışması	86
5.4.10. Eti Maden Bigadiç Bor İşletmelerinden Alınan Bor Cevheri Üzerinde Yapılan Test Çalışması	87
5.4.11. Kromit Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması	88
6. Sonuç ve Öneriler	90
7.1. Sonuç	90
7.2. Öneriler	91
KAYNAKLAR	93
EKLER	98
ÖZGEÇMİŞ	100

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 2.1. Minerallerin farklı yükleme metotları ve farklı yükleme ekipmanlarıyla zenginleştirilmesi	17
Çizelge 3.1. Kullanılan elektrot ölçüleri ve malzeme cinsleri	28
Çizelge 4.1. SF 156 serisi statik metre teknik özellikleri ve görüntüsü	31
Çizelge 4.2. Naylon bant ile teflon rulo kullanılarak belirli zaman aralıklarında yapılan ölçümler.....	32
Çizelge 4.3. Elektrik üretimi testleri koşulları	33
Çizelge 4.4. Panel hızı, dev/dk. ve metre/saniye karşılıkları	33
Çizelge 4.5. Bant numaralandırma bilgisi	39
Çizelge 4.6. Farklı bant ve rulo kombinasyonlarında 5 cm mesafeden ölçülen maksimum elektrot yükleri karşılaştırması.....	39
Çizelge 4.7. Farklı bant ve rulo kombinasyonlarında 10 cm mesafeden ölçülen maksimum elektrot yükleri karşılaştırması.....	39
Çizelge 4.8. 1, 2 ve 3 adet fırça ile 10 cm mesafeden yapılan ölçümler	40
Çizelge 4.9. Farklı özelliklere sahip elektrotlar ile yapılan ölçüm sonuçları	41
Çizelge 5.1. Tez kapsamında kullanılan numunelere ilişkin numune kaynakları ve hazırlama yöntemleri, tane boyları ve besleme içerikleri	43
Çizelge 5.2. Farklı besleme hızları ile yapılan testler için sabit tutulan koşullar....	45
Çizelge 5.3. %50 manyetit içeriğine sahip numune ile besleme hızı test sonuçları	46
Çizelge 5.4. Farklı ayırıcı bıçak konumları ile yapılan testler için sabit tutulan koşullar	47
Çizelge 5.5. %50 manyetit içeriğine sahip numune ile farklı ayırıcı bıçak konumlarında ayırım sonuçları	47

Çizelge 5.6. Farklı tambur dönüş hızlarında yapılan testler için sabit tutulan koşullar	48
Çizelge 5.7. %50 manyetit içeriğine sahip numune ile farklı tambur dönüş hızları ile yapılan test sonuçları	48
Çizelge 5.8. Farklı elektrot ölçüleri için sabit tutulan test koşulları	49
Çizelge 5.9. Farklı kalınlıkta elektrotlar ile yapılan ayırım sonuçları	50
Çizelge 5.10. Farklı yüzey alanlarına sahip elektrotlar ile yapılan ayırım sonuçları	50
Çizelge 5.11. Farklı cins malzemelerden üretilmiş elektrotlar ile yapılan ayırım sonuçları.....	51
Çizelge 5.12. Elektrot ile tambur arasında farklı mesafelerin test koşulları	52
Çizelge 5.13. Farklı 3 elektrot tambur mesafesinde yapılan test sonuçları.....	52
Çizelge 5.14. Farklı tane boyutlarının ayırım üzerindeki etkisinin incelenmesi için yapılan çalışmalarda kullanılan test koşulları	54
Çizelge 5.15. 425+212 µm tane boyutunda %50 manyetit içeriğine sahip numune ile yapılan test sonuçları	55
Çizelge 5.16. -212+106 µm tane boyutunda %50 manyetit içeriğine sahip numune ile yapılan test sonuçları	55
Çizelge 5.17. -106+75 µm tane boyutunda %50 manyetit içeriğine sahip numune ile yapılan test sonuçları	56
Çizelge 5.18. Tane boyutunun testleri temizleme konsantreleri karşılaştırması ...	56
Çizelge 5.19. Aynı tane boyunda farklı manyetit oranlarına sahip numunelerin denendiği testlerde sabit tutulan koşullar	57
Çizelge 5.20. -425+212 µm tane boyutunda %5 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan test sonuçları	57
Çizelge 5.21. -425+212 µm tane boyutunda %10 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan test sonuçları	58
Çizelge 5.22. -425+212 µm tane boyutunda %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan test sonuçları	58

Çizelge 5.23. -425+212 µm tane boyutunda %50 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan test sonuçları	59
Çizelge 5.24. Farklı manyetit tenörüne sahip numunelerle yapılan testlerin konsantrelerinin karşılaştırılması	59
Çizelge 5.25 -425+212 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları.	60
Çizelge 5.26. -425+212 µm tane boyutu aralığında %50 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları	62
Çizelge 5.27. -212+106 µm tane boyutu aralığında %5 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları	63
Çizelge 5.28. -212+106 µm tane boyutu aralığında %10 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları	65
Çizelge 5.29. -212+106 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları	66
Çizelge 5.30. -212+106 µm Tane Boyutu Aralığında %50 Manyetit İçeriğine Sahip Numunede Yapılan Çalışmanın Sonuçları	68
Çizelge 5.31. -106+75 µm Tane Boyutu Aralığında %10 Manyetit İçeriğine Sahip Numunede Yapılan Çalışmanın Sonuçları	69
Çizelge 5.32. -106+75 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları	71
Çizelge 5.33. -106+75 µm tane boyutu aralığında %50 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları	72
Çizelge 5.34. Farklı özelliklere sahip yapay numuneler ile yapılan çalışmalar sonucunda alınan nihai ürün manyetit tenör ve verim değerleri	73
Çizelge 5.35. Tunçbilek kömür hazırlama tesisi numunesine yapılan zenginleştirme çalışmaları analiz sonuçları	76
Çizelge 5.36. Ömerler kömür hazırlama tesisi numunesine yapılan zenginleştirme çalışmaları analiz sonuçları	77
Çizelge 5.37. Dereköy kömür hazırlama tesisi numunesine yapılan zenginleştirme çalışmaları kül analiz sonuçları	79

Çizelge 5.38. Soma bölgesinden alınan kömür numunesine yapılan zenginleştirme çalışmaları kül analiz sonuçları	80
Çizelge 5.39. Feldspat numunelerine yapılan çalışmaların analiz sonuçları	81
Çizelge 5.40. Purunsur bölgesinden alınan demir cevheri atık numunesine yapılan çalışmaların analiz sonuçları	83
Çizelge 5.41. Kompleks bakır cevherine yapılan ayırım çalışması analiz sonuçları	84
Çizelge 5.42. Sülfürlü bakır cevheri ile yapılan tek kademe ayırım çalışması analiz sonuçları.....	86
Çizelge 5.43. Alunit cevherine ait beslemenin ayrıntılı analizi	86
Çizelge 5.44. Alunit cevheri zenginleştirme ayırım sonuçları	87
Çizelge 5.45. Bor cevheri zenginleştirme ayırım sonuçları	88
Çizelge 5.46. Kromit cevheri zenginleştirme ayırım sonuçları	89

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 2-1. Elektriksel alan üretmek için genel kullanımdaki bir jeneratör bağlantısı ve elektrik alan oluşumu.....	4
Şekil 2-2. Homojen olan/eşit dağılımlı olmayan (solda) ve homojen olmayan/eşit dağılımlı olmayan (sağda) elektriksel alan	6
Şekil 2-3. Levha tipi elektrostatik ayırıcı (solda) ve elekli – levha tipi elektrostatik ayırıcı (sağda)	7
Şekil 2-4. Tamburlu “elektro-statik” ayırıcı (solda) ve “Elektro-dinamik” elektrostatik ayırıcı (sağda) şematik şematik görünüşü	8
Şekil 2-5. İletken (solda) ve yalıtkan (sağda) tanenin taburlu elektrostatik ayırıcıdaki davranışı.....	9
Şekil 2-6. Topraklanmış elektrota dokunma ile indüklenen tane (solda) ve iyon bombardımanı ile elektriklenme (sağda)	11
Şekil 2-7. Tane üzerine etki eden kuvvetler.....	13
Şekil 2-8. Vinil ve cam moleküllerinin birbirlerine dokundurulmadan önceki ve sonraki durumları ile elektron değişimi sonrası yük dağılımları	18
Şekil 2-9. Mikroskobik temas alanı	19
Şekil 2-10. Tribo-havalı-elektrostatik ayırıcının şematik çizimi	21
Şekil 2-11. Akışkan yatak, Siklon, Statik tribo ve Döner tüp tribo yükleyicilerin şematik çizimi	22
Şekil 2-12. Pervane tipi tribo yükleyicinin şematik çizimi	23
Şekil 3-1. Elektrik üretim ünitesi şematik çizimi	26
Şekil 3-2. Elektrik üretim düzeneği	27
Şekil 3-3. Düzenekte kullanılan rulolar	28
Şekil 3-4. Ürün zenginleştirme düzeneği görüntüsü	30

Şekil 4-1. Naylon bant ile teflon rulo kullanılarak belirli zaman aralıklarında yapılan ölçümler.....	32
Şekil 4-2. Farklı rulo ve bantlar için elde edilen yük ölçüm değerleri (1).....	34
Şekil 4-3. Farklı rulo ve bantlar için elde edilen yük ölçüm değerleri (2).....	35
Şekil 4-4. Farklı rulo ve bantlar için elde edilen yük ölçüm değerleri (3).....	36
Şekil 4-5. Farklı rulo ve bantlar için elde edilen yük ölçüm değerleri (4).....	37
Şekil 4-6. Farklı rulo ve bantlar için elde edilen yük ölçüm değerleri (5).....	38
Şekil 5-1. Dönüş hızı ile elektrot yüzeyine 5 cm mesafeden ölçülmüş yüzey yükü değerleri	44
Şekil 5-2. Konsantre verilerinin grafiksel gösterimi	46
Şekil 5-3. Çizelgeden alınan konsantre verilerinin grafiksel gösterimi	49
Şekil 5-4. Farklı tane boyutlarının ayırım üzerindeki etkisinin incelenmesi için yapılan çalışma akım şeması.....	54
Şekil 5-5. -425+212 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması	60
Şekil 5-6. -412+212 µm fraksiyonu %20 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler	61
Şekil 5-7. -425+212 µm tane boyutu aralığında %50 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması	61
Şekil 5-8. -412+212 µm fraksiyonu %50 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler	62
Şekil 5-9. -212+106 µm tane boyutu aralığında %5 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması	63
Şekil 5-10. -212+106 µm fraksiyonu %5 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler	64
Şekil 5-11. -212+106 µm tane boyutu aralığında %10 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması	64
Şekil 5-12. -212+106 µm fraksiyonu %10 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler	65

Şekil 5-13. -212+106 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması	66
Şekil 5-14. -212+106 µm fraksiyonu %20 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler	67
Şekil 5-15. -212+106 µm tane boyutu aralığında %50 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması	67
Şekil 5-16. -212+106 µm fraksiyonu %50 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler	68
Şekil 5-17. -106+75 µm tane boyutu aralığında %10 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması	69
Şekil 5-18. -106+75 µm fraksiyonu %10 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler	70
Şekil 5-19. -106+75 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması	70
Şekil 5-20. -106+75 µm fraksiyonu %20 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler	71
Şekil 5-21. -106+75 µm tane boyutu aralığında %50 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması	72
Şekil 5-22. -106+75 µm fraksiyonu %50 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler	73
Şekil 5-23. Tunçbilek kömür hazırlama tesisi numunesine yapılan zenginleştirme çalışması	75
Şekil 5-24. Ömerler kömür hazırlama tesisi numunesine yapılan zenginleştirme çalışması	77
Şekil 5-25. Dereköy kömür hazırlama tesisi numunesine yapılan zenginleştirme çalışması	78
Şekil 5-26. Soma bölgesinden alınan kömür numunesine yapılan zenginleştirme çalışması	80
Şekil 5-27. Soma kömür numunesi ayırım sonrası görüntüsü	80

Şekil 5-28. Purunsur bölgesinden alınan demir cevheri atık numunesine yapılan çalışma akım şeması.....	82
Şekil 5-29. Kompleks bakır cevherine yapılan ayırım çalışması akım şeması.....	84
Şekil 5-30. Kompleks bakır cevheri ayırım sonrası görüntüsü.....	84
Şekil 5-31. Ayırım sonrası numunelerin görüntüsü.....	85
Şekil 5-32. Alunit cevheri ayırım sonrası görüntüsü	87
Şekil 5-33. Bor cevheri ayırım sonrası görüntüsü.....	88
Şekil 5-34. Kromit cevherine yapılan ayırım çalışması akım şeması.....	89
Şekil 5-35. Kromit cevheri ayırım sonrası görüntüsü	89
Şekil 7-1. Kâğıt ve alüminyum ile yapılan geri dönüşüm test ürünleri.....	91
Şekil 7-2. Plastik ve alüminyum ile yapılan geri dönüşüm test ürünleri	92

1. GİRİŞ

Elektrostatik ayırma, tanelerin iletkenlik özelliklerine bağlı olarak ayırma yapan bir zenginleştirme yöntemidir. Farklı elektriksel yüke sahip iki veya daha fazla elektrotun bulunduğu ayırma ünitesine giren tane, üzerindeki yükün niteliği ve niceliğine bağlı olarak sistem içerisinde yönlendirilmekte ve ayırım bu şekilde gerçekleşmektedir.

Konvansiyonel elektrostatik ayırıcıların çalışırken yüksek gerilime ihtiyaç duyması nedeniyle işletme maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle tanelerin elektriksel karakteristik özelliklerine bağlı olarak alternatif yöntemler geliştirilmektedir.

Bu tezin amacı; elektrostatik ayırıcılarda ayırım için gerekli olan elektriksel yükün sürtünme (triboelektriklenme) ile oluşturulup oluşturulamayacağının araştırılmasıdır. Bu kapsamda triboelektrik serinin farklı uçlarında yer alan iki farklı malzemenin birbirine sürtünmesi ile oluşan yükün bir elektrot üzerinde toplanabilirliği ve toplanan bu yükün, yüklü tanelerin ayrılabilirliğinde kullanılabilirliği incelenmiştir. Buna yönelik olarak sürtünme ile statik yük oluşturan bir düzenek geliştirilmiş ve bu yükün elektrostatik ayırmada kullanılabilirliğini ortaya koymak için geliştirilen düzenerle birlikte çalışan bir ayırıcı tasarımı yapılmıştır.

İki farklı madde birbirine sürtüldüke yüzey atomlarıyla ilişkili elektronlar birbirlerine çok yaklaşmakta ve bir maddeden diğerine hareket etmektedirler. İki madde birbirine ne kadar sert ve/veya hızlı sürtülürse elektron alışverişi o kadar büyümemekte ve oluşturulan yük o kadar yükselmektedir. Bu süreç, sürtünmenin meydana getirdiği ısı enerjisini kazanan yüzey elektronlarıyla oluşmaktadır. Bu ekstra enerji atomik bağların kırılmasına ve elektronların diğer atomlara taşınmasına neden olmaktadır. Böylece triboelektriklemeyle elektriklenmiş olan maddeler farklı yüklere sahip olduklarından, sonrasında elektriksel alana girdiklerinde birbirlerinden ayrılabilirliğindedir. Sürtünme ile sadece tanelerin yük kazanması değil aynı zamanda ayırımın yapılacağı elektrik alanı için gerekli elektrik yükü de elde edilebilmektedir. Konvansiyonel elektrostatik ayırıcıların ayırım yapabilmesi için gerekli statik yük dışarıdan bir güç kaynağı tarafından sağlanmaktadır. Bu çalışmada ayırım için gerekli yüksek potansiyeli sürtünmeyle sağlayacak bir düzenek kurulmuştur.

Böylece yüklü tanelerin ayrılması sağlanmıştır. Sistem kendi yükünü kendi ürettiği için, bilinen yöntemlerden bu özelliğiyle önemli bir farklılık göstermektedir.

Triboelektrik malzeme serisinin farklı iki ucunda bulunan iki malzemenin birbirine sürtünmesi sonucunda statik yük oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında sürtünme ile ortaya çıkan bu yükün elektrotlarda toplanarak ayırıcı kuvvet oluşturması amacıyla kullanılabileceği bir düzenek geliştirilmiştir. Düzenek en genel hali ile iki tarafında silindirik rulolar bulunan ve ortasında sonsuz bir bandın döndüğü bir tasarıma sahiptir. Bant rulolardan birisine bağlı olan hızı ayarlanabilen bir motor ile döndürülmektedir. Bu dönüş sırasında bant ile rulo arasındaki temas gerekli olan yükü üretmektedir. Üretilen elektrik iletken, çok pinli fırça/fırçalar (toplaç) ile bant ve rulonun temas noktasına yakın bir noktadan süpürülerek elektrot üzerinde toplanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında ekipman tasarımına ek olarak ekipmana ait değişkenlerin ve işletme değişkenlerinin bu düzeneğin ayırım performansı üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Düzenek üzerinde triboelektrik serinin herhangi bir tarafından seçilmiş olan teflon, kestamid, delrin, polietilen, polyamid ve alüminyum rulolar ile naylon bant, poliüretan bant 1 (geniş delikli dokuma), yün bant, poliüretan bant 2 (dar delikli dokuma), polyester bant, polyester-akrilik bant, PVC bant, fiber/naylon bant, naylon bant, fiber bant kombinasyonları kullanılmıştır.

Sürtünme ile yüksek statik potansiyellerin üretilip sabit bir elektrot üzerinde toplanabileceğinin ortaya konulmasını takiben, konvansiyonel bir tamburlu elektrostatik ayırıcıya benzer bir elektrostatik ayırıcı yapılmış ve bu ayırıcıda ayırım için gerekli olan yüksek gerilim yukarıda anlatılan sistemde sağlanan sürtünmeyle elde edilmiştir.

Sistem içerisinde kurulmuş olan elektrostatik ayırma ile de yapay olarak hazırlanmış numuneler üzerinde ayırıcının parametreleri değiştirilerek zenginleştirme testleri yapılmıştır. Bu testlerde denenen parametreler; besleme tane boyu, besleme numunesi iletken mineral içeriği, besleme hızı, bölücü bıçak konumu, döner tambur hızı, elektrot boyutu ve cinsi, toplaç fırça sayısı ve elektrot olarak belirlenmiştir ve ayrı ayrı ayırım üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Yapay numunelerle başarılı sonuçların elde edilmesini takiben çalışmanın sonraki bölümünde farklı bölgelerden temin edilmiş olan bor (kolemanit), alunit, feldspat, bakır, altın, kromit, demir cevheri ve kömür mineralleri üzerinde ayırım testleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında gözlemlenen sonuçlar triboelektriklenme ile yüklenen malzemelerin, yine triboelektriklenme ile oluşturulan elektrik alanı içerisinde ve belirli değişkenlere bağlı olarak nasıl tepki verdikleri oldukça ayrıntılı şekilde incelenmiştir.

2. TRİBOELEKTROSTATİK AYIRMA

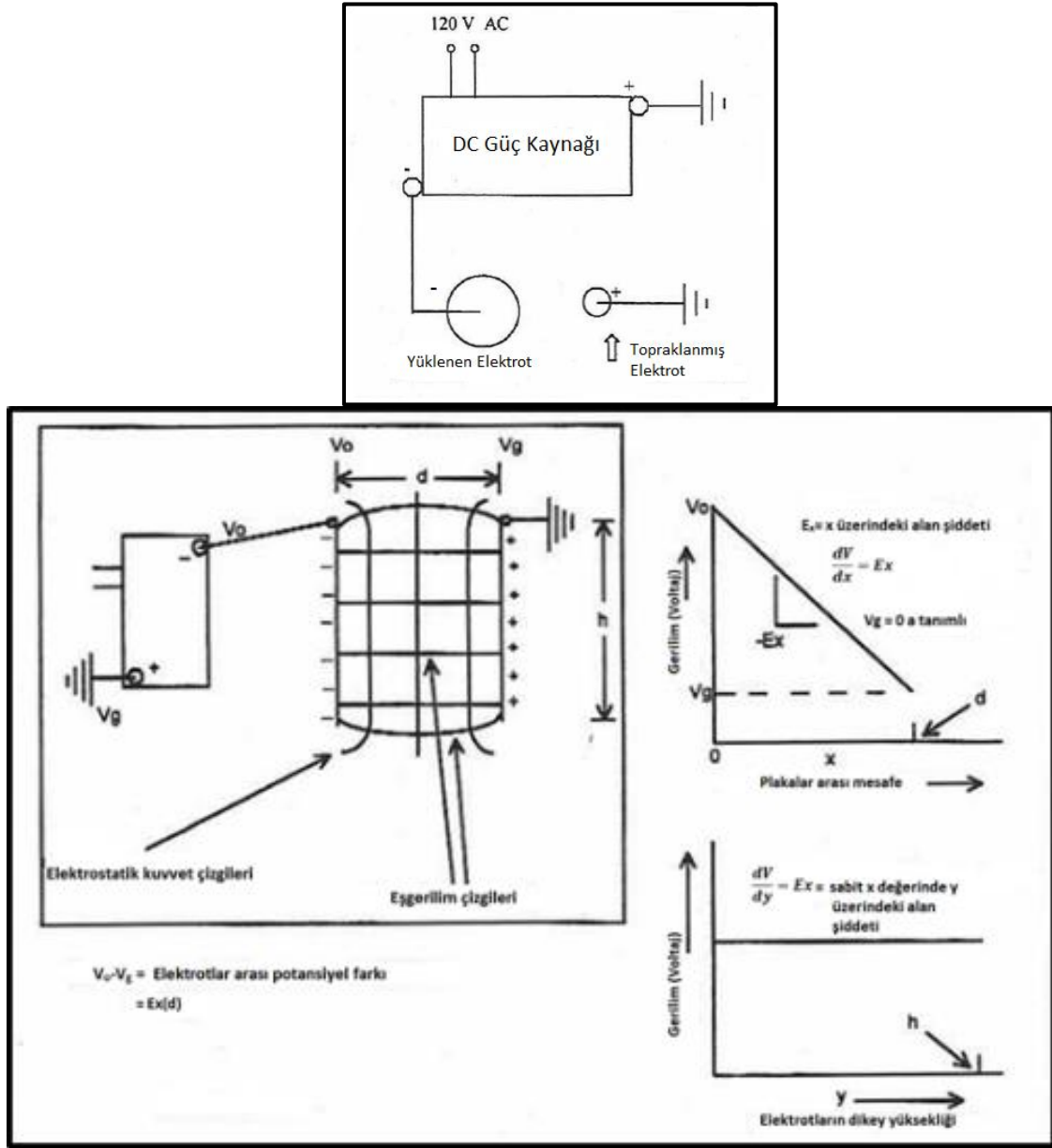
2.1. Elektrostatik Ayırıcılar

Cevher zenginleştirme yöntemleri, minerallerin fiziksel ve/veya kimyasal özelliklerindeki farklılıklardan yararlanarak değerli mineralleri değersiz minerallerden ayırmayı amaçlar. Elektrostatik ayırıcı ile malzemelerin zenginleştirilmesi bu yöntemlerden sadece biridir.

Elektrostatik ayırma ilk olarak 1800'lü yılların sonunda kullanılmaya başlanmıştır [1]. Elektrostatik ayırım yöntemi minerallerin elektriksel dirençleri ve elektriksel yüklenme (dielektik sabiti diğer bir adıyla yalıtkanlık sabiti) özellikleri farkına bağlı olarak zenginleştirme gerçekleştirmektedir. Elektriksel direnç (birimi uluslararası birim sistemine göre ohm metre olarak adlandırılmakta ve $\Omega.m$ olarak gösterilmektedir.) bir malzemenin elektrik iletimine verdiği tepkidir. Bir malzeme kolay elektrik iletiyorsa elektriksel direnci düşük demektir. Bu özellik malzemelerin iletken, yarı iletken veya yalıtkan olmalarına sebep olan özelliktir. İletken malzemeler düşük iletkenlik direncine sahiptirler ($10 \cdot 10^{-2} \Omega.m$). Yarı iletken malzemeler ise $1 \cdot 10^{-2}$ ve $10^2 \Omega.m$ arasında iletkenlik direncine sahip olmakla birlikte yalıtkan malzemelerin iletkenlik direnci ise $10^{12} \Omega.m$ olarak bilinmektedir [2].

Elektrostatik ayırıcılarda elektrostatik alan üretimi için bir jeneratör bulunmaktadır. Bu elektrotlar istenilen elektriksel alan şekline göre seçilebilmekte olup, mineral zenginleştirme ve geri dönüşüm sanayinde kullanılmaktadır. Jeneratörün bir ucu devreyi tamamlamak amacıyla topraklanmakta, genellikle negatif olan diğer ucu ise yalıtkan elektrota bağlanmaktadır. Genel kullanımdaki bir jeneratör bağlantısı Şekil

2.1'de gösterilmektedir. Jeneratörlerin herhangi bir ucu arzu edilen yük çeşidine göre topraklanabilmektedir [2].

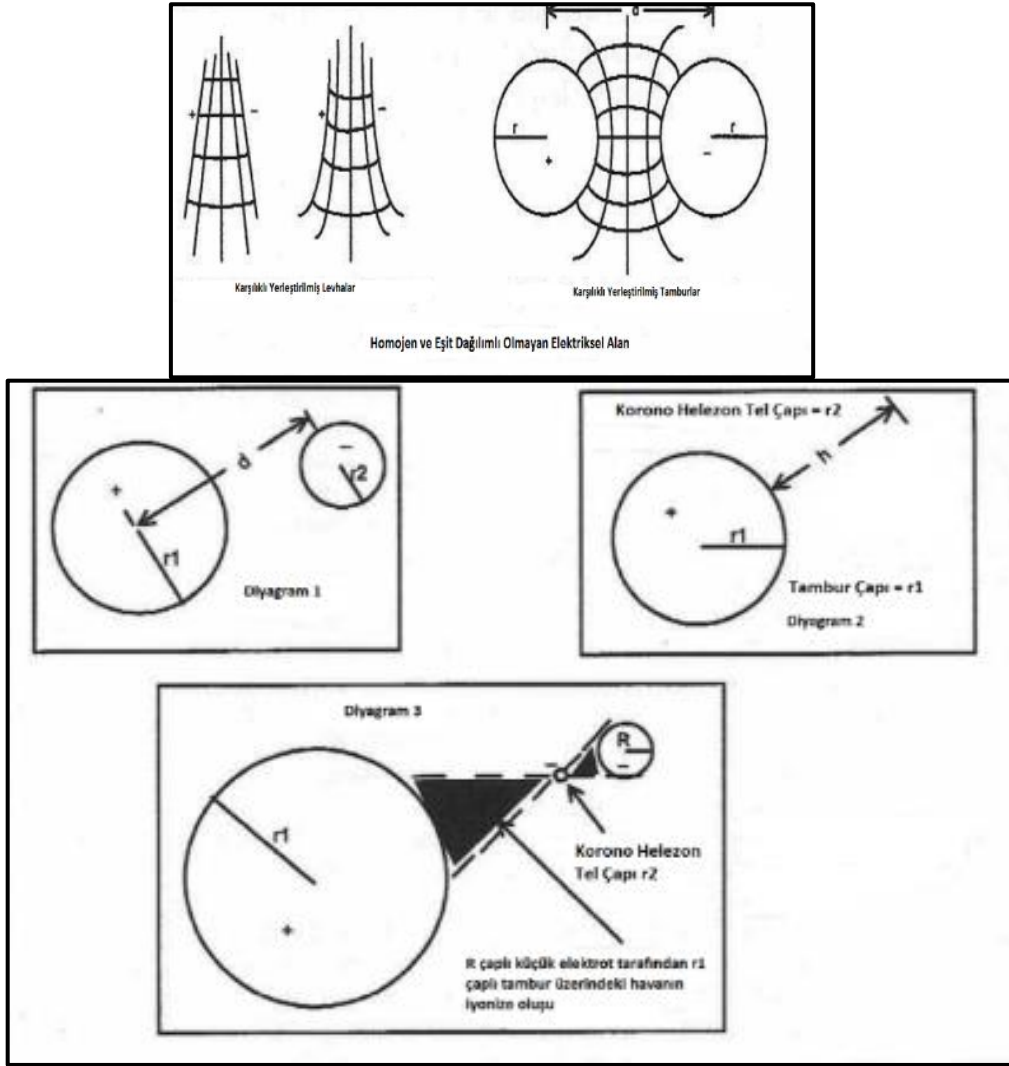


Şekil 2.1. Elektriksel alan üretmek için genel kullanımdaki bir jeneratör bağlantısı ve elektrik alan oluşumu

Elektriksel alan çeşitleri, elektrik alanını oluşturan elektrotların birbirlerine dönük yüzeylerinin geometrik şekillerine bağlı olduğu bilinmektedir. Bir elektrot jeneratörün bir ucuna bağlanırken diğer bir elektrot ise topraklanmaktadır. Yukarıda da bahsedildiği üzere kutupların işaretleri istenilen şekilde ayarlanabilmektedir. Genel olarak, üretilen elektriksel alan eşit dağılımlı ya da eşit dağılımlı olmayan olarak üretilmektedir [2].

Elektrostatik ayırıcıda nadiren kullanılan eşit dağılımlı olan elektriksel alanlar genel olarak düz bir yüzeye sahip elektrotların birbirlerine paralel olacak şekilde yerleştirilmesiyle üretilebilmektedir. Bu tip elektriksel alanlardaki elektriksel alan gücü, elektrotlar birbirinden uzaklaştıkça düşmektedir. Ancak paralel elektrotlar arasında dikey yer değiştirmelerde elektriksel alan gücü sabit kalmaktadır [2]. Oluşan elektriksel alan ve kuvvet çizgileri Şekil 2.1’de gösterilmektedir.

Eşit dağılımlı olmayan elektriksel alanlar ise homojen ve homojen olmayan elektriksel alanlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu tip alanlar ise yuvarlak-eğimli yüzeylere sahip elektrotların birbirlerine göre farklı boyutlarına ve karşılıklı konumlandırılmalarına bağlı olarak değişebilmektedir. Bu tip elektriksel alanlarda, elektriksel alan çizgileri elektrot yüzeyine paralel olarak uzanmaktadır. Elektriksel alan çizgilerinin gücü her zaman çizgilerin sağ açılarında olmakla birlikte eşit potansiyelidir ve elektriksel alan çizgilerine her zaman dik uzanmaktadır [2] [3]. Oluşan elektriksel alan ve kuvvet çizgileri Şekil 2.2’de gösterilmektedir.

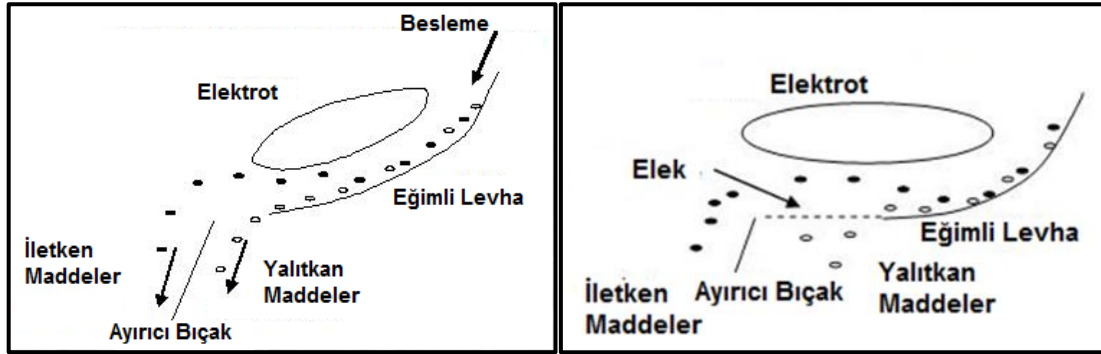


Şekil 2.2. Homojen olan/eşit dağılımlı olmayan (solda) ve homojen olmayan/eşit dağılımlı olmayan (sağda) elektriksel alan

Elektrostatik ayırıcıların ilk kullanılmaya başlandığı dönemde plakalar arasında serbest düşme ile zenginleştirme yapılmaktaydı. Plakalardan biri pozitif diğeri negatif yüklenerak iki plakanın arasına beslenen malzemenin ayrılması sağlanmaktaydı. Fakat günümüzde böyle kullanımı neredeyse tükenmiştir. Bu tip ayırıcılar yerlerini tamburlu ve eğimli plakalı ayırıcıların yerlerine bırakmışlardır. Elektrostatik ayırıcı çeşitleri levha tipi ayırıcılar ve döner tambur tipi elektrotlu ayırıcılar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Her iki tip elektrostatik ayırıcı, tanelerin yüzey iletkenliğine bağlı olarak çalışmaktadır [4] [5] [6]. Ticari olarak kullanılan levha tipi ayırıcılar ikiye ayrılmaktadır. Bunlar levha tipi elektrostatik ayırıcı ve elekli – levha tipi elektrostatik ayırıcı olarak adlandırılabilirler.

Bütün levha tipi elektrostatik ayırıcılara beslenen taneler serbest düşmenin ve yerçekiminin etkisiyle, topraklanmış olan eğimli bir levhanın üzerinden geçmektedir.

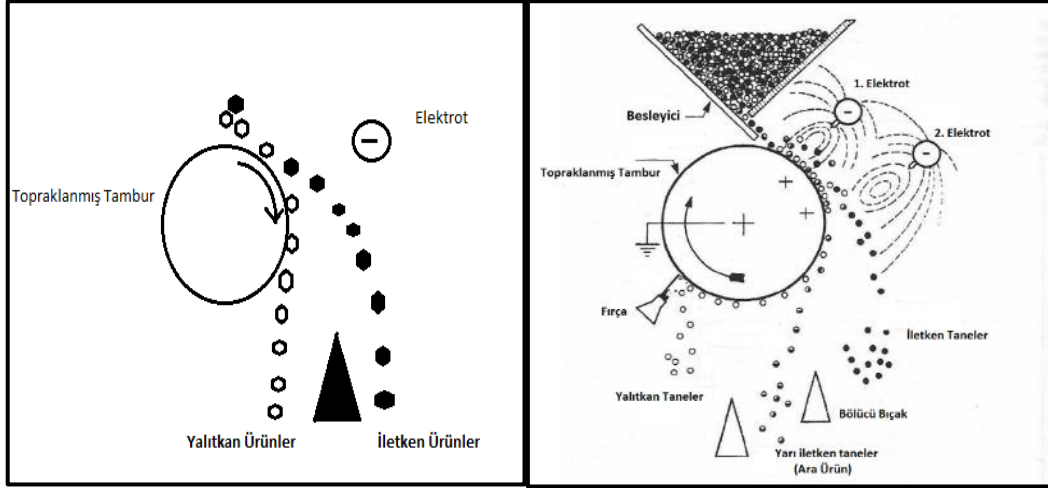
Bu sırada büyük, eğimli elektrotun oluşturduğu elektriksel alan, iletken olan tanelerin kendisine doğru yukarı yönlü hareket etmesine neden olmaktadır. Bu etkinin sonucu olarak iletken ve iletken olmayan taneler arasında bir ayırım söz konusu olmaktadır. İletken olan taneler eğimli levhaya değdiklerinde bütün yüklerini bu levhaya iletmekte ve ardından ters yükle yüklü elektrotu doğru çekilmektedir, bununla birlikte yalıtkan olan taneler, yüklerini eğimli levhaya iletken olan taneler kadar hızlı iletememektedir. Oluşan bu durum sonucunda yalıtkan olan taneler eğimli levhanın sonundan ayırıcı bıçak ile ikiye ayrılan bölmelerden ilk bölmeye düşerek (elekli – levha tipi elektrostatik ayırıcıda bu levhanın sonunda bulunan elek arasından elenerek) bir ürünü, iletken olan taneler ise eğimli levhanın sonundan elektrotu doğru eğimli hareket yapması sonucu ayırıcı bıçak ile ikiye ayrılan bölmelerden ikinci bölmeye düşerek diğer bir ürünü oluşturmaktadır. Bütün levha tipi elektrostatik ayırıcılarda operasyon prensipleri yukarıda anlatıldığı gibi olmakla beraber elekli – levha tipi elektrostatik ayırıcıda bulunan elek, taneler topraklanmış olan eğimli bir levhanın üzerinden geçtikten sonra beslemenin arasında var olan ve elektrotun elektriksel alan kuvvetinin çekmeye yetmediği büyüklükteki tanelerin yalıtkan tanelerin bulunduğu ilk bölmeye düşmemeleri için konulmuştur. Levha tipi elektrostatik ayırıcı ve elekli – levha tipi elektrostatik ayırıcı ayırım prensibi Şekil 2.3’de verilmektedir [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10].



Şekil 2.3. Levha tipi elektrostatik ayırıcı (solda) ve elekli – levha tipi elektrostatik ayırıcı (sağda)

Döner tambur tipi elektrotlu ayırıcıların şematik çizimi Şekil 2.4’de gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi topraklanmış tamburun üzerine beslenen malzeme tamburun dönüşü ile oluşan merkez kaç kuvvetinin ve karşısında bulunan elektrotun yarattığı elektrik alanının etkisinde kalmaktadır. İletken malzemeler üzerine gelen elektrik yükünü hızlıca topraklanmış tambura iletmekte ve bu sebeple tambura

yapışmadan savrulmaktadır, tambur ile temaslarını kaybeden iletken taneler ise elektrot tarafından çekilmektedir. Yalıtkan malzemeler ise elektrik yükünü iletken taneler kadar hızlı iletemedikleri için tambura yapışacaklardır. Ardından taneler döner tamburun sonundaki fırça yardımı ile tambur üzerinden uzaklaştırılmaktadır [1] [4] [5] [6] [7] [9] [11] [12] [13].

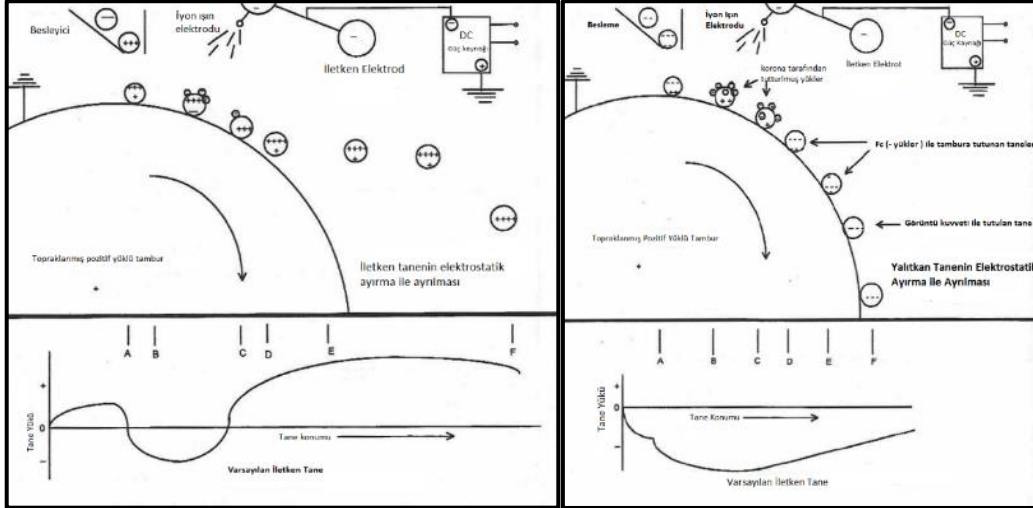


Şekil 2.4. Tamburlu “elektro-statik” ayırıcı (solda) ve “Elektro-dinamik” elektrostatik ayırıcı (sağda) şematik görünüşü

Döner tambur tipi elektrotlu ayırıcıların bir çeşidi olarak kabul edilen elektrodinamik ayırıcılar ise genellikle yüksek gerilimli ayırıcılar olarak bilinmektedirler. Statik tip elektrostatik ayırıcılardan en büyük farkları ikinci bir elektrot kullanarak tamburun üzerine düşen tanelerin ayrılmadan iyon bombardımanı ile yüklenmesi olarak öne çıkmaktadır. İletken taneler yüklerini topraklanmış tambura çok hızlı ileterek merkez kaç kuvveti ile savrulmaktadır. Tambur ile bağlantısı kesilen taneler ikinci elektrotun yarattığı elektrik alandan etkilenerek çekilmektedir. Yalıtkan taneler ise yüklerini hızla iletemedikleri için tambura tutunamamaktadır. “Elektro-Dinamik” elektrostatik ayırıcı şematik görünüşü Şekil 2.4’de verilmiştir [2].

İletken tanenin tamburlu elektrostatik ayırıcıdaki davranışı incelendiğinde, iletken ve düşük elektron çekiciliğe sahip tane, negatif yüklerini besleme hunisine verdikten sonra pozitif yük kazanmış olur. Tane tambura dokunduğu noktada, daha fazla pozitif yüklenecektir ancak koronadan gelen negatif yükler tanenin etrafını sarmaya başlamaktadır ve sabitleme etkisi bu noktalarda ortaya çıkmaktadır. Tane korona alanından uzaklaşmaya başlayınca kadar daha fazla negatif yüklenmeye devam etmektedir. Ardından tane tamburdan aldığı pozitif yükler ile oldukça güçlü

pozitif yüklenme yaşayacak olup, negatif elektrik alanlı elektrot tarafından çekime maruz kalmaya başlamaktadır. Tane hem elektriksel kuvvete hem de merkez kaç kuvvetine maruz kalmaya başlamakta ve pozitif yüklerini havaya kaybedip yer çekimi kuvveti etkisi ile düşerek ayırma alanından uzaklaşmaktadır [2]. Şekil 2.5'de tanenin davranımı verilmiştir.



Şekil 2.5. İletken (solda) ve yalıtkan (sağda) tanenin taburlu elektrostatik ayırıcıdaki davranışı

Yüksek elektron çekimine sahip yalıtkan parça besleme hunisinden çıkışta negatif yüklenererek elektriksel alana giriş yapmaktadır. Tane korona elektriksel alana girdiğinde daha fazla negatif yük tarafından sarılmakta ve tamburla beraber iletken alana girdiğinde ise tanenin yükünden kaynaklanan çekim kuvvetiyle tambura yapışmış halde elektriksel alandan çıkmaktadır. Ardından tane sadece görüntü kuvvetiyle tambura yapışmış olarak durmaktadır (F noktası) [2]. Şekil 2.5'de tanenin davranımı ve noktalar verilmiştir.

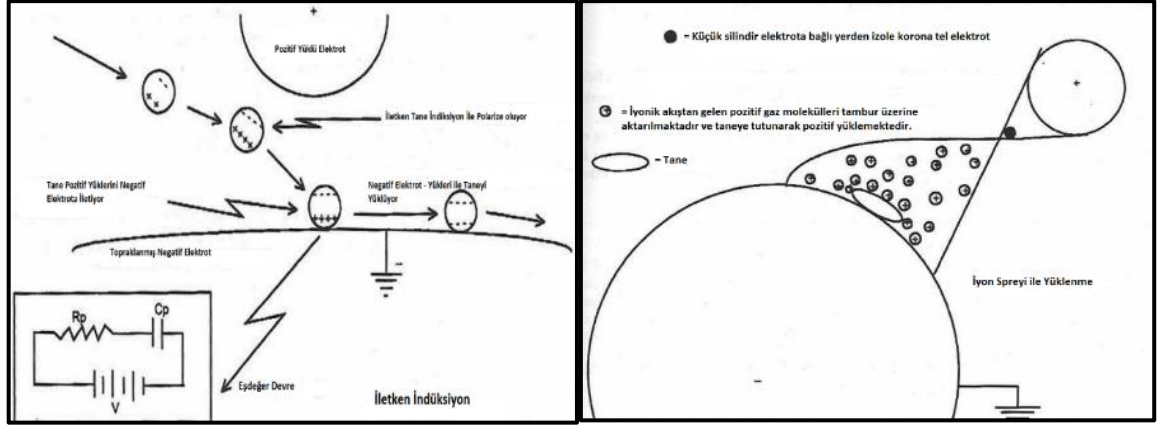
Tane yükleme mekanizması ise dokunma ile, yakınlaştırma (indükleme) ile, topraklanmış elektrotta dokunma ile indükleme, hare şekline getirilmiş bir elektrottan elde edilen elektriksel alan içinde iyon bombardımanı ile elektriklenme olarak sıralanabilmektedir [2].

Dokunma ile elektriklenmede, farklı iki katı maddenin yüzeyleri birbirine değdiğinde oluşan elektriklenme olarak değerlendirilmektedir. Katıların sahip olduğu iş fonksiyonuna (work function) bağlı olmakla birlikte, iş fonksiyonlarındaki fark ne kadar yüksek ise yükünde o kadar arttığı ortaya koyulmuştur. İş fonksiyonu, katı maddenin elektron çekim kuvvetine bağlı bir ölçüm değeri olmakla birlikte, katı

maddenin ne kadar yüksek bir iş fonksiyonu varsa o maddenin o kadar yüksek elektron çekim kuvveti vardır. İki farklı madde birbirlerine dokunduklarında, dokunmayla oluşan potansiyel fark artmaktadır. Başka bir deyişle elektron transferi düşük iş fonksiyonu olan maddeden (düşük elektron çekim kuvveti olan madde. Örneğin; metal), yüksek iş fonksiyonu olan maddeye (yüksek elektron çekim kuvveti olan madde. Örneğin: yalıtkan bir madde) doğru olmaktadır. Dokunmayla oluşan potansiyel fark iş fonksiyonları arasındaki farklılıkla doğru orantılı olduğu buradan çıkarılabilmektedir [2].

İndükleme ile elektriklenmede ise elektriksel alana giren iletken tane, elektriksel alan üreten elektrot tarafından indükleme ile yüklenebilmektedir. Tane polarize olmakta, maddenin içinde bulunan negatif yükler pozitif elektrotta doğru olan bir yörünge izleme eğiliminde, pozitif yükler ise negatif elektrotta doğru olan bir yörünge izleme eğilimindedir. Eğer tane eşit sayıda negatif ve pozitif yüke sahip ise homojen olan elektriksel alanda en yakın elektrotta doğru yönlenecektir. Eğer elektriksel alan homojen olmayan bir yapıya sahip ise, tane yoğunluğu yüksek olan elektriksel alana doğru hareket edecektir [2].

Topraklanmış elektrotta dokunma ile indükleme de ise iletken tane homojen ve eşit dağılımlı olmayan elektriksel alana girmekte, ardından elektriksel alan içerisinde indükleme ile polarize olmaktadır. Ancak üzerine etkiyen bu elektriksel kuvvetler yer çekimi kuvvetini yenemediği için tane topraklanmış olan negatif elektrotta yapışmaktadır. Eğer tane yeterli bir süre bu elektrotta yapışmış olarak kalabilirse negatif yükler iletken taneye geçme fırsatı bulmaktadır ve tane negatif yüklenmektedir [2]. Tanenin davranımı Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Topraklanmış elektrota dokunma ile indüklenen tane (solda) ve iyon bombardımanı ile elektriklenme (sağda)

Hale şekline getirilmiş bir elektrottan elde edilen elektriksel alan içinde iyon bombardımanı ile elektriklenmede ise, küçük bir silindir elektrot helezon haline getirilmiş bir tele bağlanmıştır. Bu tel korona elektrotu olarak adlandırılmaktadır. Tele doğru iyon akımı gerçekleştiğçe topraklanmış büyük silindirik elektrota da bu iyon akımı geçmektedir. Büyük silindir elektrot üzerinde duran tane iyonik akım ile pozitif yüklenmektedir. Oluşan bu durum Şekil 2.6'da gösterilmektedir. İletken ve yalıtkan taneler birbirlerine göre gelişigüzel şekilde elektriklendiği görülmektedir. Ancak yalıtkan olan taneler üzerlerindeki yükleri beklenenden daha fazla tuttuğu anlaşılmıştır [2] [8] [9] [14].

Elektrostatik ayırıcılarda dönen tambur üzerine düşen tanenin üstüne etki eden kuvvetler Şekil 2.7'de gösterilmektedir. Bu kuvvetler Elektriksel kuvvet (F_e), Merkez kaç kuvveti (F_c), Yer çekimi kuvveti (F_g) ve tambur üzerine yapışan yalıtkan ve yarı-yalıtkan tanelerin üzerine uygulanan Görüntü kuvveti olarak adlandırılan (F_i) ve iletken olan taneler üzerinde tamburdan ayrıldıktan sonra havada uçuşları sırasında oluşan sürtünme kuvveti (F_d) tane üzerindeki kuvvetler olarak sıralanabilmektedir. Bu kuvvetler aşağıda açıklayıcı biçimde Eşitlik 2.1, Eşitlik 2.2, Eşitlik , Eşitlik 'de ve Şekil 2.7'de gösterilmektedir [1] [8] [9] [14] [15].

F_e elektriksel kuvveti; elektrot ile yüklenmiş tane arasındaki çekim kuvveti olarak açıklanan F_e kuvveti, elektrik yükü ve elektrik alan kuvvetlerinin toplamından oluştuğu Eşitlik 2.1'de gösterilmektedir.

$$F_e = e \pm \epsilon \quad \text{Eşitlik 2.1}$$

e = Elektrik yükü

ϵ = Elektrik alan kuvveti

Çekim kuvveti olarak adlandırılan F_e elektriksel kuvveti bulmak amacıyla kullanılan e (elektrik yükü) Eşitlik 2. 2'de açıklanmaktadır. Bu denklem içinde yer alan tanenin elektriksel sığası (K_{cp}) olarak adlandırılan değişken bir iletkene verilen yükün o iletkenin kazandığı potansiyele oranı olarak adlandırılmaktadır. Bu orana elektriksel sığa (kapasite) adı verilmektedir. Elektriksel sığa skaler bir büyüklük olup, "C" ile gösterilmektedir. Birimi Farad' dır [1].

$$e = K_{cp}\gamma \left[1 - \exp\left(\frac{-1}{K_r K_{cp}}\right) \right] \quad \text{Eşitlik 2. 2}$$

K_{cp} = Tanenin elektriksel sığası

$$K_{cp} = \frac{q}{v} \quad \text{Eşitlik 2. 3}$$

q = Yük (Coloumb)

V = Potansiyel Fark (Volt)

$$V = \frac{k*q}{r} \quad \text{Eşitlik 2.3}$$

$$K_{cp} = \frac{r}{k}$$

Buna göre, iletken kürenin sığası yalnız yarıçapına bağlı olduğu, cismin taşıdığı yüke ve uygulanan gerilime bağlı olmadığı anlaşılmaktadır.

γ = Uygulanan potansiyel

K_r = Tanenin direnci

F_i yarı yalıtkan veya yalıtkan tanelerin iyon bombardımanı sonrasında yüklenmesinin ardından kendi yükleri kadar topraklanmış yüzeye çekilme kuvvetidir ve görüntü kuvveti olarak adlandırılır. Görüntü kuvveti Coloumb Yasası eşitliği ile gösterilir: Eşitlik 2.4

$$F_i = \frac{1}{K_\epsilon} \frac{e^+ e^-}{y^2}$$

K_ϵ = Dielektrik sabiti (Hava için $1/(9 \times 10^9)$)

e^+ = Tane üzerindeki pozitif yük

e^- = Tane üzerindeki negatif yük

y = Yük ile topraklanmış yüzey arasındaki mesafe

F_f ise sürtünme kuvvetini göstermektedir. Fakat tane üzerine etkiyen sürtünme kuvveti yok sayılabilmektedir.

F_c ise merkez kaç kuvvetini göstermektedir. Döner tambur üzerindeki tanelerin merkez kaç ile dışarı doğru savrulma kuvveti olarak açıklanabilmektedir [1].

Eşitlik 2.5

$$F_c = \frac{1}{6} \pi d_y^3 \rho_s \omega^2 R$$

d_y = Tane çapı

ρ_s = Tane öz kütlesi

ω = Tambur açısal hızı

R = Tambur yarıçapı

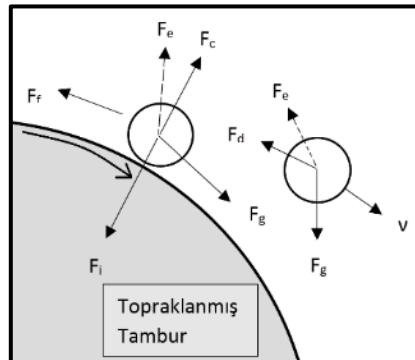
F_g yer çekimi kuvvetinin taneye olan etkisini göstermektedir. Yer çekimi kuvveti ise:

Eşitlik 2.6

$F_g = \frac{1}{6} \pi d_y^3 \rho_s g$ ile gösterilir.

d_y = Tane çapı

ρ_s = Tane öz kütlesi



Şekil 2.7. Tane üzerine etki eden kuvvetler

Taneler arasındaki elektrik kuvveti Coulomb yasası ile hesaplanabilmektedir. Coulomb yasası belirli bir dielektrik sabite sahip ortamda (Örneğin hava dielektik

sabiti $9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$) tanelerin sahip olduğu y¼klere ve tanelerin birbirleri ile olan uzaklıklarının karesinin ilişkisi sonucu bulunan kuvvettir. Coulomb yasası Eşitlik 'da g¼sterilmektedir.

Eşitlik 2.7

$$F = \frac{kQ_1Q_2}{d^2}$$

Q_1 ilk tanenin/elektrotun y¼k¼n¼, Q_2 ikinci tanenin/elektrotun y¼k¼d¼r. d ise taneler/elektrotlar arası mesafedir. k ise Coulomb sabitidir ve ortamın dielektriklik ¼zelliđine g¼re değişim g¼stermektedir. Elektrostatik ayırmalarda sisteme beslenen tanelerin y¼k¼ elektrotların y¼klerine g¼re g¼rece d¼ř¼k olduklarından elektrotların y¼k¼ ayırım i¼in b¼y¼k ¼nem taşıtmaktadır. Genel olarak bir tanenin y¼k¼ne bağlı olarak farklı bir y¼ke sahip bir elektrot tarafından ¼ekilmesi veya itilmesi ¼zerinde etkili parametre ¼eken ve ¼ekilenin sahip olduğu y¼klerdir. Bu noktadan hareketle ¼eken ve ¼ekilen ¼zerindeki y¼kleri kontrol ederek ayırım performansı ¼zerinde gerekli etkiyi yaratmak m¼mk¼n olmaktadır. Bu ¼alıřma kapsamında da temelde fiziğin bu kuralı kullanılarak farklı bir y¼ntemin mineral ayırımı içinde kullanımına y¼nelik bir araştırma ger¼ekleřtirilmiřtir.

D¼ner tambur tipi elektrostatik ayırıcılarda ayırımı etkileyen pek ¼ok parametre vardır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır;

1. Tambur hızı,
2. Korona elektrot sayısı ve topraklanmış tambura g¼re bu elektrotların konumları,
3. Uygulanan potansiyelin yoğunluğu ve y¼k¼,
4. Besleme hızı,
5. Elektrot y¼zeylerinin temizliği,
6. Beslenen malzemenin nem oranı,
7. Malzemenin y¼zey koşulu [1] [4] [6] [11].

Bu ¼alıřma kapsamında s¼rt¼nme ile elektrostatik ayırıcı i¼in gerekli olan y¼ksek potansiyelin ¼retilebileceđinin ortaya konulmasını takiben, tambur tipli bir elektrostatik ayırıcı tasarımı yapılarak yukarıda belirtilen işlem değişkenleri de g¼z ¼n¼ne alınmak koşulu ile zenginleştirme testleri ger¼ekleřtirilmiřtir.

Günümüzde elektrostatik ayırıcılar temel olarak 3 bölümden oluşmaktadır; besleme, tane yüklenmesi ve ayırım bölümü. Elektrostatik ayırmanın en önemli bölümü tane yüklenmesi bölümüdür. Tane yüklenmesi genellikle indüksiyon, korona ve triboelektriklenme ile sağlanmaktadır. İletkenliklerinde büyük farklar olan taneler indüksiyon ve korona yöntemi ile yüklenebilmektedirler. İndüksiyon ile yüklemeye ayırım ve yükleme tek bir elektrot ile yapılmaktadır ve elektriksel alana giren tanelerin yüklenmesi sağlanmaktadır. Korona ile yükleme ise “elektro-dinamik” sistemlerde görülmekte olup Şekil 2.6’da gösterildiği gibi yüksek bir gerilime sahip elektrot ile tanelerin yüklenmesi sağlanmaktadır. Triboelektriklenme ile yüklenme ise tanelerin birbirlerine sürtünerek elektron alışverişi yapması sonucunda yüklenmesi olarak açıklanabilmektedir. İletkenlik farkı düşük olan tanelerde indüksiyon ve korona ile tanelerin yüklenmesi ayırım sonuçlarına etki edememektedir. Bununla birlikte indüksiyon ve korona ile elektriklemede küçük tane boyutlarında (mikron boyutlarındaki tanelerde, ince kömür vb.) engellerle karşılaşmıştır. Bu durumlarda triboelektriklenme ile yükleme yapılması daha başarılı sonuçlar verebilmektedir. Elektrostatik ayırmayla plastik ve metal geri dönüşümlerinde ve mineral zenginleştirme alanlarında tanelerin direk elektrostatik ayırıcıya maruz bırakılmasıyla ya da öncesinde triboelektriklenme ile yüklenmesi konularında oldukça fazla araştırma yapılmıştır [9] [10] [14] [18]. Elektrostatik ayırmayla farklı yükleme metodlarının hangi minerallerde çalışıldığı Çizelge 2.11’de verilmektedir [11] [12] [14] [19].

Tribo-elektriklenme ile elektrikleme sonrası elektrostatik ayırıcıda ayırım birçok değişik malzemede ve cevherde denenmiş ve literatürde yer bulmuştur. Bunlardan bazıları potasyum klorür (sylvite), sodyum klorür (halite), barit, feldspat, florit, dolomit, kuvars, apatit, kil mineralleri, kömür, kalsit, fosfor olarak sıralanabilmektedir [13] [20] [21] [22] [23]. Literatürde, kullanılan malzemenin, sürtünme hızının, sürtünmenin oluşturulduğu araç tiplerinin etkisi ortaya konulmaktadır. Sonuçta birçok çalışma sürtünme ile tanelerin yüklenebildiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada da ayırma testleri öncesinde tanelerin yüklenmesi amacıyla sürtünme (triboelektriklenme) yöntemi kullanılmıştır. Bu işleme kısaca değinmek gerekirse plastik silindirik bir kutunun içine konulan toz halindeki mineral taneleri, kutu yatay konumda olacak şekilde, belirli bir hızda, belirli sürelerde döndürülmesiyle yüklenmişlerdir.

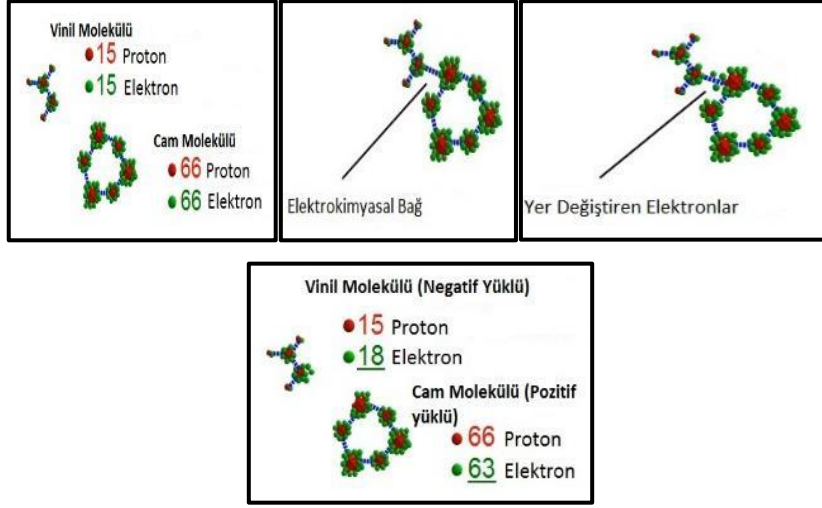
Kömürde yapılan zenginleştirme işlemleri genellikle yaş fiziksel zenginleştirme işlemleri olmaktadır. Bu yaş yıkama ve zenginleştirme işlemleri iri tanelerde oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Buna karşılık ince taneli kömür cevherlerinde bu yıkama işlemleri sonucunda çeşitli problemlerle karşılaşılabilir. Bu sorunlardan bazıları elde edilen düşük verim ve susuzlandırma işlemleri olarak sıralanabilmektedir. Bununla birlikte yaş yöntemin neden olabileceği kimyasal drenaj, bozulmuş kimyasal içeriklerin tekrar kullanımı gibi kirlilik yaratabilecek durumların oluşması gözlemlenebilmektedir. Kömür endüstrisinde karşılaşılan bu durumlardan kaçınabilmek için alternatif yaklaşımlar geliştirmek kaçınılmaz bir sonuç olarak görülmektedir. Sonuç olarak kömürün farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerinden faydalanarak bu alternatif yaklaşımlar gerçekleştirilebilmektedir. Kömürün elektriksel karakteristik özelliği de bunlardan biridir. Tribo-elektriklendirme gerçekleştirildikten sonra elektrostatik ayırıcı da ayırma tabii tutulmasıyla ilgili son dönemde birçok yapılmış olan araştırmalar literatürde yer bulmuştur. Bunlarla birlikte yanmamış karbonu külden ayırmak içinde uygulamalar yapılmaktadır [18] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] . Bunlarla birlikte plastik geri dönüşümünde, plastikleri atık elektronik parçalardan veya metallere ayırmada da tribo-elektriklendirme sonrası elektrostatik ayırıcıya tabii tutma veya ayırım öncesi tribo-elektriklenmeye tabii tutulmaksızın direk elektrostatik ayırıcıya beslemeyle alakalı pek çok başarılı çalışma literatürde yer bulmuştur [3] [7] [9] [10] [14] [18] [20] [36] [37] [38] [39] [40] [41] [42] [43] [44].

Çizelge 2.1. Minerallerin farklı yükleme metotları ve farklı yükleme ekipmanlarıyla zenginleştirilmesi

Yükleme Methodu	Yükleme Ekipmanı	Malzemeler (referanslar)
İndüksiyon	Döner Tambur	Cüruftan alüminyum ayırma(1), Feldspat/kuvars (2), Bor mineralleri (3), Yanmamış karbon (4), Cu/Cam fiber/reçine (5-6)
	Plaka	Rutil/Zirkon(7) Titanyum
	Bant	Soğan tohumları, Çiçek (8)
Korona	Döner Tambur	Plastik/alüminyum(9), Nadir Metal (10), Rutil/Zirkon/Kuvars (11), Çay yaprakları/Yaprak sapı(12), Cu/PVC(13-14)
	Bant	Havuç/Kereviz tohumu(15)
Triboelektriklenme	Silindirik Elektrot	KCl/NaCl(16)
	Siklon	Kömür (17-18)
	Döner Koni	Kömür (19)
	Yükleme Tüpü	Kömür (20-21)
	Kaynar Yatak	Kömür (22), Plastik (23)
	Elektrostatik elek	Kömür (24)
	Kırıcı	Kömür (25)
	Döner Boru	Plastik (26)
Titreşimli Besleyici	Plastik (27)	

2.2. Triboelektriklenme

“Tribos” kelimesi Eski Yunan da birbirine sürtünme ve kayma anlamındadır. İki tane madde birbirlerine dokundurulup ayrıldıklarında malzemelerin doğal yüzey yükleri (nötr yüzey yükleri) kaybolmaktadır. Tribo-yüklenme (tribocharging) etkisiyle, tanelerin doğal yüzey yüklerinde değişme olmaktadır. Taneler birbirlerine dokundurulduklarında moleküler boyutta kimyasal bağ oluşturmaktadırlar [13] [44]. Bu oluşan bağ koparıldığında, tanelerin molekülleri arasında elektron alışverişi gerçekleşmektedir. Örnek olarak 15 protona sahip vinil molekülü nötr durumda iken 15 elektrona sahiptir. Bu vinil molekülünün ve nötr durumda olan 66 proton ve elektrona sahip cam molekülünün birbirlerine dokundurulmadan önceki durumları Şekil 2.8’de gösterilmektedir [65].



Şekil 2.8. Vinil ve cam moleküllerinin birbirlerine dokundurulmadan önceki ve sonraki durumları ile elektron değişimi sonrası yük dağılımları

Moleküller birbirlerine dokundurulduklarında aralarında elektrokimyasal bir bağ oluşmaktadır. Şekil 2.8'de bu bağ gösterilmektedir [65].

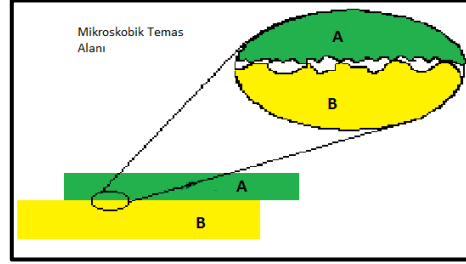
Elektron alışverişi gerçekleşmesinin ardından moleküller birbirlerinden ayrıldığıında vinil molekülü 15 protona sahip iken 18 elektron bulundurmaktadır ve negatif yüklenmiştir. Benzer durum cam molekülü içinde 66 protonuna karşılık 63 elektron ile pozitif yüklenmesiyle gerçekleşmiştir. Şekil 2.6'da moleküllerin birbirlerinden ayrıldıktan sonraki durumları ve yükleri gösterilmiştir [65].

Yukarıda verilen örnekte vinil ve cam molekülünün yüzey yüklerinin ilk konumda nötr iken dokundurulup ayrıldıklarında tribo etki ile negatif ve pozitif yüklü hale geldiği görülmektedir. Bu duruma tribo-elektriklenme denmektedir [65].

Tribo-elektrik ile yüklenmeyi etkileyen 4 temel faktör sayılabilmektedir. Bunlar yüzey temas etkisi, elektronegativite (work function), geri yüklenme ve gaz/hava dağılımıdır [16] [20].

Yüzey temas etkisi sürtünme noktası pürüzlülüğü, temas baskısı ve sürtünmeden oluşan ısınmayı içermektedir. Tribo yüklenme sırasında temas alanı ve yüklenme doğru orantılıdır. Şekil 2.9'da pürüzlü yüzeye sahip A ve B malzemelerinin birbirine olan temas alanı mikroskobik olarak gösterilmektedir. Mikroskobik görüntüde pürüzlü yüzeyleri sebebiyle birbirlerine tam olarak temas etmedikleri görülmektedir. Temas baskısının etkisi ise örnek verilerek anlatılırsa 5 cm^2 yüzey alanına sahip pürüzlü A ve B malzemesinin birbirlerine olan temas alanı 1 cm^2 iken üzerlerine

uygulanacak baskı ile bu temas alanı 2 cm^2 'ye çıkartılabilmektedir. Bu baskı sonucu artan sürtünen yüzey alanı tribo-yüklenmeyi arttırmaktadır. Yüzeyle birbirine yapıştığında kimyasal bağlar ile birbirlerini tutabilmektedir. Yüzeyle ayrıldığında bu bağlar kopmakta ve asimetrik bağlar dengesiz yükler bırakmaktadır. Bu bağların kopması elektronegatiflik ile ilişkilidir [16]. Şekil 2.9'da mikroskobik temas alanı gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Mikroskobik temas alanı

Elektronegatif olarak tanımlanan özellik malzemenin serbest elektron yakalayabilme yetkinliğine verilen isimdir. Elektronegatifliği ne kadar yüksek ise malzemenin elektron verme eğilimi o kadar düşüktür. Düşük elektronegatifliğe sahip malzemeler elektron vermeye daha eğilimli olduklarından genellikle pozitif yüklenmektedirler. Genellikle elektronegatifliği yüksek olan malzeme düşük olan malzemedan elektron kopartmaktadır [16].

Geri yüklenme ise yukarıda bahsedildiği şekilde yüklenen malzemelerin birbirleriyle temasları kesilmesi sonrası oluşan yüklerden kaynaklanan dengesizlik durumundan ilk duruma tekrar dönme eğilimi olarak açıklanmaktadır. Ve bu eğilim tribo-elektrikleme ile oluşan yükleri düşürmektedir [16].

Gaz/hava dağılımı tribo-yüklenmeyi etkileyen diğer bir faktördür. Tanelerin yüzeyinde bulunan mikroskobik çukur ve tepelerin arasında sıkışan hava yalıtkan bir ortam yaratabilmektedir. Elektrik yüklenmesini etkileyen bu durum sıkışan gazın basıncına ve sıkıştığı alanın büyüklüğüne göre değişmektedir [16].

2.3. Triboelektrik Seri

Triboelektrik seri farklı maddelerin birbirlerine dokunduklarında birbirlerini nasıl yükleyecekleriyle ilgili oldukça genel bilgi vermek için kullanılmaktadır. Bu seriyi genişletmek ve içeriğine farklı maddeler katmak için oldukça fazla çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Farklı polimer yapılar, metaller, mineraller, günlük

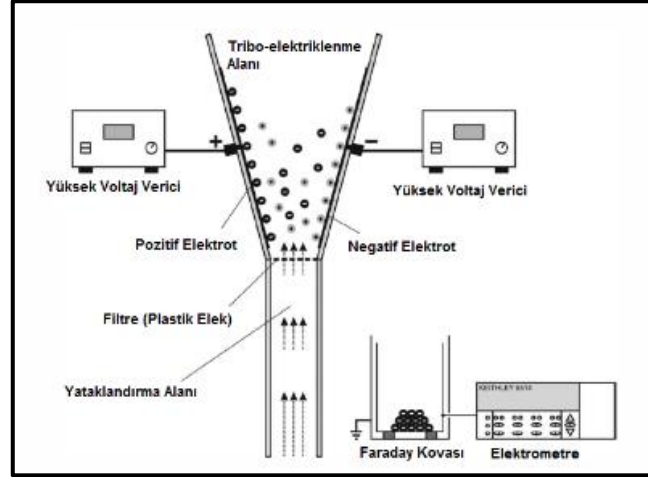
hayatta kullandığımız birçok değişik malzeme triboelektrik seride farklı yerlerde bulunmaktadır. Malzemelerin birbirine dokunması sonucunda birbirlerini pozitif ya da negatif yükleme durumları ve yüklenme kuvvetleri bu serideki konumlarına göre genel anlamda görülebilmektedir. Seride pozitif tarafında bulunan bir malzeme daha negatif tarafta bulunan herhangi bir malzemeye sürtüldüğünde/dokundurduğunda pozitif yüklenmekte olup diğer malzeme negatif yüklenmektedir. Triboelektrik seride bulunan bu iki madde arasındaki uzaklık ne kadar fazla ise elektron alışverişi o kadar fazla olacağı öngörülebilmektedir. Aşağıda listesi verilen triboelektrik seri Diaz ve Felix-Navarro tarafından 2004 yılında yazılmış olan makaleden alınmıştır. Bu makalenin özelliği, bu triboelektrik seriyi şekillendirmek amacıyla yapılmış olan 4 farklı çalışmanın bir araya getirilmiş olmasıdır. Bu çalışmalar Coehn'in 1898 yılında yaptığı, Hersh and Montgomery'nin 1955 yılında yaptığı, Henniker'in 1962 yılında yaptığı ve Adams'ın 1987 yaptığı çalışmalar olarak sıralanmaktadır. Aynı maddeler kombine edilmiş bu seride yan yana yerleştirilmiştir ve Ek 2'de gösterilmektedir [38] [44] [46] [47].

2.4. Triboelektriklenmeyi Sağlayan Makineler

Literatürde bu zamana kadar yapılmış olan mineral (kömür, kuvars, bor vb.) zenginleştirme işlemlerinin, plastikleri alüminyum, kâğıt, elektronik aletlerde kullanılan metal maddeleri birbirinden ayırma işlemlerinin farklı tribo-elektriklenmeyi sağlayan makinelerde yapıldığı görülmektedir. Tribo-elektriklenme ve ardından ayırma tabii tutma ya da tribo-elektriklendirme sırasında ayırma tabii tutma işlemleri bu makineleri kabaca açıklamamıza yardımcı olacaktır. Tane üstünde oluşacak olan elektriklenmeyi yukarıda bahsedilmiş olan tribo-elektrik seriden faydalanılarak kontrol edilebileceği vurgulanmalıdır. Bu makinelerde tanelerin sadece birbirine çarpması sağlanmakta ya da içinde bulunduğu kabın duvarlarına ve tanelerin birbirine çarpması sağlanmaktadır. Bunlarla beraber farklı elektrikleştirme makineleri de literatürde yer bulmaktadır. Literatürde bu makineler Tribo – Havalı – Elektrostatik Ayırıcı, Titreşimli Tribo Yükleyici, Akışkan Yataklı Tipi Tribo Yükleyici, Siklon Tipi Tribo Yükleyici, Statik Tribo Yükleyici, Döner Tüp Tribo Yükleyici, Pervane Tipi Tribo Yükleyici olarak adlandırılmaktadır [18].

Tribo-havalı-elektrostatik ayırıcı, ayrılacak malzemeye göre iç astarı tribo-elektrik seriye göre seçilebilen hem tribo-yükleyici olan hem de aynı alanda ayırım

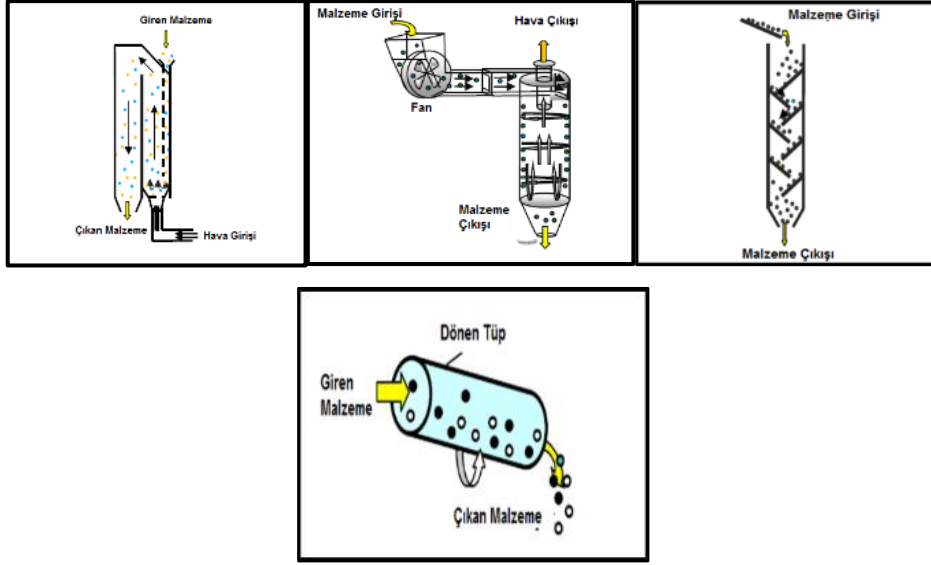
yapılmasına izin veren bir makine olarak literatürde bahsedilmektedir. Yüklenme ve ayrımın gerçekleştiği huni benzeri makineye alttan hava verilmekte, böylece hem tanelerin homojen şekilde dağılmasına izin verilmekte hem de tanelerin birbirine dokunmasına/sürtünmesine alan tanınmaktadır [28] [39] [42] [43] [48]. Tribo-Havalı-Elektrostatik Ayırıcı'nın şematik çizimi Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Tribo-havalı-elektrostatik ayırıcının şematik çizimi

Titreşimli Tribo Yükleyici, elektrotların bulunduğu ayırım yapılacak alana hem besleyici hem de yükleyici olarak kullanılan bu makinada hem yükleyici hem besleyici olarak kullanılan düz bir besleyici levha mevcuttur. Bu levhanın yüzeyi yine beslenen malzemeye göre tribo-elektrik seriden seçilen uygun bir malzemeyle kaplanmaktadır. Sürücü motor bu levhanın farklı frekans ve genliklerde titreşim yaparak salınmasına dolayısı ile üzerinde bulunan malzemelerin hem levha yüzeyine hem de birbirlerine sürtünmesine yardımcı olmaktadır [20] [41] [49] [50] [51] [52].

Akışkan yatak tipi tribo yükleyici de beslenen malzeme elek tipi hava dağıtıcı üstünde tutulmakta, hem de havanın yükleyici boyunca homojen yayılmasını sağlamaktadır. Taneler akışkan yapı olarak havada yükselmekte ve hem birbirlerine hem de yükleyici duvarlarına çarpmaları sağlanmaktadır. Yüklenme olayı sağlanmasının ardından malzeme elektrostatik ayırıcıya beslenmektedir [17] [40] [53] [54] [55] [56] [57]. Akışkan yataklı tipi tribo yükleyici'nin şematik çizimi Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Akışkan yatak, Siklon, Statik tribo ve Döner tüp tribo yükleyicilerin şematik çizimi

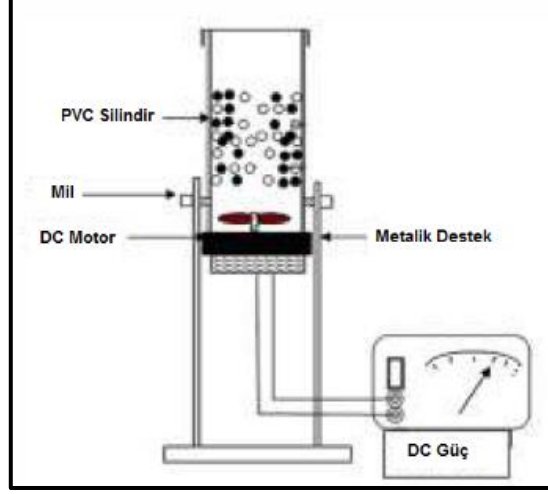
Siklon tipi tribo yükleyici, toz kontrolü sağlamak için kullanılıyor olan bir tribo-yükleyici olarak literatürde yer almaktadır. Malzeme makinenin üstünden siklon içine doğru fan ile beslenmekte olup, siklon iç yüzeyi yine diğer tribo-yükleyiciler gibi tribo-elektrik seriye göre seçilip kaplanabilmektedir. Tane-tane çarpışması ve tane-duvar çarpışması bu makinede de oldukça yüksektir [12] [40] [44] [45] [58] [59]. Siklon tipi tribo yükleyicinin şematik çizimi Şekil 2.11’de gösterilmektedir.

Statik tribo yükleyici ise malzeme x eksenine 60° eğimli yatay yüzeylerden geçerek ilerlemekte ve bir diğer eğimli yatay yüzeye düşmektedir. Malzeme bu makinede sadece yer çekiminden etkilenmekte ve tane-tane, tane-duvar sürtünmesine maruz kalmaktadır [23] [36] [40]. Statik tribo yükleyicinin şematik çizimi Şekil 2.11’de gösterilmektedir.

Döner tüp tribo yükleyici, PVC döner tüpten oluşan bir makine olarak literatürde geçmektedir. 100 cm uzunluğunda, 10 cm çapında olan tüp, dönme hareketi yaparak tane-tane, tane-duvar yüklenmesine neden olmaktadır [21] [31] [32] [33] [34] [40] [44] [60] [61]. Döner tüp tribo yükleyicinin şematik çizimi Şekil 2.11’de gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında tanelerin elektrikle yüklenmesi amacıyla kullanılmış olan düzenek aşağıda belirtilen sisteme benzemektedir.

Pervane tipi tribo yükleyici, küçük bir oda şeklinde olan tribo-yükleyici alet (çap: 100 mm; uzunluk: 350 mm), PVC’den yapılmış olup alt kısmında ortak eksenli pervane bulundurmakta ve DC motor ile döndürülmektedir. İçeride olan malzemeler sarmal

hareketi yapmakta ve bu şekilde tane-tane, tane-duvar ve tane-pervane yüklenmesi olduğu belirtilmektedir [12] [44]. Pervane tipi tribo yükleyicinin şematik çizimi Şekil 2.12'de gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Pervane tipi tribo yükleyicinin şematik çizimi

3. TRİBOELEKTROSTATİK AYIRICI SİSTEMİNİN TASARIMI VE KURULUMU

3.1. Triboelektrostatik Ayırıcı Deney Düzenineğinin Oluşturulması

Tez kapsamında sürtünme ile elde edilen elektriksel yükün bir elektrotta toplanması amacıyla yönelik bir tasarım planlanmıştır. Bu plana göre sürtünme rulolar arasında dönen bir bandın rulolara sürtünmesi ile sağlanmış ve rulo/bant temas noktasında oluşan yük ise temassız bir iletken fırça ile toparlanarak, konvansiyonel bir elektrostatik ayırıcıdakine benzer bir elektrot ünitesinde toplanması planlanmıştır. Planlanan deney düzenineği için öncelikli olarak tasarım gözden geçirilmiş, tasarımı oluşturan bileşenler temin edilmiş ve kurulum işlemleri titizlikle gerçekleştirilmiştir. Kurulumu gerçekleştirilen triboelektrostatik ayırıcı temel olarak 2 bölüme oluşmaktadır. İlk bölüm elektriğin üretileceği kısım, ikinci bölüm ise zenginleştirme işleminin gerçekleşeceği ayırım bölümüdür. İkinci bölüm geleneksel tambur tipi elektrostatik ayırıcıdan esinlenerek tasarlanırsa da ayırım parametrelerinde değişiklikler yapılmasına olanak sağlayabilecek şekilde oluşturulmuştur.

3.2. Sürtünme İle Elektrik Üretim Ünitesi Tasarımı

Bu bölümde çalışma öncesi yapılan araştırmalar sonucunda statik yükün üretiminde kullanılabilecek en basit ve uygulamaya en yakın yöntem olarak bant ve rulo sistemi öngörülmüştür. İki rulo arasında dönen bir bant ruloya temas noktasında triboelektriklenme etkisi yaratmaktadır. Bu da düzenineğin tasarlanmasındaki ana çıkış noktası olmuştur. Triboelektriklenmede kullanılacak olan taşıma bandı ve rulo sistemleri hâlihazırda pek çok tesiste mevcuttur. Bu sayede ekipmanın endüstriye yönelik ileriki uygulamalarında yatırım maliyetinin oldukça düşük olacağı ve uygulanabilirliğini kolaylaştıracağı öngörülmektedir. Uygulamaya yönelik olarak bant konveyörlerin herhangi bir rulusunun istenilen malzeme ile değiştirilmesi (gerek olmayan uygulamalar mevcuttur) ihtiyaç duyulacak potansiyelin üretilmesi için yeterli olacaktır. Bant konveyör benzeri bir makine tasarımı, belirlenen malzemelerin kullanılmasına elverişli ve daha sonra yapılacak uygulamalar için yol gösterici olması sebebiyle tercih edilmiştir. Bu çalışma kapsamında birçok farklı malzemenin denenmesi gerekmektedir. Bu sebeple oluşturulacak düzenineğin parçalarının değiştirilebilir olması tercih edilmiştir. Bu nedenle bir tanesi hızı ayarlanabilen bir

rulo olan iki adet rulo arasında dönen sonsuz bir bant tasarlanmıştır. Bu tasarımda hem bant hem de rulolar rahatlıkla değiştirilerek farklı bant/rulo kombinasyonlarının denenmesi mümkün olmuştur. Üretilen statik yükün topraklanmasını engellemek amacıyla akrilik levha iskelet olarak kullanılmıştır.

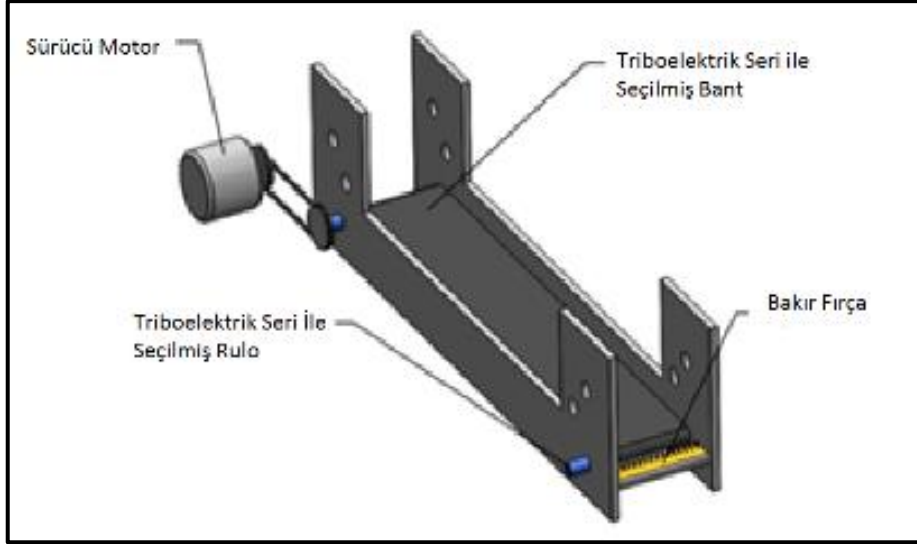
Tez kapsamında elektrik üretimi için kullanılan bant türleri aşağıda verilmiştir;

- Naylon
- Poliüretan (büyük delikli ve küçük delikli dokuma)
- Yün
- Polyester
- Polyester-akrilik
- PVC
- Fiber/naylon
- Fiber

Bunlara ek olarak bant ve rulo kombinasyonlarının oluşturulduğu triboelektrik malzeme serisinden seçilmiş olan rulo tipleri ise aşağıda sıralanmaktadır. Ruloların hepsi sabit uzunlukta olup çapları 2 cm olarak seçilmiştir.

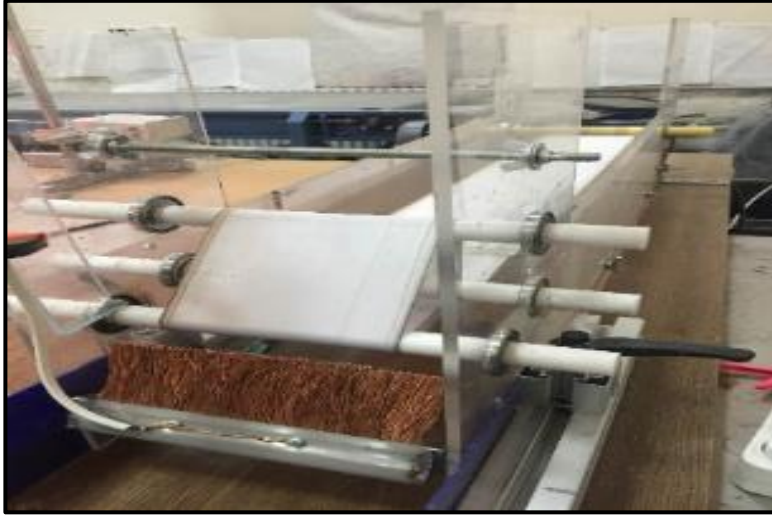
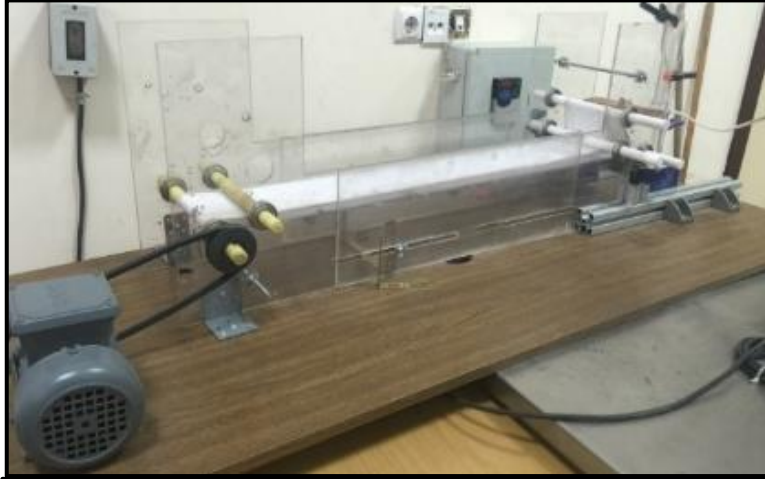
- Teflon
- Kestamid
- Polyemid
- Alüminyum
- Delrin
- Polietilen

Deney düzeneğinin hazırlanma sürecinin bu aşamasında hızı ayarlanabilen sürücü bir motor, kayış ve kasnak yardımıyla rulolardan birine bağlanmış bulunmaktadır. Temas yüzeyini arttırmak için iki tarafta üçer rulo kullanılacak şekilde bir tasarım yapılmıştır. Oluşan elektrik alanı toplamak amacıyla bakır fırçalar(toplaç) kullanılmıştır. Bakır fırçalar iletken bir kablo yardımıyla ayırımın yapıldığı bölümde bulunan elektrotla bağlanarak ayırımın yapılabilmesi için gereken elektriğin elektrotta toplanması sağlanmıştır. Elektrik üretim ünitesinin genel görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir. Şekil üzerinde boş görülen deliklere aynı cinsten rulolar takılarak farklı sayıdaki rulonun da etkisinin incelenmesi mümkün olmuştur.



Şekil 3.1. Elektrik üretim ünitesi şematik çizimi

Bu ünitenin oluşturulması için akrilik dört adet levha çizimde görülen biçimde kesilmiştir ve ruloların geçecekleri delikler açılmıştır. Düzenek bantların gerginliğini sağlayabilmek için birbirine kızak yuvaları ile bağlanacak şekilde eş iki bölüm halinde oluşturulmuştur. Rulolar ve bant gerekli şekilde takıldıktan sonra her iki taraftan çekilerek gerginlik ayarlaması yapılmakta ve daha sonra kızaklarda bulunan kelebek vidalar ile sistem sabitlenmektedir. Ruloların hareketlerinin kolaylıkla sağlanması ve güç kaybı olmaması için deliklerin içine sabit olarak girebilecek şekilde, her bir rulo için uygun rulmanlar yerleştirilmiştir. Her bir rulo düzeneğe uygun şekilde eşit boylarda kesilip, tornalanmıştır. Sistemde kullanılacak bantlar uygun ölçülerde kesilerek sonsuz bant haline getirilmiştir. Oluşturulan sistem istenilen ruloların rulmanları ile birlikte çıkarılıp başka cins rulo takılmasına olanak vermektedir. Aynı durum bantlar için de geçerlidir. Bir veya birden fazla fırça elektrik alanı toplamak için sürtünme yüzeyinin en çok olduğu bölgelere yerleştirilmiştir. Bununla birlikte en iyi yükleme sonucunu alabilmek için fırçaların yerlerinin kolayca değiştirilmesi sağlamıştır. Bu düzeneğin salınım yapmasını engellemek ve elektrik kaybını en aza indirmek için, düzenek tahta bir platforma sabitlenmiştir. Düzenek ayrıca farklı uzunluklarda bantlarda çalışabilmesi için tahta platformun üzerine monte edilmiş olan raylı sistem sayesinde uzatılıp kısaltılabilmektedir. Motor hızı, potansiyometreli bir panel yardımıyla ayarlanabilmektedir. Bu şekildeki hız ayarı farklı hızlarda testler yapılmasına olanak sağlamaktadır. Oluşturulan düzenek Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Elektrik üretim düzeneği

Testlerde farklı rulo tiplerinin etkisini belirlemek amacıyla seçilmiş olan malzemelerden hazırlanmış olan rulolar Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Her bir rulodan 6 adet hazırlanmış ve isteğe bağlı olarak kullanılan sayılar test sırasında değiştirilmiştir.



Şekil 3.3. Düzenekte kullanılan rulolar

Ruloların üzerindeki rulmanlar ruloların rahat dönmesini sağlamak ve noktalardaki sürtünmeyi minimize etmek amacıyla kullanılmıştır.

Yapılan testlerde kullanılan elektrotun ayırım üzerinde etkisini incelemek amacıyla farklı boyut ve cinslerde elektrotlar hazırlanmıştır. Bu elektrotların özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan elektrot ölçüleri ve malzeme cinsleri

Elektrot No	Boy (mm)	En (mm)	Kalınlık (mm)	Yüzey Alanı (cm ²)	Malzeme Cinsi
1	165	177	2	292	Alüminyum
5	140	65	5.8	90	Alüminyum
6	140	65	0.5	90	Alüminyum
7	140	65	2	90	Alüminyum
8	180	100	2	180	Alüminyum
9	165	165	2	272	Bakır

Yukarıda verilen elektrotlar çalışma kapsamında kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Çizelge 3.1'den de görüldüğü gibi aynı boyutlarda/farklı kalınlıklarda, aynı boyutlarda/farklı malzemeden üretilmiş ve çeşitli boyutlarda bakır ve alüminyum elektrotlar hazırlanmıştır.

3.3. Zenginleştirme Ünitesi Tasarımı

Zenginleştirme ünitesi konvansiyonel tamburlu elektrostatik ayırıcıdan esinlenilmiştir. Fakat elektrik üretimindeki değişiklik göz önüne alınarak ünite üzerinde bazı değişiklikler yapılabilmeye imkân sağlayacak biçimde tasarlanmıştır. Zenginleştirme ünitesi, tambur ve elektrotu dış etkilerden korunmasını, elektrik

arklarını minimize edilmesini ve düzgün bir ayırma ortamının sağlanması amacıyla “U” biçiminde akrilik levha üzerine monte edilmiştir. Sistem konvansiyonel tamburlu besleyicilerde olduğu gibi hızı ayarlanabilen iletken bir tambur, titreşimli besleyici ve konumu ve şekli değiştirilebilen bir elektrot ve bölücü bıçak ile ürün toplama tavalardan oluşmaktadır. Ayrıca sisteme farklı çaplarda tambur takılması da mümkündür. Tambur alüminyumdan üretilmiş olup, bağlandığı ana shaft vasıtası ile topraklanmaktadır. Tambur dönüş hızı motor kontrol sistemi ile ayarlanabilmektedir. Kullanılan sistem farklı cins ve boylarda elektrotların kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Tambur elektrot arasındaki mesafe değiştirilebilmektedir. Titreşimli besleyici ise titreşim özelliği ile malzemeleri düzenli bir şekilde, istenilen hızda beslemeyi sağlamaktadır. Her ne kadar zenginleştirme öncesinde numuneler kurutulsa da konvansiyonel ayırıcılarda olduğu gibi ortam neminin elektrostatik zenginleştirme işlemini engellememesi için düzeneğin üzerine infrared (kızılötesi) lambalar monte edilmiştir. İnfrared lambalar ortama ısı vererek ortam nemini ve besleyici üzerinde bulunan malzemenin nemini uzaklaştırmayı sağlamaktadır. Ürün zenginleştirme ünitesi görüntüleri Şekil 3.4’da verilmiştir.



Şekil 3.4. Ürün zenginleştirme düzeneği görüntüsü

4. STATİK YÜKÜN ÜRETİLMESİ VE ELEKTROT ÜZERİNDE TOPLANMASI TESTLERİ

Deney düzeneği hazırlandıktan sonra, rulolar arasında bandın döndürülmesi sonucunda, bant/rulo temas noktasında oluşan yük bir iletken kablo ile dikdörtgen bir plaka şeklinde olan elektrot üzerinde biriktirilmiştir. Oluşan statik yükün işaretinin ve miktarının ölçülmesi amacıyla Pulselectronic SF 156 serisi statik metre kullanılmıştır. Bu cihaz yükün olduğu yüzeye temas etmeden belirli bir mesafeden yüzey üzerindeki yükün işaretini ve miktarını ölçebilmektedir. Ölçüm sırasında cihaz ile ölçüm yapılan yüzey arasındaki mesafe etkili olduğundan ölçümler sabit mesafelerde yapılmaktadır. Kullanılan ölçüm cihazının teknik özellikleri ve görüntüsü Çizelge 4.1'de ve görüntüsü verilmiştir.

Çizelge 4.1. SF 156 serisi statik metre teknik özellikleri ve görüntüsü

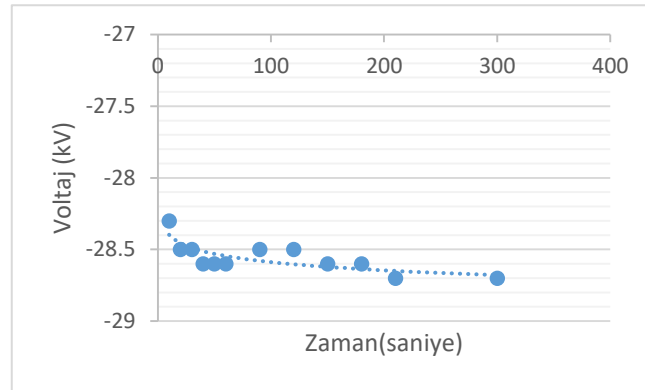
	
Teknik Özellikler	
Boyutlar	150 x 66 x 32 mm
Çözünürlük	100 Volt.
Drift	1%'den az
Göstergeler	3 1/2 Dijit, LCD Gösterge, Düşük Pil Göstergesi
Güç	Değiştirilebilir Pil 9 volt alkaline
Ölçme Aralığı	0-160 kV
Doğruluk Sınıfı	+/-5% den daha iyi

Elektrik üretim çalışmalarında farklı cins rulo ve bantlar ile testler yapılmadan önce ön çalışma olarak elektrotta iletilen elektriğin elektrotu ne kadar sürede yüklediği ve zamana bağlı olarak değişiminin incelenmesi istenmiştir. Bu kapsamda naylon bant

ile teflon rulo kullanılarak belirli zaman aralıklarında ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler aşağıdaki Çizelge 4.2'de ve Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Naylon bant ile teflon rulo kullanılarak belirli zaman aralıklarında yapılan ölçümler

Süre(Sn.)	kV
10	-28.3
20	-28.5
30	-28.5
40	-28.6
50	-28.6
60	-28.6
90	-28.5
120	-28.5
150	-28.6
180	-28.6
210	-28.7
300	-28.7



Şekil 4.1. Naylon bant ile teflon rulo kullanılarak belirli zaman aralıklarında yapılan ölçümler

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi çok büyük bir fark olmamasıyla birlikte ilk saniyelerde gerilimin daha düşük olduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile sistemin çalışması ile elektrot üzerindeki yük oldukça hızlı bir şekilde sabit bir denge seviyesine ulaşmakta ve dışarıdan bir temas olmadığı sürece de sabit kalmaktadır. Bu sebeple ölçüm alma öncesinde 60 saniye yüklenme süresi tanınmasına karar verilmiştir.

Elektrik üretimi ile ilgili test çalışmaları sırasında bazı parametreler sabit tutulmuştur. Testler süresince sabit tutulan koşullar aşağıdaki Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Elektrik üretimi testleri koşulları

Rulo Sayısı	3
Elektrot (en x boy x kalınlık, mm)	7'nolu elektrot (140x65x2), alüminyum
Yüklenme Süresi	1 dk.
Fırça Sayısı, fırça genişliği (cm)	1, 19

Yukarıda verilen koşullar sabit tutulup, elektrot ve ölçüm cihazı arasındaki mesafe 5, 10, 15 cm olacak şekilde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Panel hız butonu ölçeği ile sürücü rulonun dakikada attığı tur sayısı ve metre/saniye cinsinden hızlarının karşılığı Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Panel hızı, dev/dk. ve metre/saniye karşılıkları

Panel Ölçeği	Devir / dk.	m/s
10	620	0.62
20	1242	1.23
30	1696	1.69
40	2644	2.63
50	3180	3.16
60	3700	3.68

Bu ölçümler sırasında farklı rulo ve bant kombinasyonları sınanmış ve elektrot üzerinde yük ölçümleri yapılmıştır. Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da farklı kombinasyonlar için elde edilen yük ölçüm değerleri sunulmaktadır.

Teflon rulo - geniş delikli poliüretan bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	-8.0	-7.4	-6.2
20	-20.0	-10.3	-6.4
30	-20.2	-10.7	-6.5
40	-20.5	-10.9	-6.7
50	-20.7	-11.0	-6.7
60	-21.0	-11.2	-6.7

Teflon rulo - yün bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	-21.3	-10.4	-5.9
20	-21.9	-10.4	-6.0
30	-22.3	-10.6	-6.1
40	-22.9	-11.3	-6.7
50	-23.4	-12.0	-6.8
60	-23.4	-12.0	-7.1

Teflon rulo - dar delikli poliüretan bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	-21.8	-10.9	-2.5
20	-22.3	-11.3	-7.3
30	-22.6	-11.5	-7.4
40	-22.7	-11.7	-7.4
50	-23.2	-12.2	-7.6
60	-23.6	-12.2	-7.7

Teflon rulo - polyester bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	-	-	-
20	-22.7	-12.7	-7.5
30	-23.2	-12.9	-7.6
40	-23.4	-13.0	-7.7
50	-23.4	-13.5	-7.8
60	-23.9	-13.9	-8.0

Teflon rulo - polyester/akrilik bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	-	-	-
20	-15.2	-9.8	-6.2
30	-17.4	-10.2	-
40	-18.1	-10.4	-
50	-18.5	-10.6	-
60	-19.4	-11.0	-

Teflon rulo - PVC bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	-21.3	-14.7
20	-24.9	-15.2
30	-27.2	-15.0
40	-26.8	-15.2
50	-26.2	-15.3
60	-27.7	-

Teflon rulo - naylon bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	-19.2	-10.2	-6.0
20	-20.0	-10.4	-6.1
30	-25.2	-10.5	-6.2
40	-25.9	-10.7	-6.3
50	-27.0	-10.9	-6.4
60	-27.7	-11.0	-6.5

Teflon rulo - naylon/fiber karışımı (delikli) bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	-16.1	-4.7
20	-23.5	-7.3
30	-24.2	-9.1
40	-24.4	-9.4
50	-24.9	-12.9
60	-24.7	-12.9

Teflon rulo - naylon şeffaf bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	0	0
20	-1.0	-0.6
30	-4.5	-2.1
40	-17.5	-11.6
50	-23.0	-14.0
60	-25.6	-14.8

Teflon rulo - fiber bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	-25.9	-13.3
20	-26.4	-13.5
30	-26.3	-14.0
40	-26.3	-14.1
50	-26.5	-13.8
60	-26.1	-14.4

Kestamid rulo - geniş delikli poliüretan bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	-0.8	0.0	-0.3
20	0.0	0.6	-0.3
30	11.9	9.4	4.4
40	28.5	13.5	9.6
50	30.2	15.5	10.3
60	30.3	15.9	10.0

Kestamid rulo - yün bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	-7.0	-3.4	-1.8
20	-17.9	-10.3	-6.3
30	-17.8	-9.7	-6.0
40	24.9	13.5	8.2
50	25.8	14.3	8.8
60	27.2	14.6	8.8

Şekil 4.2. Farklı rulo ve bantlar için elde edilen yük ölçüm değerleri (1)

Kestamid rulo - dar delikli poliüretan bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	22.8	11.1	7.6
20	22.6	12.2	7.3
30	23.4	11.8	7.7
40	25.0	12.9	8.5
50	27.7	13.6	9.6
60	28.0	14.0	10.3

Kestamid rulo - polyester bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	-	-	-
20	24.9	14.5	8.0
30	25.9	14.1	8.2
40	26.5	14.2	8.6
50	26.4	14.2	8.6
60	26.7	14.5	8.6

Kestamid rulo - polyester/akrilik bant ve ölçülen değerler



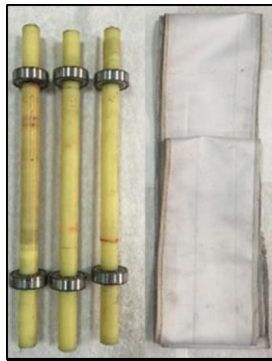
Panel Hızı	Kv		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	-	16.1	9.8
20	-	16.1	10.8
30	30.4	16.2	10.8
40	32.4	16.7	11.0
50	33.0	16.8	10.9
60	33.0	17.2	11.1

Kestamid rulo - PVC bant ve ölçülen değerler



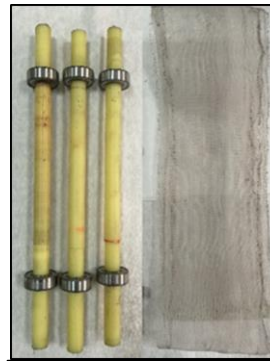
Panel Hızı	Kv		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	30.0	13.5	9.6
20	31.7	15.8	10.2
30	31.7	16.5	-
40	31.6	-	-
50	31.7	-	-
60	-	-	-

Kestamid rulo - naylon bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	33.8	15.6	10.8
20	34.6	16.6	10.9
30	34.8	17.5	11.3
40	35.2	18.0	11.7
50	34.8	18.7	11.8
60	35.0	19.0	-

Kestamid rulo - naylon/fiber karışımı (delikli) bant ve ölçülen değerler



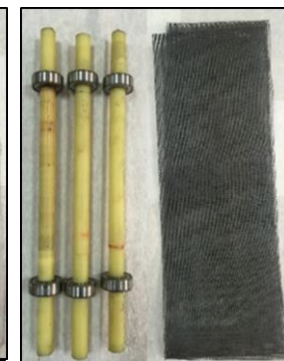
Panel Hızı	Kv	
	5 cm	10 cm
10	-17.0	-0.8
20	-19.0	3.3
30	0.0	13.9
40	27.0	14.7
50	27.6	14.7
60	28.2	14.7

Kestamid rulo - naylon şeffaf bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv	
	5 cm	10 cm
10	30.0	-0.3
20	30.0	1.7
30	32.6	18.1
40	31.5	19.3
50	30.6	19.9
60	-	19.6

Kestamid rulo - fiber bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv
	5 cm
10	27.7
20	32.5
30	32.0
40	32.9
50	33.1
60	34.0

Alüminyum rulo - geniş delikli poliüretan bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	0.1	0	0
20	0	0	0
30	0	0.3	0
40	0	0	0
50	0	0	-0.1
60	0	-0.1	-0.1

Alüminyum rulo - yün bant ve ölçülen değerler



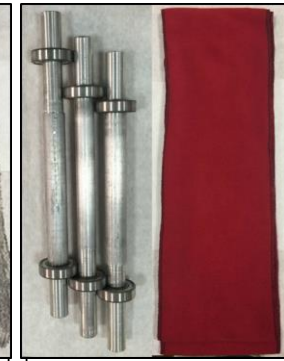
Panel Hızı	Kv		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	-19.5	-7.4	-4.2
20	-19.5	-9.9	-4.9
30	-19.7	-10	-3.9
40	-19.9	-10.2	-1.8
50	-19.9	-10.1	-0.1
60	-20.0	-	0.01

Alüminyum rulo - dar delikli poliüretan bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	0	0	0
20	0	0.3	0
30	0.9	0.4	0.4
40	11.0	7.6	7.1
50	23.2	12.7	7.7
60	23.2	12.9	7.4

Alüminyum rulo - polyester bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kv	
	5 cm	10 cm
10	23.3	9.0
20	29.8	14.9
30	29.4	17.7
40	29.4	17.8
50	29.4	17.5
60	29.5	12.7

Şekil 4.3. Farklı rulo ve bantlar için elde edilen yük ölçüm değerleri (2)

Alüminyum rulo – polyester/akrilik bant ve ölçülen değerler



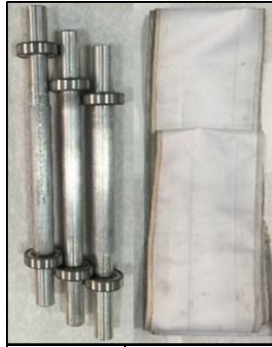
Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	28.3	17.6
20	29.7	17.4
30	30.0	17.9
40	30.1	17.8
50	30.2	18.6
60	30.0	19.0

Alüminyum rulo - PVC bant ve ölçülen değerler



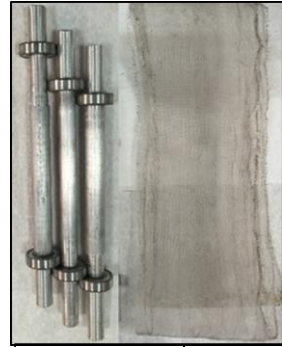
Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	22.3	16.8
20	27.2	17.0
30	29.6	16.4
40	29.9	16.6
50	29.6	16.5
60	29.8	17.0

Alüminyum rulo - naylon bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	29.8	17.6
20	29.9	17.4
30	31.1	18
40	31	17.8
50	31.6	18.1
60	32	18.2

Alüminyum rulo - naylon/fiber (delikli) bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv	
	5 cm	
10	0	
20	-0.3	
30	0	
40	0	
50	-0.3	
60	0.3	

Alüminyum rulo - naylon şeffaf bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	4.6	1.4
20	11.7	14.4
30	29.6	17.3
40	31.5	17.0
50	31.9	17.0
60	31.4	17.3

Alüminyum rulo - fiber bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv	
	5 cm	
10	0	
20	-0.4	
30	0.2	
40	0.1	
50	0	
60	5.0	

Delrin rulo - geniş delikli poliüretan bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv	
	10 cm	
10	0	
20	-0.2	
30	-0.2	
40	-0.4	
50	-1.5	
60	-0.4	

Delrin rulo - yün bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	-23.4	-14.5
20	-26.8	-15.5
30	-27.3	-14.9
40	-27.7	-15.5
50	-28.4	-16.0
60	-28.6	-16.0

Delrin rulo - dar delikli poliüretan bant ve ölçülen değerler



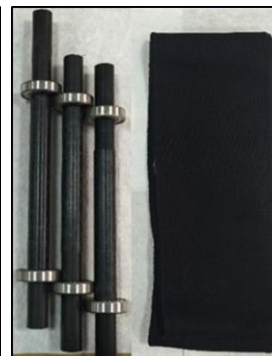
Panel Hızı	Kv	
	5 cm	
10	0.8	
20	-0.6	
30	-1.3	
40	1.4	
50	2.0	

Delrin rulo - polyester bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
20	-5.2	-4.3
30	-6.8	-7.4
40	-6.5	-9.3
50	-6.0	-8.0
60	-12.2	-8.3

Delrin rulo - polyester/akrilik bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv	
	5 cm	
10	1.8	
20	3.5	
30	-0.5	
40	-1.6	
50	-6.5	
60	-8.0	

Delrin rulo - PVC bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	-0.4	-0.4
20	-3.7	-6.2
30	-12.5	-14.8
40	-22.0	-15.8
50	-24.2	-15.1
60	-15.9	-15.4

Şekil 4.4. Farklı rulo ve bantlar için elde edilen yük ölçüm değerleri (3)

Delrin rulo - naylon bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	0	0
20	0	0
30	0	0
40	0	0
50	0	0
60	0	0

Delrin rulo - naylon/fiber karışımı (delikli) bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	-4.9	-0.2
20	-12.8	-4.4
30	-22.3	-11.9
40	-28.0	-15.9
50	-27.0	-16.4
60	-25.0	-16.0

Delrin rulo - naylon şeffaf bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv	
	5 cm	
10	-8.0	
20	-14.5	
30	-3.3	
40	-1.2	
50	1.2	
60	2.0	

Delrin rulo - fiber bant ve ölçülen değerler



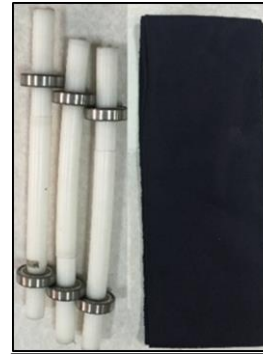
Panel Hızı	Kv	
	10 cm	
10	0	
20	0	
30	-3.3	
40	-4.9	
50	-9.6	
60	-9.6	

Poliyetilen rulo - geniş delikli poliüretan bant - ölçülen değerler



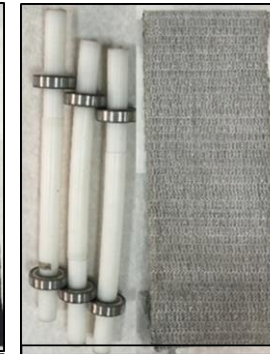
Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	4.8	8.5
20	18.3	16.5
30	31.2	17.1
40	32.3	18.6
50	32.0	17.8

Poliyetilen rulo - yün bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	-16.0	-9.7	-6.0
20	-16.7	-9.9	-6.2
30	-16.9	-10.2	-6.4
40	-17.9	-10.7	-7.3
50	-18.2	-11.5	-8.5

Poliyetilen rulo - dar delikli poliüretan bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	1.3	3.0
20	3.6	7.7
30	11.9	15.0
50	28.5	15.9
60	28.6	16.0

Poliyetilen rulo - polyester bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	-23.5	-13.0
20	-22.8	-14.0
30	-24.8	-14.3
40	-25.6	-14.1
50	-26.3	-14.4
60		-14.6

Poliyetilen rulo - polyester/akrilik bant ve ölçülen değerler



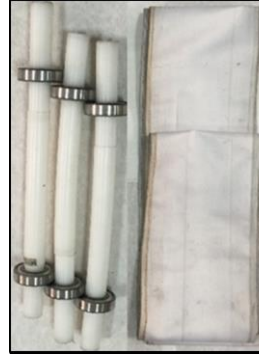
Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	-8.6	-3.5
20	-10.5	-5.6
30	-10.0	-4.2
40	-3.0	-8.8
50	-5.0	-5.3
60	-2.0	

Poliyetilen rulo - PVC bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	-23.5	-9.6
20	-22.6	-8.5
30	-23.0	-12.1
40	-25.0	-12.7
50	-25.7	-13.4
60	-26.2	-13.5

Poliyetilen rulo - naylon bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	-25.7	-12.4
20	-26.0	-15.4
30	-27.1	-15.0
40	-27.2	-14.8
50	-27.8	-14.9
60	-28.0	-

Poliyetilen rulo - naylon/fiber karışımı (delikli) bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv	
	5 cm	
10	-0.1	
20	0.5	
30	0.8	
40	-0.1	
50	0.5	
60	0.8	

Şekil 4.5. Farklı rulo ve bantlar için elde edilen yük ölçüm değerleri (4)

Poliyeten rulo - naylon şeffaf bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	0.5	0.7
20	3.1	1.6
30	0	0
40	0	0.7

Poliyeten rulo - fiber bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	Kv	
	5 cm	
10	-25	
20	-26.5	
30	-26.4	
40	-26.7	

Polyamid rulo - geniş delikli poliüretan bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	0	4.7
20	24.0	13.4
30	30.4	17.9
40	31.9	18.1
50	32.3	18.0
60	32.2	18.1

Polyamid rulo - yün bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	-25.6	-12.6
20	-26.1	-12.9
30	-28.0	-14.5
40	-26.4	-14.4
50	-26.0	-14.0
60	-26.0	-13.8

Polyamid rulo - dar delikli poliüretan bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV		
	5 cm	10 cm	15 cm
10	7.9	11.8	7.0
20	21.6	12.4	7.4
30	22.6	13.1	7.8
40	23.9	13.7	8.0
50	24.9	14.0	8.2
60	25.5	14.2	8.4

Polyamid rulo - polyester bant ve ölçülen değerler



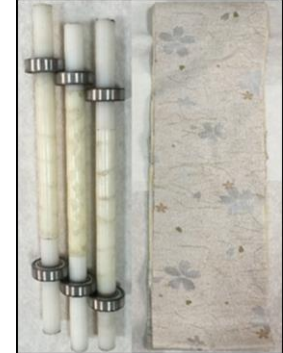
Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
20	30.8	17.5
30	31.2	17.8
40	31.6	17.9
50	31.6	17.9
60	31.6	18.1

Polyamid rulo - polyester - akrilik bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	31.9	17.7
20	32.6	18.2
30	33.3	18.5
40	33.3	18.7
50	33.7	18.8
60	33.5	18.9

Polyamid rulo - PVC bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	32.5	18.2
20	33.5	18.9
30	33.7	19.2
40	33.6	19.2
50	32.9	18.9
60	33.3	18.8

Polyamid rulo - naylon bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	30.9	17.4
20	31.7	18.2
30	32.6	18.7
40	33.8	18.5
50	33.9	18.8
60	34.3	18.9

Polyamid rulo - naylon/fiber karışımı bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	5.7	6.1
20	23.6	13.5
30	30.4	17.8
40	30.5	18.0
50	30.7	17.4
60	30.4	17.6

Polyamid rulo - naylon şeffaf bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	4.1	-0.3
20	15.3	9.5
30	29.8	17.2
40	30.3	17.4
50	30.6	18.2
60	32.1	18.8

Polyamid rulo - fiber bant ve ölçülen değerler



Panel Hızı	kV	
	5 cm	10 cm
10	31.2	17.6
20	31.5	17.9
30	31.8	18.2
40	32.4	18.7
50	32.8	18.8
60	32.7	18.9

Şekil 4.6. Farklı rulo ve bantlar için elde edilen yük ölçüm değerleri (5)

Bu çizelgede kullanılan bantlara numara verilmiş ve numaralandırma bilgisi Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Bant numaralandırma bilgisi

Bant No	Bant Tipi
1	Poliüretan 1 (geniş delikli)
2	Yün
3	Poliüretan 2 (dar delikli)
4	Polyester
5	Polyester/akrilik karışımı
6	PVC
7	Naylon
8	Naylon/fiber karışımı (delikli)
9	Şeffaf naylon
10	Fiber

Çizelge 4.6. Farklı bant ve rulo kombinasyonlarında 5 cm mesafeden ölçülen maksimum elektrot yükleri karşılaştırması

Bant tipi → Rulo tipi ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Teflon	-21	-23.4	-23.6	-23.9	-19.4	-27.7	-27.7	-24.9	-25.6	-26.5
Kestamid	30.3	27.2	28.0	26.7	33.0	31.7	35.0	28.2	31.5	34.0
Aluminyum	0.1	-20.0	23.2	29.5	30.0	29.8	32.0	0.3	31.9	5.0
Delrin	-	-28.6	2.0	-12.2	-8.0	-24.2	-	-28.0	2.0	-
Ploietilen	32.3	-18.2	28.6	-26.3	-10.5	-26.2	-28.0	0.8	3.1	-26.7
Poliamid	32.2	-28.0	25.5	31.6	33.7	33.3	34.3	30.7	32.1	32.7

Farklı rulo ve bant kombinasyonları ile statik yük üretim çalışmaları kapsamında 10 santimetre mesafeden, ölçülen maksimum değerler Çizelge 4.7’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.7. Farklı bant ve rulo kombinasyonlarında 10 cm mesafeden ölçülen maksimum elektrot yükleri karşılaştırması

Bant tipi → Rulo tipi ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Teflon	-11.2	-12	-12.2	-13.9	-11	-15.3	-11.0	-12.9	-14.8	-14.4
Kestamid	15.9	14.6	14	14.5	17.2	16.5	19.0	14.7	19.9	-
Aluminyum	0.1	-10.2	12.9	17.8	19.0	17.0	18.2	-	17.3	-
Delrin	-1.5	-16.0	-	-9.3	-	-15.8	0	-16.4	-	-9.6
Ploietilen	18.6	-11.5	16	-14.6	-8.8	-13.5	-15.4	-	1.6	-
Poliamid	18.1	-14.5	14.2	18.1	18.9	19.2	18.9	18.0	18.8	18.9

Yapılan ölçümler genel olarak değerlendirildiğinde farklı bant ve rulo kombinasyonlarında yaklaşık olarak -29.0 kV ile +33.0 kV arasında potansiyellere

ulaşılabileceği belirlenmiştir. Ölçümlerin yapıldığı mesafe uzadıkça da ölçülen değer azaldığı belirlenmiş olmasına rağmen elektrot yüzeyinde 10 santimetre'ye kadar olan mesafede dahi oldukça yüksek potansiyelin ölçülebildiğini söylemek mümkündür.

Elde edilen ölçümlerde en önemli sonuçlardan birisi ise hem negatif hem de pozitif yükün üretilmesi ve bunların on binlerce kV değerlerinde olmasıdır.

Yukarıdaki farklı bant ve rulo kombinasyonlarında yapılan ölçümlerde toplaç olarak 1 adet fırça kullanılmıştır. Sürtünme yüzeyi etrafında oluşan potansiyel farktan daha çok yararlanmak amacıyla sürtünme yüzeyi çevresine 2 ve 3 adet fırça konularak elektrot üzerinde tekrar ölçüm testleri yapılmıştır. Burada teflon rulo ve poliüretan bant kombinasyonu kullanılmıştır. Bu sonuçlar Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. 1, 2 ve 3 adet fırça ile 10 cm mesafeden yapılan ölçümler

Panel Hızı	kV		
	1 Fırça (19 cm)	2 Fırça (38 cm)	3 Fırça (57 cm)
10	-10.2	-11.6	-12.5
30	-10.5	-12.9	-13.7
60	-11.0	-14.4	-14.2

Yukarıda verilen sonuçlar fırça sayısı artırıldığında gerilimin arttığını göstermektedir. Özellikle elektrot yüzeyine toplanan potansiyelin belirli bir değerden sonra artırılması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle fırça sayısı artırılarak toplaç görevi yapan toplam fırça uzunluğu artışına bağlı olarak ilk başlarda potansiyelde hızlı bir artış olsa da daha sonra bu artışın miktarı düşmüştür. Bütün bu ölçüm değerleri genel olarak bir elektrostatik ayırıcıda belirli özelliklere sahip tanelerin ayrılması için yeterli olan potansiyel değerini işaret etmektedir.

Farklı elektrotlar üzerinde çalışmalar ve ölçümler yapılmıştır. Elektrotların özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Elektrotlar ile yapılan ölçümler 10 cm uzaklıktan yapılmış, teflon rulo ve naylon bant kullanılmıştır. Ölçülen değerler Çizelge 4.9'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Farklı özelliklere sahip elektrotlar ile yapılan ölçüm sonuçları

Rulo Hızı		1. Elektrot	5. Elektrot	6. Elektrot	7. Elektrot	8. Elektrot	9. Elektrot
Panel Hızı	m/s	kV					
10	0.62	-13.3	-11.0	-8.7	-9.8	-11.9	-13.6
30	1.69	-14.3	-11.8	-10	-10.9	-13.4	-14.4
60	3.68	-15.3	-12.5	-10.6	-11.4	-14.0	-15.4

5, 6 ve 7 numaralı elektrotlar karşılaştırıldığında aynı yüzey alanlarına sahip fakat farklı kalınlıkta olan elektrotlar olarak sınıflanabilirler. Ölçülen değerler elektrot kalınlığı ile elektrot üzerinde elektrik yükünün doğru orantılı olduğunu göstermektedir. 1, 7 ve 8 numaralı elektrotlar aynı kalınlıklarda fakat farklı yüzey alanlarına sahiptir. Ölçülen değerler elektrot yüzey alanı ile elektrot üzerinde elektrik yükünün doğru orantılı olduğunu göstermektedir. 1 ve 9 numaralı elektrotlar yaklaşık yüzey alanlarına ve aynı kalınlıklara sahiptir fakat 1. elektrot alüminyum malzemedendir yapılmıştır, 9. elektrot ise bakır malzemedendir yapılmıştır. Bakırın elektrik direnci 20°C'de 16.78 nΩ·m iken alüminyumun elektrik direnci 20°C'de 26.50 nΩ·m olarak bilinmektedir. Elektrik dirençlerinden anlaşıldığı üzere bakır alüminyuma göre daha iletken bir malzemedir. Ölçülen değerler bakır elektrotun yüzey alanının (272 cm²) alüminyum elektrotun yüzey alanından daha küçük (292 cm²) olmasına karşın bakır elektrotun sahip olduğu elektrik yükünün daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca elektrot yüzeyinde son derece hızlı bir şekilde sabit potansiyel değerine ulaşılması, yüzeyden herhangi bir nedenle ark olarak potansiyelin boşalması sonucu ortaya çıkacak performans bozukluklarının minimum düzeyde kalmasına olanak sağlamaktadır.

5. TRİBOELEKTROSTATİK AYIRICININ TASARIM PARAMETRELERİNİN MİNERAL AYIRMADA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmanın amaçları deney düzeneğinin geliştirilmesi ve geliştirilen deney düzeneği üzerinde ayırım parametrelerinin etkisinin ortaya konmasıdır. Öncelikle deney düzeneği tasarlanmış ve laboratuvarında kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kurulan düzenek istenilen statik yük oluşumunu sağlamıştır ve düzenek üzerinde ayırım çalışmalarına geçilmiştir. Ayırım çalışmalarında öncelikle yapay karışımlar kullanılmıştır. Yapay karışım numunelerinin kullanılmasının öncelikli sebebi ayırım performansını etkileyebilecek cevher etkisinin ortadan kaldırılmasının istenmesidir. Olabildiğince serbest manyetit ve kuvars taneleri kullanılmıştır. Bu şekilde başarılı ayırım yapılabileceğinin ortaya konmasının takibinde farklı cevherler ile de ayırım testleri gerçekleştirilmiştir.

Deney düzeneğinin tamamlanmasını takip eden süreçte yapılan deneysel çalışmalar 4 ana grupta yürütülmüştür. Bunlar;

1. Test numunelerinin hazırlanması.
2. Yapay olarak karıştırılmış numuneler ile yapılan ayırma testleri.
3. Numune değişkenliğinin ayırım üzerindeki etkilerin incelenmesi
4. Mineraller ve kömürler ile yapılan zenginleştirme testleri.

5.1. Numune Hazırlama

5.1.1. Yapay Karışım Numunelerinin Hazırlanması

Farklı parametrelerin etkisinin gözlenmesi için aynı karakterde numunelerin kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan manyetit ve kuvars numuneleri kullanılmıştır. Manyetit ve Kuvars ilk olarak 425 µm tane boyutunun altına kırılmıştır. Daha sonra bu malzemeler 425, 212,106 ve 75 µm elek açıklığına sahip eleklerde elenerek sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucunda -425+212, -212+106, -106+75 µm tane boyut fraksiyonlarında manyetit ve kuvars elde edilmiştir. Testlerde kullanılmak üzere %50, %25, %10, %5 manyetit içeriğine sahip manyetit kuvars karışımları

hazırlanmıştır. Bu numuneler test öncesinde konileme dörtleme yöntemi ile bölünerek testlere tabi tutulmuştur.

5.1.2. Cevher Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışma kapsamında, ülkemizdeki farklı ocaklardan temin edilen metalik cevherler, endüstriyel mineraller ve kömür numuneleri uygun boyutlarda hazırlanmış ve deneylerde kullanılmıştır. Bu amaçla farklı bölgelerden kömür, demir, alünit, bakır, bor, altın, feldspat ve kromit numuneleri temin edilmiş ve elektrostatik ayırma yöntemine uygun şekilde hazırlanmıştır. Numunelerin genel özellikleri ve hazırlanma yöntemleri Çizelge 5.1’de verilmektedir.

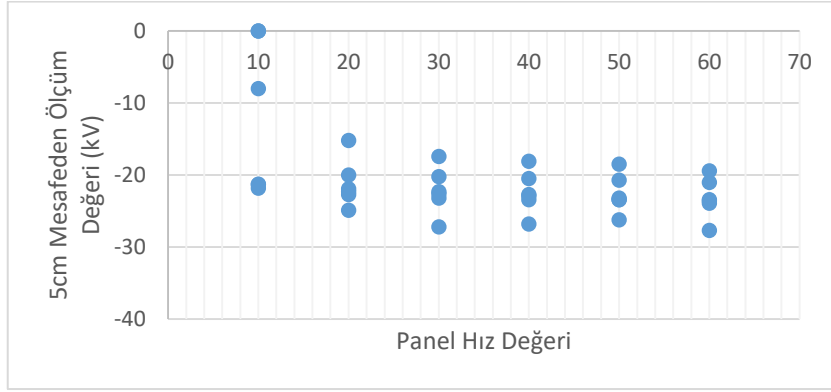
Çizelge 5.1. Tez kapsamında kullanılan numunelere ilişkin numune kaynakları ve hazırlama yöntemleri, tane boyları ve besleme içerikleri

Numune	Kaynağı	Testlerde Kullanılan Tane Boyları μm	Numune hazırlama yöntemi
Manyetit	Sivas	-425+212, -212+106, -106+75	Manyetit zenginleştirme tesisinden test yapmak için uygun taneler seçilerek alınan numuneler kırılarak –425 μm tane boyuna indirilmiş ve elenerek -425+212, -212+106, -106+75 μm tane boyu fraksiyonları elde edilmiştir.
Kuvars	Aydın	-425+212, -212+106, -106+75	Kuvars zenginleştirme tesisinden test yapmak için uygun taneler seçilerek alınan numuneler kırılarak – 425 μm tane boyuna indirilmiş ve elenerek 3 farklı tane boyut fraksiyonu elde edilmiştir.
Bor	Bigadiç	-425+212	Bor zenginleştirme tesisinden test yapmak için uygun taneler seçilerek alınan numuneler kırılarak –425 μm tane boyuna indirilmiş ve elenerek -425+212 μm tane boyu fraksiyonu elde edilmiştir.
Alünit	Kütahya	-425+212	Alünit cevheri konileme dörtleme yöntemi ile temsili alınan numuneler kırılarak –425 μm tane boyuna indirilmiş ve elenerek -425+212 μm tane boyu fraksiyonu elde edilmiştir.
Feldspat	Aydın	-425+212	Flotasyon konsantresi yığınınından alınan temsili ürün ve elenerek - 425+212 μm tane boyu fraksiyonu elde edilmiştir.
Bakır		-425+212	Bakır cevheri konileme dörtleme yöntemi ile temsili alınan numuneler kırılarak –425 μm tane boyuna indirilmiş ve elenerek -425+212 μm tane boyu fraksiyonu elde edilmiştir.
Altın		-425+212	Altın cevheri konileme dörtleme yöntemi ile temsili alınan numuneler kırılarak –425 μm tane boyuna indirilmiş ve elenerek -425+212 μm tane boyu fraksiyonu elde edilmiştir.
Demir cevheri	Purunsur	-425+212	Düşük alan şiddetli manyetik ayırma atığı olan demir cevheri tesisteki atık yığınınından temin edilmiştir. Numune kırılarak – 425 μm tane boyuna indirilmiş ve elenerek -425+212 μm tane boyu fraksiyonu elde edilmiştir.
Kromit		-425+212	Kromit cevheri konileme dörtleme yöntemi ile temsili alınan numuneler kırılarak –425 μm tane boyuna indirilmiş ve elenerek -425+212 μm tane boyu fraksiyonu elde edilmiştir.
Kömür	Tunçbilek	-425+212	Tunçbilek’te halen çalışmakta olan kömür yıkama tesisi beslemesinden alınan yığına konileme dörtleme yöntemi ile temsili alınan numuneler kırılarak –425 μm tane boyuna indirilmiş ve elenerek -425+212 μm tane boyu fraksiyonu elde edilmiştir.
Kömür	Soma	-425+212	Konileme dörtleme yöntemi ile temsili alınan numuneler kırılarak –425 μm tane boyuna indirilmiş ve elenerek -425+212 μm tane boyu fraksiyonu elde edilmiştir.
Kömür	Ömerler	-425+212	Kömür yıkama tesisi beslemesinden alınan yığına konileme dörtleme yöntemi ile temsili alınan numuneler kırılarak –425 μm tane boyuna indirilmiş ve elenerek -425+212 μm tane boyu fraksiyonu elde edilmiştir.
Kömür	Dereköy	425+212	Kömür yıkama tesisi beslemesinden alınan yığına konileme dörtleme yöntemi ile temsili alınan numuneler kırılarak – 425 μm tane boyuna indirilmiş ve elenerek -425+212 μm tane boyu fraksiyonu elde edilmiştir.

5.2. Yapay Olarak Hazırlanmış Numuneler İle Yapılan Ayırma Testleri

İhtiyaç duyulan elektrik potansiyelinin yaratılabileceğinin belirlenmesi öncelikle yapay mineral karışımları hazırlanmış ve bu karışımlar ile yapılan testler sayesinde işlem değişkenlerinin ayırım performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Dönüş hızı ile ölçülen potansiyel arasındaki ilişki incelendiğinde belirli bir dönüş hızından sonra ölçülen potansiyelin görece sabit kaldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca belirli bir rulo dönüş hızının üzerine çıkıldığında (Panel Hız 50, 3000-3200 dev/dak) sistemde oluşan titremeler nedeniyle ortaya çıkan teknik problemleri ortadan kaldırmak amacıyla panel hız değeri 35 olarak seçilmiştir. Farklı koşullarda yapılmış potansiyel ölçüm değeri de 35 panel hız değerinin üzerinde görece sabit kalmaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Dönüş hızı ile elektrot yüzeyine 5 cm mesafeden ölçülmüş yüzey yükü değerleri

Seçilmiş olan manyetit ve kuvarsın konvansiyonel elektrostatik ayırıcılarda da başarı ile ayrılabilceği gözlemlenmiş ve bu nedenle bu iki mineral yapay besleme numunesi hazırlamak amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca manyetit kuvars karışımlarından oluşan beslemelerden elde edilen ürün ve atıkların da hızlı bir şekilde analiz edilmesi mümkündür.

Yapay karışımlar kullanılarak gerçekleştirilen ayırım çalışmaları aşağıda özetlenmektedir:

1. Farklı besleme hızlarında testler yapılmıştır. Bu aşamada ekipmanın kapasitesi ve ayırımın besleme hızının ne şekilde ilişkilendirilebileceği incelenmiştir.

2. Bölücü bıçağın konumu değiştirilerek testler yapılmıştır. Bu aşamada bölücü bıçağın konumunun verim ve tenöre olan etkisi incelenmiştir.
3. Döner tambur hızı değiştirilerek testler yapılmıştır. Bu aşamada tambur dönüş hızının (tane üzerine uygulanan merkez kaç kuvvet değişiminin) etkisi incelenmiştir.
4. Farklı boyut ölçülerine ve cinsine sahip elektrotlar kullanılarak testler yapılmıştır. Bu aşamada farklı ölçülerde elektrotların üzerinde oluşan statik yükün ayırma olan etkisi incelenmiştir.
5. Elektrot ile tambur arasındaki mesafe değiştirilerek testler yapılmıştır. Bu aşamada elektrotun tambur merkezine olan uzaklığı ile değişen verim-tenör değerleri incelenmiştir.

Farklı Besleme Hızları İle Yapılan Testler

Besleme hızı bu tür ayırıcılarda her zaman performansı etkileyen en önemli faktörler arasındadır. Özellikle elektrostatik ayırıcıların kapasiteleri son derece düşüktür. Endüstriyel olarak da en önemli dezavantajlarından birisi düşük kapasiteye sahip olmalarıdır. Çalışmanın bu bölümünde farklı kapasitelerde besleme yapılarak ayırım üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı besleme hızları ile yapılan testler için sabit tutulan koşullar Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Farklı besleme hızları ile yapılan testler için sabit tutulan koşullar

Sabit Koşullar	
Tambur hızı (rpm)	54
Rulo dönüş hızı (rpm)	2170
Besleme numune tenörü (%)	50
Elektrot numarası	7
Elektrot tambur arası mesafe (cm)	5
Ayırıcı bıçak konumu (cm)	15
Fırça ile rulo arası mesafe (cm)	2
Besleme öncesi karıştırma süresi (dk.)	2
Rulo cinsi	3 teflon ve 2 kestamid(sürücü)
Bant cinsi	Naylon bant

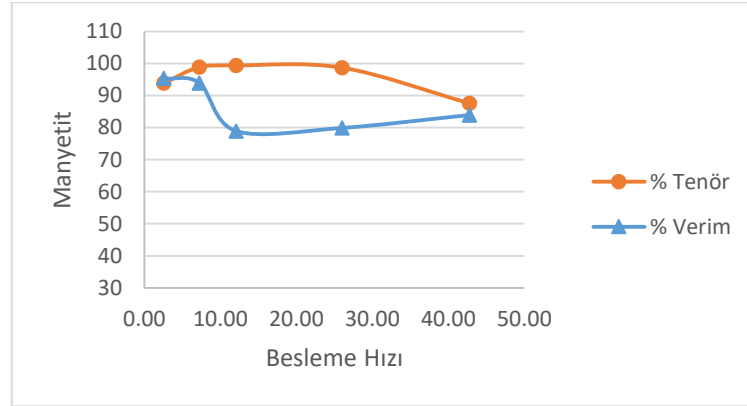
Besleme hızının etkisini incelemek için -425 + 212 µm tane boyunda %50 manyetit tenörüne sahip numuneler kullanılmıştır ve kaba ayırım sonuçları Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. %50 manyetit içeriğine sahip numune ile besleme hızı test sonuçları

Besleme Hızı (gram/dk.)	Konsantre			Atık		
	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
42.79	49.48	87.59	83.93	50.52	16.42	16.07
26.04	41.67	98.70	79.91	58.33	17.72	20.09
12.10	41.17	99.40	78.92	58.83	21.08	21.08
7.23	48.97	98.89	93.94	51.04	6.12	6.06
4.00	48.02	99.46	92.01	51.98	7.98	7.99
2.55	54.40	93.88	95.35	45.60	5.46	4.65

Besleme hızları yaklaşık olarak 4 cm ağız açıklığı olan titreşimli besleyiciden alınan ölçüm değerleridir.

Çizelgeden alınan konsantre verileri grafiksel olarak Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Konsantre verilerinin grafiksel gösterimi

Şekiller incelendiğinde en yavaş besleme hızında (2.55 gram/dakika) konsantreye alınan manyetit veriminin en yüksek değerde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte diğer besleme hızı değerlerinde de yüksek verim-tenör değerleri elde edilmiştir. Besleme hızı artışı ile manyetit tenörünün belirli bir noktaya kadar arttığı ve sonrasında azda olsa düştüğü görülmektedir. Verim ise beklendiği gibi manyetit tenörü ile ters orantılı olarak hareket etmektedir. Burada özellikle 26 g/dk. besleme hızının üzerindeki hız değerlerinde ekipmanın ayırım performansı düştüğü görülmektedir. Bu nedenle verim tenör eğrilerindeki ilişki bu noktanın üzerinde bozulmaktadır.

5.2.1. Bıçak Konumu Değiştirilerek Yapılan Testler

Çalışmanın bu bölümünde bölücü bıçağın tambur merkezinden olan yatay uzaklığının ayırım üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu aşamada farklı ayırıcı bıçak konumları ile yapılan testler için sabit tutulan koşullar Çizelge 5.4'de verilmektedir.

Çizelge 5.4. Farklı ayırıcı bıçak konumları ile yapılan testler için sabit tutulan koşullar

Sabit Koşullar	
Tambur hızı (rpm)	54
Rulo dönüş hızı (rpm)	2170
Besleme numune tenörü (%)	50
Elektrot numarası	7
Fırça rulo arası mesafe (cm)	2
Besleme öncesi karıştırma süresi(dk.)	2
Rulo cinsi	3 teflon ve 2 kestamid(sürücü)
Bant cinsi	Naylon bant

Ayırıcı bıçağın konumunun etkisinin incelenmesi için -425 + 212 μ m tane boyunda %50 manyetit tenörüne sahip numuneler kullanılmış ve kaba ayırma aşamasında farklı bıçak konumlarında yapılan testlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.5'de verilmiştir. Çizelgede verilen ayırıcı bıçak konumu sütunu ayırıcı bıçağın tambur merkezine uzaklığını belirtmektedir.

Çizelge 5.5. %50 manyetit içeriğine sahip numune ile farklı ayırıcı bıçak konumlarında ayırım sonuçları

Ayırıcı Bıçak Konumu (cm)	Konsantre			Atık		
	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
13	91.87	57.59	99.51	8.13	3.20	0.49
15	54.40	93.88	95.35	45.60	5.46	4.65
17	33.63	99.34	63.48	66.37	28.96	36.52

Ayırıcı bıçak tambur merkezinden 13 cm uzaklığa konumlandırıldığında verimin %99.51 olduğu ve manyetit tenör değerinin %57.59 değerinde olduğu görülmektedir. Ayırıcı bıçak tambur merkezinden 17 cm uzaklığa konumlandırıldığında manyetit tenörünün %99.34 olduğu ve veriminin %63.48 olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşıldığı gibi özellikle manyetit tanelerinin elektrot tarafından çekilerek tamburdan uzaklaştığı net olarak görülmektedir. Beslemenin yapıldığı noktadan en uzak noktaya genel olarak elektriksel çekim

kuvvetinden en çok etkilenen manyetit taneleri dökülmektedir. Bu durum sonucunda ayırıcı bıçak konumu tamburdan en uzak noktadayken tenörün en yüksek olmasına neden olmaktadır. Sonuçlar ayırım sırasında istenilen ürünün özelliklerine göre bölücü bıçak ayarının pozisyonu ayarlanarak ayırım performansının iyileştirilebileceğini göstermektedir.

5.2.2. Farklı Tambur Dönüş Hızlarında Yapılan Testler

Bu aşamada tambur dönüş hızının tanelerin üzerine uyguladığı merkezkaç kuvvetinin ayırma olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla farklı tambur dönüş hızlarında testler yapılmıştır. Testler sırasında sabit tutulmuş olan koşullar Çizelge 5.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 5.6. Farklı tambur dönüş hızlarında yapılan testler için sabit tutulan koşullar

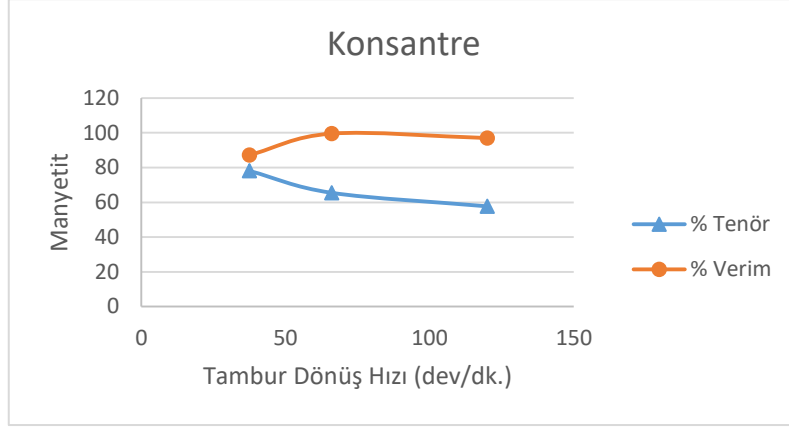
Sabit Koşullar	
Rulo dönüş hızı (rpm)	2170
Besleme numune Tenörü (%)	50
Elektrot numarası	7
Elektrot tambur arası mesafe (cm)	5
Ayırıcı bıçak konumu (cm)	15
Fırça rulo arası mesafe (cm)	2
Besleme öncesi karıştırma süresi(dk.)	2
Rulo cinsi	3 teflon ve 2 kestamid(sürücü)
Bant cinsi	Naylon bant

Tambur dönüş hızının etkisinin incelenmesi için -425 + 212 µm tane boyunda %50 manyetit tenörüne sahip numuneler kullanılmıştır. Kaba ayırım aşamasının uygulandığı bu testlerde sabit bir bölücü konumunda bir atık bir de konsantre numunesi alınmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. %50 manyetit içeriğine sahip numune ile farklı tambur dönüş hızları ile yapılan test sonuçları

Tambur Dönüş Hızı (devir/dakika)	Konsantre			Atık		
	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
37.5	58.47	78.09	87.21	41.53	16.13	12.79
66	81.04	65.48	99.56	18.96	1.24	0.44
120	87.80	57.69	97.00	12.20	12.85	3.00

Çizelgeden alınan konsantre verilerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.3.'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Konsantre verilerinin grafiksel gösterimi

Tambur dönüş hızının artması ile tanelerin üzerine etki eden merkez kaç kuvveti de artmaktadır. Bunun sonucu olarak daha çok tane tamburdan savrulmaktadır. Yüksek tambur dönüş hızlarında taneler merkezkaç kuvveti ile hareket etmeleri sebebiyle verim yükselmiş, en düşük tambur dönüş hızında ise konsantreye çekilmesi gereken tanelerin atıktan uzaklaşmaları için gereken ilk hıza sahip olamadıkları belirlenmiştir. Bu çalışma ışığında gerekli görülen tambur hızı grafikten saptanabilmektedir.

5.2.3. Elektrot Boyutları ve Cinslerinin Ayrım Üzerindeki Etkisi

Çalışmanın bu bölümünde elektrot özelliklerinin ayırım üzerinde bir farkının olup olmadığının ortaya konulması amacıyla farklı boylardaki elektrotlar kullanılarak kaba ayırma testleri yapılmıştır. Farklı elektrot ölçüleri için sabit tutulan test koşulları Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Farklı elektrot ölçüleri için sabit tutulan test koşulları

Sabit Koşullar	
Rulo dönüş hızı (rpm)	2170
Besleme numune Tenörü (%)	50
Elektrot tambur arası mesafe (cm)	5
Ayırıcı bıçak konumu (cm)	15
Fırça rulo arası uzaklık mesafe (cm)	2
Besleme öncesi karıştırma süresi(dk.)	2
Rulo cinsi	3 teflon ve 2 kestamid(sürücü)
Bant cinsi	Naylon bant

Bu test kapsamında kullanılan elektrotların özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Elektrot ölçülerine göre yapılan testler 3 aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak en ve boyları aynı olan, kalınlıkları farklı olan elektrotların karşılaştırması yapılmıştır. Bu kapsamda 5. ve 6. elektrotlar kullanılmıştır. 5. elektrotun kalınlığı 5.8 mm iken 6. elektrotun kalınlığı 0.5 mm'dir. Zenginleştirme çalışması sonucu elde edilen veriler Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Farklı kalınlıkta elektrotlar ile yapılan ayırım sonuçları

Elektrot No	Konsantre			Atık		
	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %	% Ağ.	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
5 (90 cm²)	54.46	93.39	97.68	45.54	2.65	2.32
6 (90 cm²)	38.81	99.61	75.39	61.19	20.62	24.61

Daha kalın olan 5. Elektrot (5.8 cm) daha kuvvetli bir elektriksel alan oluşturabildiği (Bakınız Çizelge 4.9) için daha çok taneye etki ederek daha fazla tanenin çekilmesini sağlamaktadır. Bu sebeple manyetit verimi kalın olan 5. elektrotta daha yüksektir. 6. Elektrot (0.5 cm) ile yapılan çalışmada ise %75.39 verim ile %99.61'lik yüksek bir tenöre ulaşılmıştır. Bu sonuçlardan hareketle elektrot kalınlığındaki artışa bağlı olarak elektrot yüzeyinde aynı koşullarda ölçülen potansiyelin daha yüksek olması buna bağlı olarak daha kuvvetli bir elektriksel çekim oluşturduğu anlaşılmıştır. Bu test sonucunda, toplam yüzey alanı sabit olan elektrotların kalınlığındaki artış ile yüzeydeki elektrik yükündeki değişime bağlı olarak, ayırım performansı üzerinde oynanabileceği ortaya konulmuştur.

İkinci olarak aynı kalınlıkta farklı yüzey alanlarına sahip elektrotlar ile yapılan ayırımlar karşılaştırılmıştır. Kaba zenginleştirme çalışması sonucunda elde edilen veriler Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Farklı yüzey alanlarına sahip elektrotlar ile yapılan ayırım sonuçları

Elektrot No	Konsantre			Atık		
	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
1 (292 cm²)	53.81	93.77	97.21	46.19	3.14	2.79
8 (180 cm²)	51.92	98.16	98.70	48.08	1.40	1.30
7 (91 cm²)	52.60	92.02	97.97	47.40	2.11	2.03

Farklı yüzey alanlarına sahip 2 mm kalınlıklardaki elektrotlar kullanılarak yapılan çalışmada yüzey alanının artışı ile yüzeyde ölçülen elektrik yük değerinin artmasına rağmen yapılan ölçüm aralığında yüzey alanı belirli noktaya kadar arttıkça tenör ve verim artmaktadır. Bununla birlikte her üç elektrot için de çok yüksek verim değerleri elde edilebildiği görülmektedir. Üretilen nihai ürünün tenörü akım şemasındaki kademe sayısı değiştirilerek ayarlanabilir.

Üçüncü aşamada boyut ölçüleri aynı fakat malzeme cinsi farklı olan 2 elektrot test edilmiştir. Bu testte aynı ölçülerdeki 1 numaralı alüminyum elektrot ile 9 numaralı bakır elektrot kullanılmıştır. Kaba zenginleştirme çalışması sonucunda elde edilen veriler Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Farklı cins malzemelerden üretilmiş elektrotlar ile yapılan ayırım sonuçları

Elektrot No	Konsantre			Atık		
	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
1	53.81	93.77	97.21	46.19	3.14	2.79
9	55.97	91.67	98.27	44.03	2.05	1.73

Sonuçlar incelendiğinde her iki elektrot hemen hemen benzer potansiyel yüklerle sahip olduğu için (Çizelge 4.9) benzer performans değerleri vermiştir. Burada yine dikkat çeken ayrıntı çok yüksek verim değerlerinin tek aşamada elde edilmiş olmasıdır. Nihai ürünün tenörü akım şeması üzerinde uygulanacak değişik kademe sayıları ile istenilen şekilde ayarlanabilecektir. Temelde elektrotlar üzerinde oluşturulan elektrik potansiyeli ayırım üzerinde etkili olmaktadır. Bakır ve alüminyum elektrotlar ile yapılan ölçümler Çizelge 4.9’de verilmiştir. Bakır elektrotun elektrik yük değerinin alüminyum elektrottan yüksek olması ve daha kuvvetli bir çekim gücü olmasının etkisi ile çekilen malzeme miktarı artmaktadır. Çekilen malzeme miktarının artması konsantreye alınan ürünün verimini arttırmaktadır.

5.2.4. Elektrot ve Tambur Arasındaki Mesafe Değiştirilerek Yapılan Testler

Elektrot yüzeyinde farklı mesafelerden yükler ölçüldüğünde mesafenin uzaklaşması ile ölçülen yük değerinin düştüğü daha önce verilen sonuçlarda gösterilmiştir. Burada elektriksel çekim kuvveti tane uzaklığı ve elektrot üzerindeki yük ile ters

orantılı olduğundan, beslemenin tambur yüzeyinden düşmeye başladığı yer ile elektriksel çekim kuvvetini oluşturacak olan elektrotun tambur yüzeyine olan mesafesinin ayırım üzerindeki etkisi bu bölümde incelenmiştir. Elektrot ile tambur arasında farklı mesafelerden yapılan testler için sabit tutulan koşullar Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Elektrot ile tambur arasında farklı mesafelerin test koşulları

Sabit Koşullar	
Rulo dönüş hızı (rpm)	2170
Besleme numune Tenörü (%)	50
Ayırıcı bıçak konumu (cm)	15
Fırça rulo arası uzaklık mesafe (cm)	2
Besleme öncesi karıştırma süresi(dk.)	2
Rulo cinsi	3 teflon ve 2 kestamid(sürücü)
Bant cinsi	Naylon bant

Elektrotun tambur üzerinden dökülen tanelere olan uzaklığının elektriksel etkisi Coulomb yasası göz önüne alındığında önemli bir parametredir. Bu amaçla aynı elektrot 3 farklı konuma getirilerek testler yapılmıştır. Yapılan testlerin sonuçları Çizelge 5.13’da verilmiştir.

Çizelge 5.13. Farklı 3 elektrot tambur mesafesinde yapılan test sonuçları

Elektrot Tambur Mesafesi (cm)	Konsantre			Atık		
	% Ağ.	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %	% Ağ.	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
5	54.40	93.88	95.35	45.60	5.46	4.65
7.5	36.38	99.10	70.19	63.62	24.08	29.81
10	27.94	98.92	53.70	72.06	33.06	46.30

Coulomb yasasına göre iki nokta arasındaki elektriksel etki iki noktanın birbirine olan uzaklığının karesi ile ters orantılıdır. Bu göz önüne alındığında elektrot ile tambur arasında mesafe uzatıldığında elektriksel etki de azalmış olmaktadır. Yapılan testler de bunu göstermektedir. Elektrot ile tambur arası mesafe 5 cm’ye getirildiğinde konsantre tenörünün %93.88 veriminin ise %95.35 olduğu görülmektedir. Atıkta ise hem tenör hem de verim değerleri diğer uzaklıklardan yapılan testlerle kıyaslandığında düşük değerlerdedir. Elektrot tambura daha yakın olduğu konumda elektriksel etkinin daha fazla olması sebebiyle daha çok taneyi kendine çekmiştir. Çekilen tanelerin büyük çoğunluğu manyetit taneleri olmakla birlikte elektriksel etkinin artışı manyetit taneleri dışındaki diğer taneleri de çekmesine veya çekilen

tanelerin etkisi ile sürüklenerek yanlış yere taşınmasına neden olmuştur. Bu çalışmanın ışığında ileride yapılacak çalışmalar için yüksek verimli sonuçlar elde edilmek isteniyorsa elektrot tambur arası mesafenin kısaltılması, daha saf bir konsantre elde edilmek isteniyorsa elektrot ve tambur arası mesafenin uzatılması gerektiği söylenebilmektedir. Sonuçlar elektrot konumunun performans üzerinde son derece etkili olduğunu göstermektedir.

5.3. Numune Değişkenliğinin Ayrım Üzerindeki Etkilerin İncelenmesi

Yapay olarak hazırlanmış numuneler ile öncelikle farklı tane boyut aralığında sınıflandırılmış ve bu sınıflandırılmış numuneler ile testler yapılmıştır. Tane boyutu dışında etkili olabileceği düşünülen diğer bir cevher özelliği ise cevher içeriğindeki iletken tane miktarıdır. Bu amaçla tekrar yapay numuneler kullanarak farklı manyetit içeriğine sahip numuneler hazırlanmıştır. Yüksek verim ve tenörlü ürünlerin alınması için zenginleştirme aşamalarında süpürme ve temizleme adımları uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir

1. Çalışmada ilk olarak beslenen numunelerin tane boyutlarının etkisi gözlenmiştir. Literatür verileri ışığında ekipmanın kullanılabileceği tane boyut aralığı belirlenmiş ve bu aralıklar için teste uygun numuneler hazırlanmış ve ayırma testleri yapılmıştır.
2. Aynı tane boyutlarına sahip kuvars ve manyetit numunelerinin farklı oranlarda karışımları oluşturulmuş ve böylece farklı iletken tane oranlarında ayrımlar yapılmıştır. Besleme içindeki tane oranının artışı ile ayırma olan etkisi incelenmiştir.
3. Farklı özelliklere sahip beslemeler ile akım şeması değiştirilerek yüksek tenör ve verimli ürün elde edilmesi incelenmiştir.

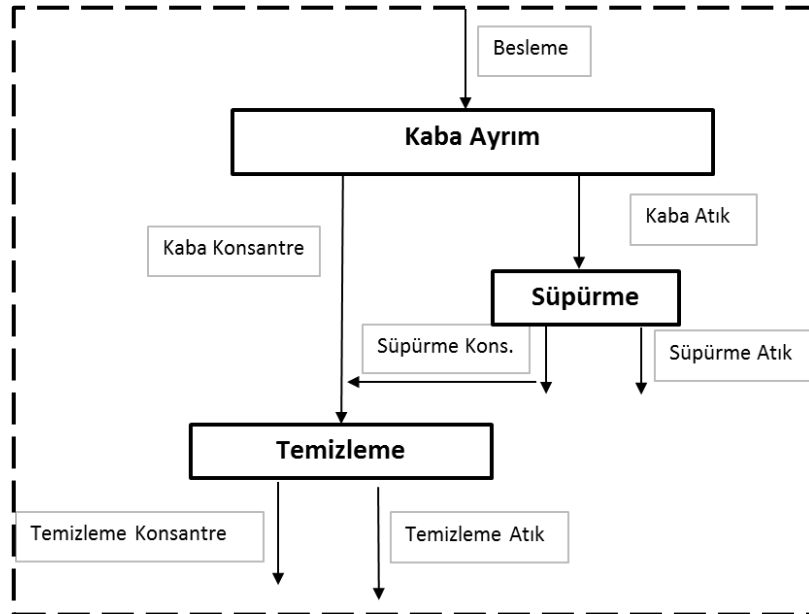
5.3.1. Farklı Tane Boyutlarının Ayrım Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Farklı tane boyutlarının ayırım üzerindeki etkisinin incelenmesi için yapılan çalışmalarda kullanılan test koşulları Çizelge 5.14'de ve bu testte uygulanan akım şeması Şekil 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.14. Farklı tane boyutlarının ayırım üzerindeki etkisinin incelenmesi için yapılan çalışmalarda kullanılan test koşulları

Sabit Tutulan Test Koşulları	
Tambur hızı (rpm)	54
Rulo dönüş hızı (rpm)	2170
Elektrot numarası	7
Fırça rulo arası uzaklık mesafe (cm)	2
Besleme öncesi karıştırma süresi (dk.)	2
Rulo cinsi	3 teflon ve 2 kestamid(sürücü)
Bant cinsi	Naylon bant

Bu testlerde kullanılmak üzere hem manyetit hem de kuvars numuneleri elenerek elektrostatik ayırma için en uygun boyut fraksiyonları olan -425+212 μm , -212+106 μm ve -106+75 μm boyut fraksiyonlarına ayrılmıştır. Daha sonra aynı fraksiyonlardaki manyetit ve kuvars istenilen oranlarda karıştırılarak besleme numuneleri hazırlanmıştır. Testlerde manyetit alındığı ürün konsantre, kuvarsın alındığı ürün ise atık olarak adlandırılmaktadır. Bu aşamada kuvars yalıtkan olduğu için sürtünme sırasında negatif yüzey yüküne sahip olmakta buna karşın iletken olan manyetit yüzey yükü nötr ya da pozitif olmaktadır. Elektrot üzerindeki yükün negatif değeri nedeniyle manyetit taneleri elektrot tarafından çekilirken, kuvars taneleri ise elektrot tarafından itilmektedir. Bu şekilde manyetit elektrota yakın bir düşme yörüngesi izlerken kuvars ise tambura yakın veya tambur altına doğru bir düşme yörüngesi izlemektedir.



Şekil 5.4. Farklı tane boyutlarının ayırım üzerindeki etkisinin incelenmesi için yapılan çalışma akım şeması

-425+212 µm tane boyutunda %50 manyetit içeriğine sahip numune ile yapılan test sonuçları Çizelge 5.15'de verilmiştir.

Çizelge 5.15. 425+212 µm tane boyutunda %50 manyetit içeriğine sahip numune ile yapılan test sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	49.40	100.00
Kaba Ayrım Atık	47.40	2.11	2.03
Kaba ayrım Kons.	52.60	92.02	97.97
Süpürme Atık	42.32	0.06	0.05
Süpürme Kons.	2.06	19.19	0.80
Temizleme Atık	11.44	35.66	8.26
Temizleme Kons	46.24	97.96	91.69

Çizelgede her bir ayırım aşamasında elde edilen ürünlerin verim ve tenörü verilmiştir. Nihai ürünler temizleme konsantre, temizleme atık ve süpürme atık olarak adlandırılmıştır. -425+212 tane boyutunda yapılan ayırım sonucunda nihai ürün %97.96 manyetit tenörü %91.69 verim ile alınmıştır. Atık ise %2.11 manyetit tenörüne %0.05 manyetit verimine sahiptir.

-212+106 µm tane boyutunda %50 manyetit içeriğine sahip numune ile yapılan test sonuçları Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. -212+106 µm tane boyutunda %50 manyetit içeriğine sahip numune ile yapılan test sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	49.77	100.00
Kaba Atık	58.60	23.56	27.74
Kaba Kons.	41.40	86.88	72.26
Süpürme Atık	45.44	7.86	7.18
Süpürme Kons.	13.16	77.75	20.56
Temizleme Atık	16.55	53.13	17.66
Temizleme Kons.	38.01	98.42	75.16

-212+106 µm tane boyutundan yapılan ayırım sonucunda nihai ürün %98.42 manyetit tenörü ve %75.16 verim ile alınmıştır. Atık ise %7.18 manyetit tenörüne ve %7.86 manyetit verimine sahiptir.

-106+75 µm tane boyutunda %50 manyetit içeriğe sahip numune ile yapılan test sonuçları aşağıda Çizelge 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. -106+75 µm tane boyutunda %50 manyetit içeriğe sahip numune ile yapılan test sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	49.12	100.00
Kaba Atık	27.92	26.65	15.15
Kaba Kons.	72.08	57.82	84.85
Süpürme Atık	18.43	12.79	4.80
Süpürme Kons.	9.49	53.58	10.35
Temizleme Atık	30.97	41.32	26.05
Temizleme Kons.	50.60	67.12	69.15

-106+75 µm tane boyutunda yapılan ayırım sonucunda nihai ürün %67.12 manyetit tenörü ve %69.15 verim ile alınmıştır. Atık ise %12.79 manyetit tenörüne ve %4.80 manyetit verimine sahiptir.

Yapılan testler sonucunda temizleme konsantreleri karşılaştırması Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Tane boyutunun testleri temizleme konsantreleri karşılaştırması

Temizleme Kons.	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
-425+212 µm	46.24	97.96	91.69
-212+106 µm	38.01	98.42	75.16
-106+75 µm	50.60	67.12	69.15

Çizelgede görüldüğü gibi en iyi ayırım -425+212 µm tane boyutu fraksiyonunda elde edilmiştir ancak -212+106 µm tane boyutu fraksiyonunda tenör %0.5 artmış verim ise %16.53 düşmüştür. Bu durum tekrar edilecek temizleme kademesiyle engellenebilir. En ince boy olan -106+75 µm tane boyutunda tenör ve verim açısından daha düşük değerler elde edilmiştir ancak tanenin çok ince olmasından ve kuru çalışılmasından kaynaklanan bu durum önceden öngörülen bir sonuçtur. Bu çalışmada her üç fraksiyonda da aynı akım şeması uygulanmıştır. Tane boyu incelendiğinde akım şeması üzerinde değişiklik yapılarak performans değerlerinin artırılması mümkün olmaktadır ve tez kapsamında ilerleyen bölümlerde sonuçları sunulmuştur.

5.3.2. Aynı Tane Boyutunda Farklı Manyetit Oranlarına Sahip Numuneler İle Yapılan Testler

Bu bölümde aynı tane boyutlarına sahip kuvars ve manyetit numunelerinin farklı oranlarda karışımları ile oluşturulmuş ve böylece farklı iletken tane oranlarına bağlı ayrımlar yapılmıştır. Üretilen statik yükün iletken tane oranının artışı ile ayırma olan etkisi incelenmiştir.

Aynı tane boyunda farklı manyetit oranlarına sahip numunelerin denendiği testlerde sabit tutulan koşullar Çizelge 5.19'da verilmiştir.

Çizelge 5.19. Aynı tane boyunda farklı manyetit oranlarına sahip numunelerin denendiği testlerde sabit tutulan koşullar

Sabit Koşullar	
Tambur hızı (rpm)	54
Rulo dönüş hızı (rpm)	2170
Elektrot numarası	7
Elektrot tambur arası mesafe (cm)	5
Ayırıcı bıçak konumu (cm)	15
Fırça rulo arası mesafe (cm)	2
Besleme öncesi karıştırma süresi (dk.)	2
Rulo cinsi	3 teflon ve 2 kestamid(sürücü)
Bant cinsi	Naylon bant

-425+212 µm tane boyutunda %5 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan test sonuçları Çizelge 5.20'de verilmiştir.

Çizelge 5.20. -425+212 µm tane boyutunda %5 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan test sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	4.89	100.00
Kaba Ayrım Atık	93.36	0.17	3.25
Kaba ayırım Kons.	6.64	71.30	96.75
Süpürme Atık	93.08	0.07	1.25
Süpürme Kons.	0.27	35.73	2.00
Temizleme Atık	2.08	8.47	3.59
Temizleme Kons	4.84	96.26	95.16

Bu test sonucunda %4.89 manyetit içeriğine sahip besleme numunesi zenginleştirme çalışmaları sonucunda %95.16 verim ile %96.26 manyetit tenörlü

ürün elde edilmiştir. Atık ise %1.25 manyetit verim ile %0.07 manyetit tenörüne sahiptir.

-425+212 µm tane boyutunda %10 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan test sonuçları Çizelge 5.21’de verilmiştir.

Çizelge 5.21. -425+212 µm tane boyutunda %10 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan test sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	9.95	100.00
Kaba Ayrım Atık	87.70	0.25	2.23
Kaba ayrım Kons.	12.30	79.11	97.77
Süpürme Atık	87.36	0.07	0.59
Süpürme Kons.	0.34	47.37	1.63
Temizleme Atık	3.19	16.24	5.20
Temizleme Kons	9.46	99.16	94.20

Bu test sonucunda %9.95 manyetit içeriğine sahip besleme numunesi zenginleştirme çalışmaları sonucunda %94.20 verimle %99.16 manyetit tenörlü ürün elde edilmiştir. Atık ise %0.59 manyetit verim ile %0.07 manyetit tenörüne sahiptir.

-425+212 µm tane boyutunda %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan test sonuçları Çizelge 5.22’de verilmiştir.

Çizelge 5.22. -425+212 µm tane boyutunda %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan test sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	19.26	100.00
Kaba Ayrım Atık	78.70	1.08	4.40
Kaba ayrım Kons.	21.30	86.43	95.60
Süpürme Atık	78.22	0.54	2.18
Süpürme Kons.	0.48	89.24	2.21
Temizleme Atık	4.53	41.26	9.70
Temizleme Kons	17.25	98.36	88.12

Bu test sonucunda %19.26 manyetit içeriğine sahip besleme numunesi zenginleştirme çalışmaları sonucunda %88.12 verimle %98.36 manyetit tenörlü ürün elde edilmiştir. Atık ise %2.18 manyetit verim ile %0.54 manyetit tenörüne sahiptir.

-425+212 µm tane boyutunda %50 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan test sonuçları Çizelge 5.23'de verilmiştir.

Çizelge 5.23. -425+212 µm tane boyutunda %50 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan test sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	49.40	100.00
Kaba Ayrım Atık	47.40	2.11	2.03
Kaba ayrım Kons.	52.60	92.02	97.97
Süpürme Atık	42.32	0.06	0.05
Süpürme Kons.	2.06	19.19	0.80
Temizleme Atık	11.44	35.66	8.26
Temizleme Kons	46.24	97.96	91.69

Bu test sonucunda %49.40 manyetit içeriğine sahip besleme numunesi zenginleştirme çalışmaları sonucunda %91.69 verimle %91.69 manyetit tenörlü ürün elde edilmiştir. Atık ise %0.05 manyetit verim ile %0.06 manyetit tenörüne sahiptir.

Yapılan testler sonucunda temizleme konsantreleri karşılaştırması Çizelge 5.24'de verilmiştir.

Çizelge 5.24. Farklı manyetit tenörüne sahip numunelerle yapılan testlerin konsantrelerinin karşılaştırılması

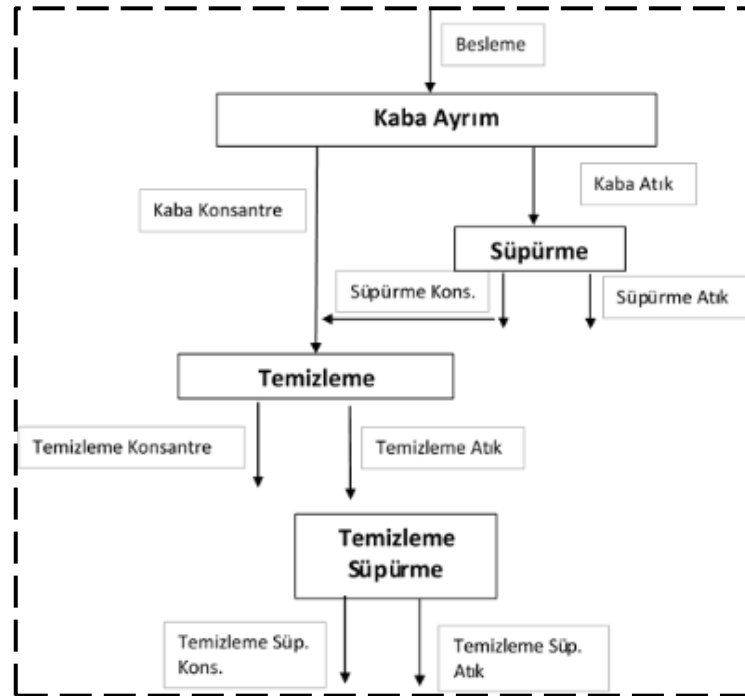
-425+212 µm Temizleme Kons.	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
%5 Manyetit Tenörlü Numune	4.84	96.26	95.16
%10 Manyetit Tenörlü Numune	9.46	99.16	94.20
%20 Manyetit Tenörlü Numune	17.25	98.36	88.12
%50 Manyetit Tenörlü Numune	46.24	97.96	91.69

Yukarıdaki çizelgeden görüldüğü gibi aynı tane boyunda farklı manyetit tenörlerine sahip numunelere yapılan testler sonucunda besleme tenörünün ayırma etkisinin oldukça düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. Besleme tenörü artışının verimde %4-6 oranlarında düşüşe sebep olduğu söylenebilmektedir, ancak düşük seviyede olan bu fark triboelektrostatik ayırıcının belirli bir besleme tenör aralığında çalışmak zorunda olmadığını göstermektedir. Besleme tenöründen bağımsız olarak iyi bir performansla ayırım yapılabildiği ortaya konulmuştur.

5.3.3. Verim Değerlerini Arttırmak Amacıyla Akım Şeması Değiştirilerek Yapılan Testler

Çalışmanın bu bölümünde kaba zenginleştirmeyi takiben ürünlere süpürme ve temizleme aşamaları da uygulayarak hem verim hem de tenörün iyileştirilmesine yönelik testler yapılmıştır. Elektrostatik ayırmanın doğası gereği çok kademeli zenginleştirme gerekmektedir. Bu nedenle temizleme ve süpürme kademeleri eklenerek test çalışmaları yapılmıştır.

-425+212 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması Şekil 5.5'de ve sonuçları Çizelge 5.25'de verilmiştir.

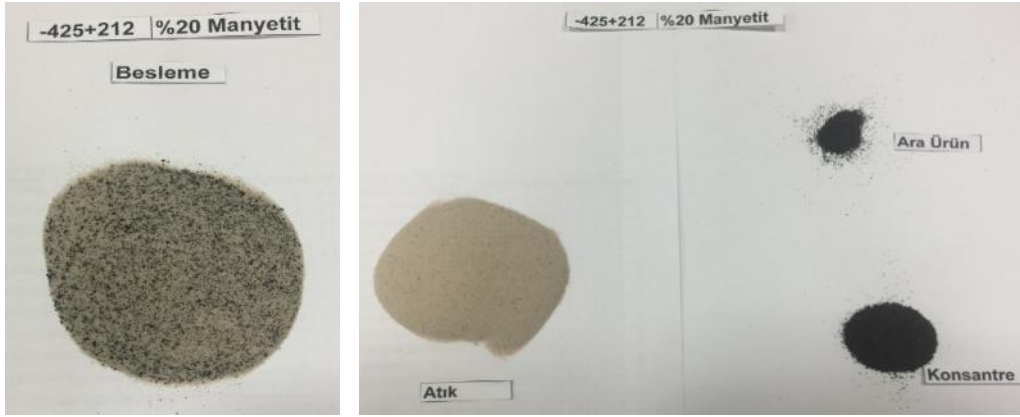


Şekil 5.5. -425+212 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması

Çizelge 5.25 -425+212 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları

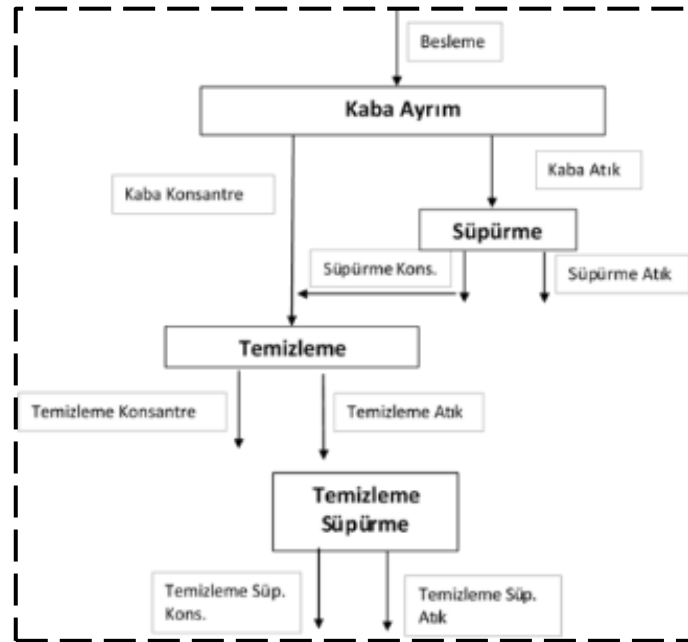
Ürünler	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	19.26	100.00
Süpürme Atık	78.22	0.54	2.18
Temizleme Kons	17.25	98.36	88.12
Temizleme Süpürme Kons.	1.66	96.17	8.29
Temizleme Süpürme Atık	2.87	9.47	1.41

Besleme tenörü %19.26 olan -412+212 µm tane boyut aralığında olan numuneden alınan nihai konsantrde manyetit tenörü %98.36 ile manyetit verimi %88.12 ile alınmıştır. Nihai atık ise %0.54 manyetit içeriği ile manyetit kaybı %2.18'tir. Temizleme atığından bir miktar daha manyetit kazanmak için bir süpürme aşaması eklenmiştir. Bu aşamada %96.17 tenörlü bir ara ürün elde edilmiştir. Bu ara ürün toplam verimi %8.29 arttırmıştır. Bu test kapsamında kullanılan besleme ve ayırım sonunda elde edilen konsantr (manyetit), atık (kuvars) ürünlerinin genel görünüşleri Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. -412+212 µm fraksiyonu %20 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler

-425+212 µm tane boyutu aralığında %50 Manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması Şekil 5.7'de ve sonuçları Çizelge 5.26'da verilmiştir.

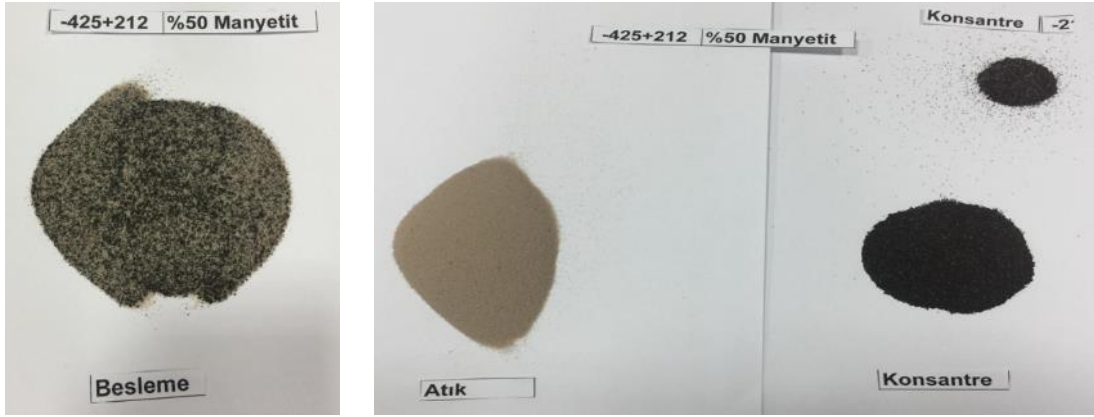


Şekil 5.7. -425+212 µm tane boyutu aralığında %50 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması

Çizelge 5.26. -425+212 µm tane boyutu aralığında %50 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları

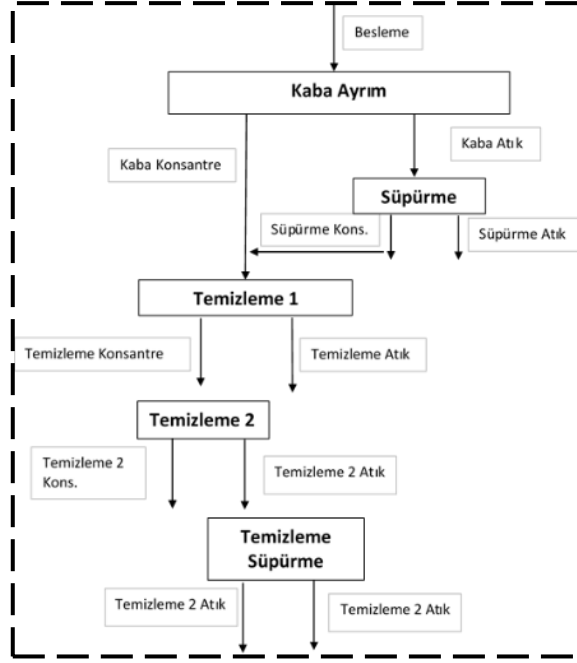
Ürünler	% Ağ.	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	49.40	100.00
Süpürme Atık	42.32	0.06	0.05
Temizleme Kons	46.24	97.96	91.69
Temizleme Süpürme Kons.	3.59	89.01	6.48
Temizleme Süpürme Atık	7.85	11.22	1.78

Besleme tenörü %49.40 olan -412+212 µm tane boyut aralığındaki numuneden alınan nihai konsantrede %97.96 manyetit tenörü, %91.69 manyetit verimi ile alınmıştır. Nihai atığın ise manyetit içeriği %0.06'dır. Manyetit kaybı ise %0.05'tir. Temizleme atığından bir miktar daha manyetit kazanmak için bir temizleme süpürme aşaması eklenmiştir. Bu aşamada %89.01 tenörlü bir ara ürün elde edilmiştir. Bu ara ürün toplam verimi %6.48 arttırmıştır. Bu test kapsamında kullanılan besleme ve ayırım sonucunda elde edilen konsantre (manyetit) atık (kuvars) ürünlerinin genel görünüşleri Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. -412+212 µm fraksiyonu %50 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler

-212+106 µm tane boyutu aralığında %5 Manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması Şekil 5.9'de ve sonuçları Çizelge 5.27'de verilmiştir.

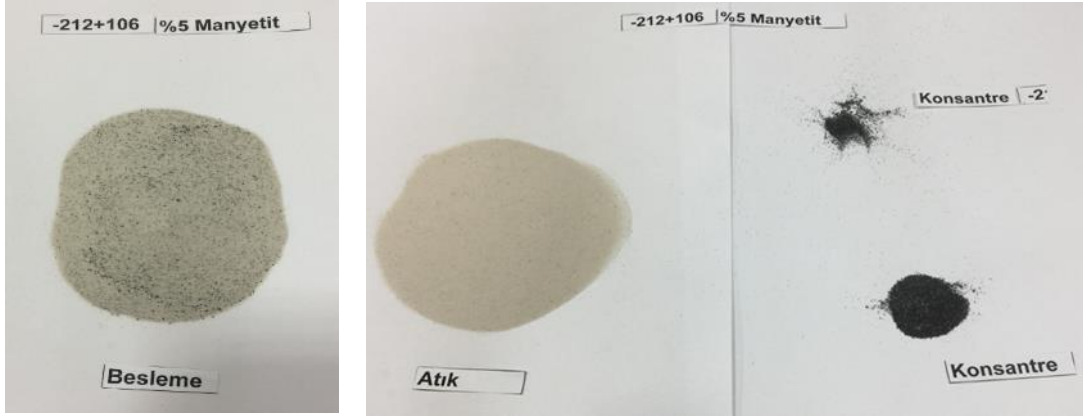


Şekil 5.9. -212+106 µm tane boyutu aralığında %5 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması

Çizelge 5.27. -212+106 µm tane boyutu aralığında %5 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları

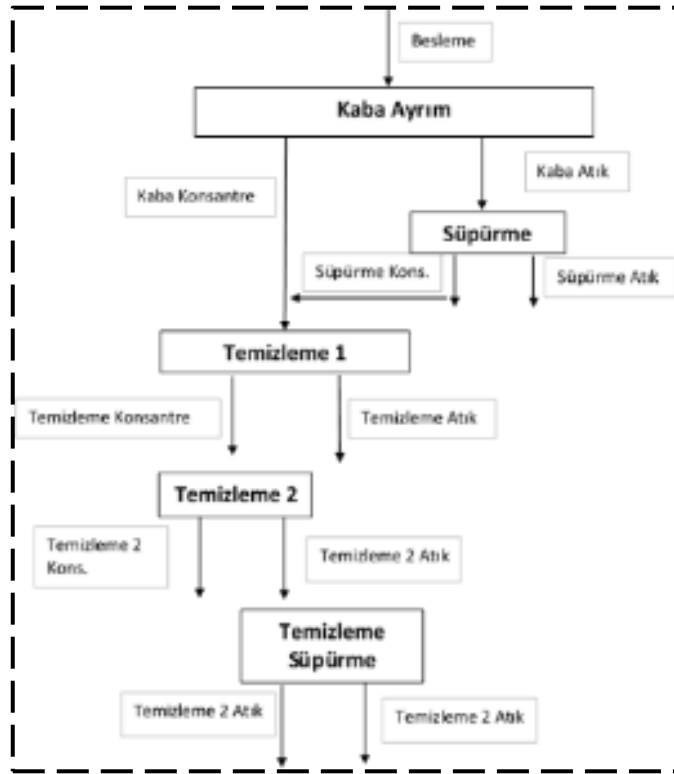
Ürünler	%Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	4.94	100.00
Süpürme Atık	62.75	0.37	4.65
Temizleme 1 Atık	28.76	2.79	16.22
Temizleme 2 Kons.	3.51	85.92	61.10
Temizleme Süpürme Kons.	0.52	92.65	9.77
Temizleme Süpürme Atık	4.40	9.28	8.26

Besleme tenörü %4.94 olan -212+106 µm tane boyut aralığında olan numuneden 2 kademe temizleme sonunda alınan konsantre %85.92 manyetit tenörlüdür. Manyetit verimi ise %61.10 olarak hesaplanmıştır. Nihai atığın ise manyetit içeriği %0.37 ve manyetit kaybı %4.65'tir. Temizleme atığından bir miktar daha manyetit kazanmak için bir temizleme süpürme aşaması eklenmiştir. Bu aşamada %92.65 tenörlü bir ara ürün elde edilmiştir. Bu ara ürün toplam verimi %9.77 arttırmıştır. Eğer iki konsantre birleştirilse % 86.78 manyetit tenörlü % 70.87 verimli tek bir ürün olarak alınabilir. Bu test kapsamında kullanılan besleme ve ayırım sonucunda elde edilen konsantre (manyetit) atık (kuvars) ürünlerinin genel görünümleri Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. -212+106 µm fraksiyonu %5 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler

-212+106 µm tane boyutu aralığında %10 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması Şekil 5.11'de ve sonuçları Çizelge 5.28'de verilmiştir.

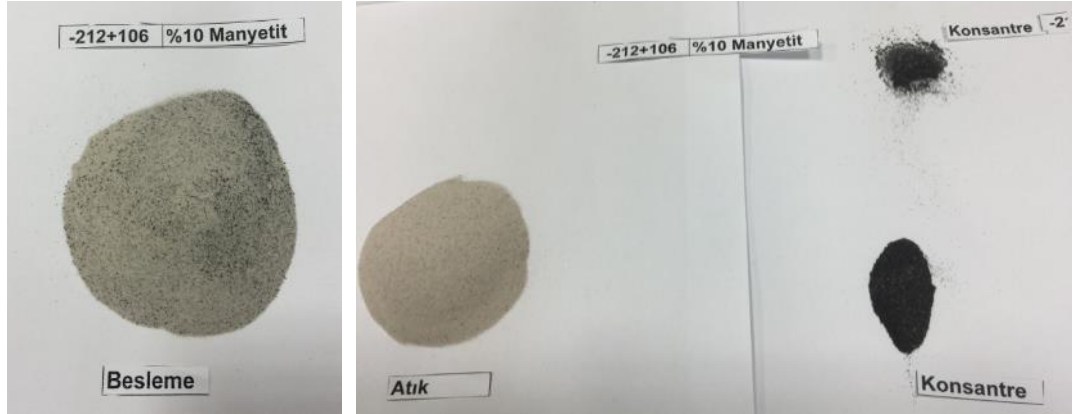


Şekil 5.11. -212+106 µm tane boyutu aralığında %10 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması

Çizelge 5.28. -212+106 µm tane boyutu aralığında %10 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları

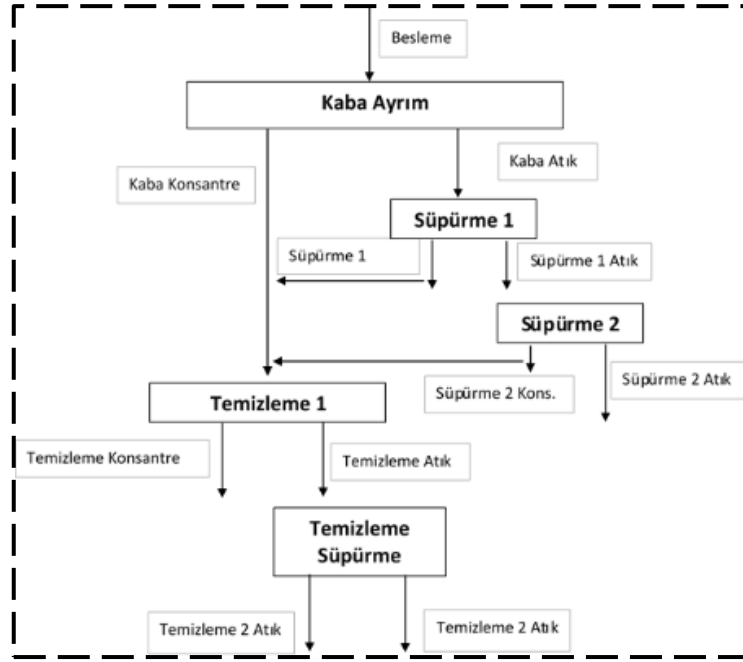
Ürünler	%Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	9.72	100.00
Süpürme Atık	43.49	1.72	7.71
Temizleme 1 Atık	39.92	2.96	12.16
Temizleme 2 Kons.	5.61	88.35	50.98
Temizleme Süpürme Atık	9.29	15.66	14.96
Temizleme Süpürme Kons.	1.69	81.65	14.19

Besleme tenörü %9.72 olan -212+106 µm tane boyut aralığında olan numuneden 2 kademe temizleme sonunda alınan konsantrede %88.35 manyetit tenörü, %50.98 manyetit verimi ile elde edilmiştir. Nihai atığın manyetit içeriği %1.72, manyetit kaybı ise %7.71'tir. Temizleme atığından bir miktar daha manyetit kazanmak için bir temizleme süpürme aşaması eklenmiştir. Bu aşamada %81.65 tenörlü bir ara ürün elde edilmiştir. Bu ara ürün toplam verimi %14.19 arttırmıştır. Eğer iki konsantre birleştirilirse % 86.80 manyetit tenörlü % 65.17 verimli tek bir ürün olarak alınabilir. Bu test kapsamında kullanılan besleme ve ayırım sonucunda elde edilen konsantre (manyetit) atık (kuvars) ürünlerinin genel görünümleri Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.12. -212+106 µm fraksiyonu %10 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler

-212+106 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması Şekil 5.13'da ve sonuçları Çizelge 5.29'de verilmiştir.



Şekil 5.13. -212+106 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması

Çizelge 5.29. -212+106 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları

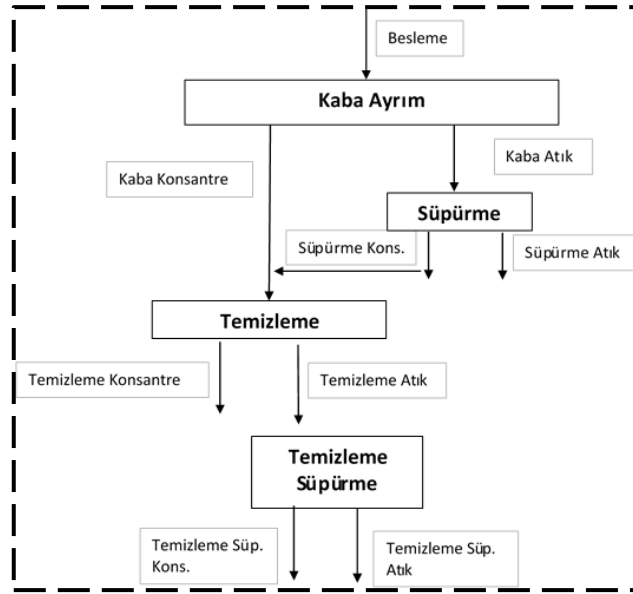
Ürünler	%Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	19.97	100.00
Süpürme 2 Atık	70.32	2.11	7.42
Temizleme 1 Kons.	15.31	96.09	73.66
Temizleme Süpürme Atık	11.38	11.70	6.67
Temizleme Süpürme Kons.	2.99	81.77	12.26

Besleme tenörü %19.97 olan -212+106 µm tane boyut aralığında olan numuneden 1 kademe temizleme sonunda alınan konsantrenin manyetit tenörü %96.09, manyetit verimi ise %73.66 'dır. Nihai atığın manyetit içeriği ise %2.11 ve %7.42 manyetit kaybı ile alınmıştır. Temizleme atığından bir miktar daha manyetit kazanmak için bir temizleme süpürme aşaması eklenmiştir. Bu aşamada %81.77 tenörlü bir ara ürün elde edilmiştir. Bu ara ürün toplam verimi %12.26 arttırmıştır. Eğer iki konsantre birleştirilse % 93.75 manyetit tenörlü % 85.92 verimli tek bir ürün olarak alınabilir. Bu çalışmada süpürme kademesi bir kademe arttırılmıştır. Bu test kapsamında kullanılan besleme ve ayırım sonunda elde edilen konsantre (manyetit) atık (kuvars) ürünlerinin genel görünümleri Şekil 5.14'da gösterilmiştir.



Şekil 5.14. -212+106 μm fraksiyonu %20 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler

-212+106 μm tane boyutu aralığında %50 Manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması Şekil 5.15'de ve sonuçları Çizelge 5.30'da verilmiştir.

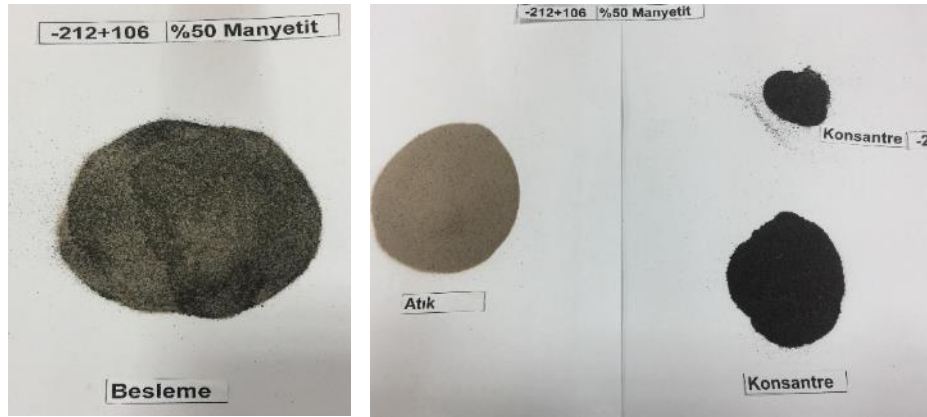


Şekil 5.15. -212+106 μm tane boyutu aralığında %50 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması

Çizelge 5.30. -212+106 µm Tane Boyutu Aralığında %50 Manyetit İçeriğine Sahip Numunede Yapılan Çalışmanın Sonuçları

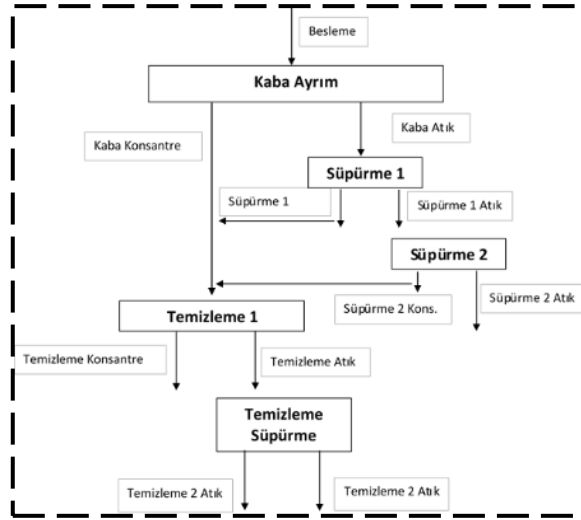
Ürünler	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	49.77	100.00
Süpürme atık	45.44	7.86	7.18
Temizleme kons.	38.01	98.42	75.16
Temizleme süpürme 1 atık	10.36	29.55	6.15
Temizleme süpürme 1 kons.	6.19	92.57	11.51

Besleme tenörü %49.77 olan -212+106 µm tane boyut aralığındaki numuneden 1 kademe temizleme sonunda alınan konsantrede manyetit tenörü %98.42, manyetit verimi ise %75.16 'dır. Nihai atık ise %7.86 manyetit içeriklidir. Manyetit kaybı ise %7.18'dir. Temizleme atığından bir miktar daha manyetit kazanmak için bir temizleme süpürme aşaması eklenmiştir. Bu aşamada %92.57 tenörlü bir ara ürün elde edilmiştir. Bu ara ürün toplam verimi %11.51 arttırmıştır. Eğer iki konsantre birleştirilse % 97.60 manyetit tenörlü % 86.67 verimli tek bir ürün olarak alınabilir. Bu test kapsamında kullanılan besleme ve ayırım sonunda elde edilen konsantre (manyetit) atık (kuvars) ürünlerinin genel görünümleri Şekil 5.16'de gösterilmiştir.



Şekil 5.16. -212+106 µm fraksiyonu %50 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler

-106 +75 µm tane boyutu aralığında %10 Manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması Şekil 5.17'de ve sonuçları Çizelge 5.31'de verilmiştir.

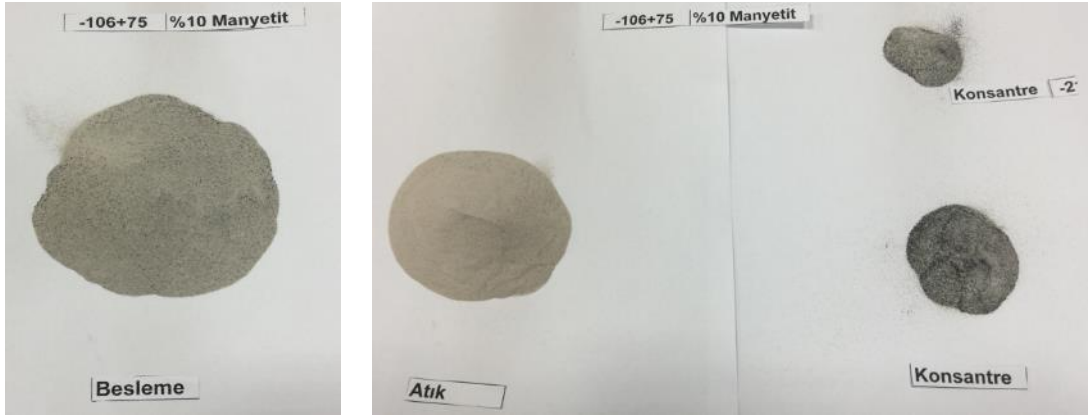


Şekil 5.17. -106+75 μm tane boyutu aralığında %10 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması

Çizelge 5.31. -106+75 μm Tane Boyutu Aralığında %10 Manyetit İçeriğine Sahip Numunede Yapılan Çalışmanın Sonuçları

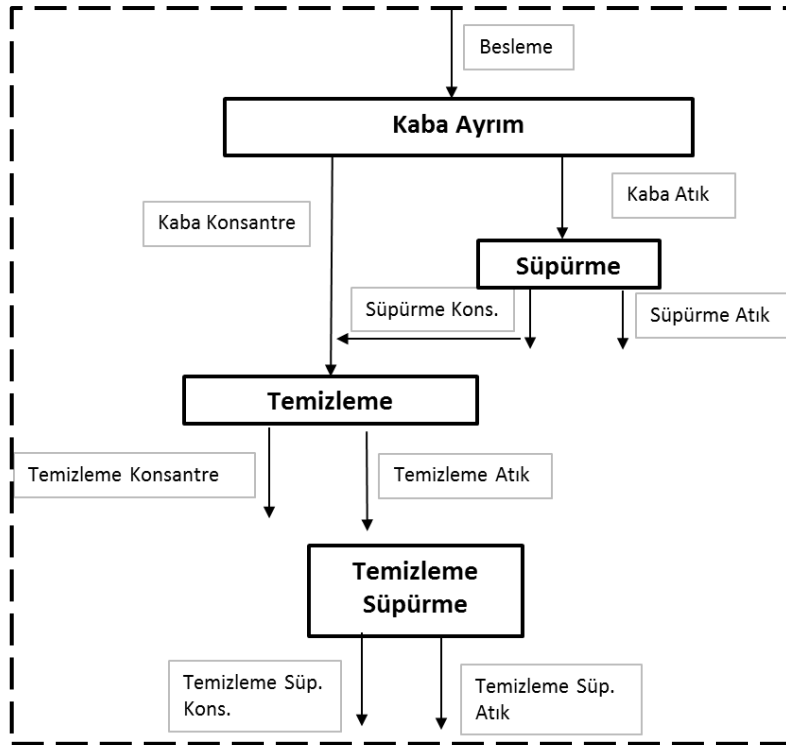
Ürünler	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	9.63	100.0
Süpürme 2 Atık	48.73	1.97	9.98
Temizleme 1 Kons.	16.21	31.30	52.67
Temizleme Süpürme Atık	29.51	7.38	22.62
Temizleme Süpürme Kons.	5.55	25.59	14.74

Besleme tenörü %9.63 olan -106+75 μm tane boyut aralığındaki numuneden 1 kademe temizleme sonucunda alınan konsantrede manyetit tenörü %31.30, %52.67 manyetit verimi ile alınmıştır. Nihai atık ise %1.97 manyetit içeriklidir. Atık manyetit kaybı ise %9.98'dir. Temizleme atığından bir miktar daha manyetit kazanmak için bir temizleme süpürme aşaması eklenmiştir. Bu aşamada %25.59 tenörlü bir ara ürün elde edilmiştir. Bu ara ürün toplam verimi %14.74 arttırmıştır. Eğer iki konsantre birleştirilirse % 29.84 manyetit tenörlü % 67.40 verimli tek bir ürün olarak alınabilir. Bu çalışmada süpürme kademesi bir kademe arttırılmıştır. Fakat verim ve tenör değerlerinin diğer tane boyları ile kıyaslandığında düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Bu test kapsamında kullanılan besleme ve ayırım sonunda elde edilen konsantre (manyetit) atık (kuvars) ürünlerinin genel görünümleri Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. -106+75 µm fraksiyonu %10 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler

-106+75 µm tane boyutu aralığında %20 Manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması Şekil 5.19'de ve sonuçları Çizelge 5.32'de verilmiştir.

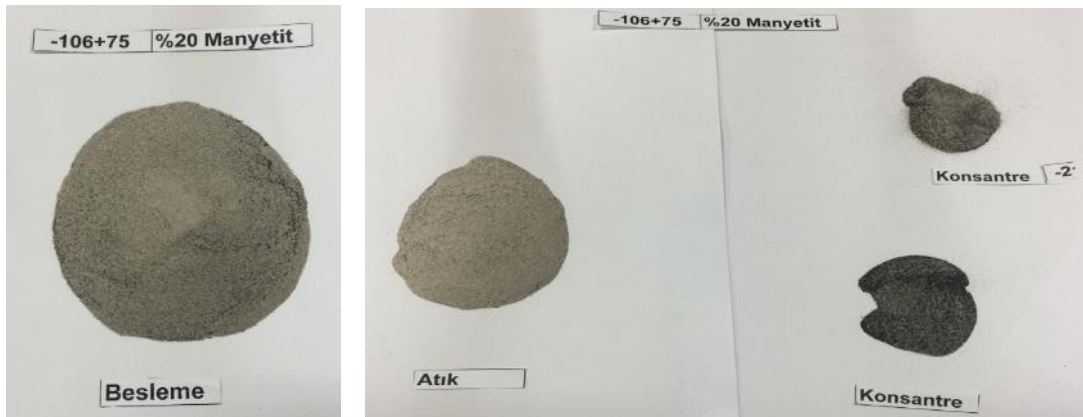


Şekil 5.19. -106+75 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması

Çizelge 5.32. -106+75 µm tane boyutu aralığında %20 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları

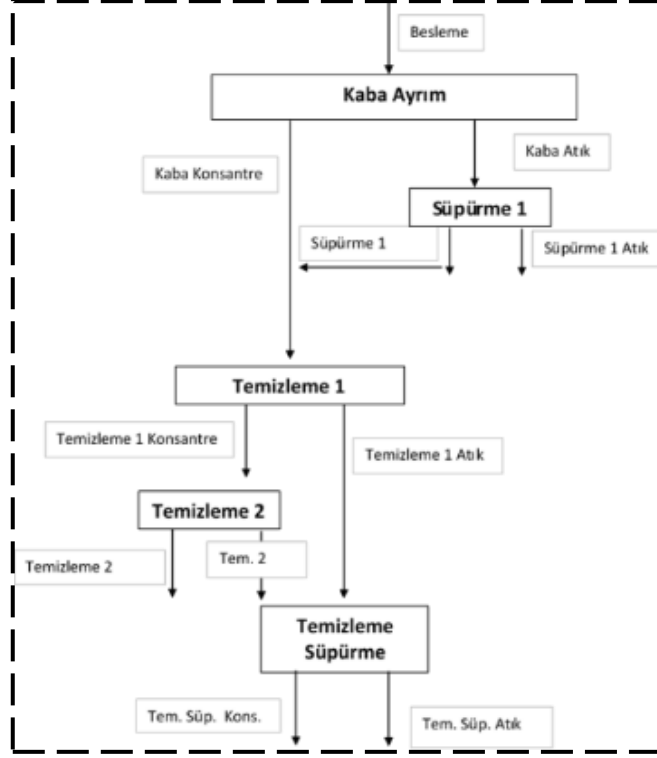
Ürünler	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	18.60	100.00
Süpürme Atık	45.78	5.69	14.00
Temizleme Kons.	11.31	58.58	35.62
Temizleme Süpürme Atık	33.06	15.64	27.79
Temizleme Süpürme Kons.	9.86	42.61	22.60

Besleme tenörü %18.60 olan -106+75 µm tane boyut aralığındaki numuneden 1 kademe temizleme sonunda alınan konsantrede manyetit tenörü %58.58, %35.62 manyetit verimi ile alınmıştır. Nihai atık ise %5.69 manyetit içeriklidir. Atık manyetit kaybı ise %14.00'dır. Temizleme atığından bir miktar daha manyetit kazanmak için bir temizleme süpürme aşaması eklenmiştir. Bu aşamada %42.61 tenörlü bir ara ürün elde edilmiştir. Bu ara ürün toplam verimi %22.60 arttırmıştır. Eğer iki konsantre ürünü birleştirilirse % 51.14 manyetit tenörlü % 58.21 verimli tek bir ürün olarak alınabilir Bu test kapsamında kullanılan besleme ve ayırım sonunda elde edilen konsantre (manyetit) atık (kuvars) ürünlerinin genel görünüşleri Şekil 5.20'da gösterilmiştir.



Şekil 5.20. -106+75 µm fraksiyonu %20 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler

-106+75 µm tane boyutu aralığında %50 Manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması Şekil 5.21'de ve sonuçları Çizelge 5.33'de verilmiştir.



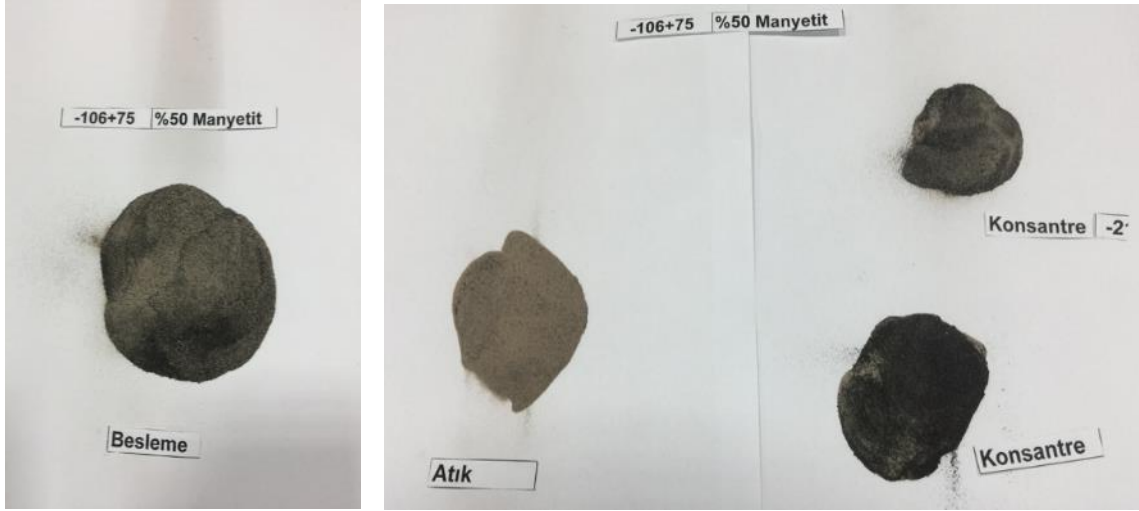
Şekil 5.21. -106+75 µm tane boyutu aralığında %50 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın akım şeması

Çizelge 5.33. -106+75 µm tane boyutu aralığında %50 manyetit içeriğine sahip numunede yapılan çalışmanın sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
Besleme	100.00	49.12	100.00
Süpürme Atık	18.43	12.79	4.80
Temizleme 2 Kons.	34.94	70.11	49.87
Temizleme Süpürme Atık	26.31	38.44	20.59
Temizleme Süpürme Kons.	20.32	59.79	24.74

Besleme tenörü %49.12 olan -106+75 µm tane boyut aralığındaki numuneden 2 kademe temizleme sonunda alınan konsantrede manyetit tenörü %70.11, %49.87 manyetit verimi ile alınmıştır. Nihai atık ise %12.79 manyetit içeriklidir. Atık manyetit kaybı ise %4.8'dir. Temizleme atıklarından bir miktar daha manyetit kazanmak için bir temizleme süpürme aşaması eklenmiştir. Bu aşamada %59.79 tenörlü bir ara ürün elde edilmiştir. Bu ara ürün toplam verimi %24.74 arttırmıştır. Eğer iki konsantre birleştirilse % 66.31 manyetit tenörlü % 74.61 verimli tek bir ürün olarak

alınabilir. Bu test kapsamında kullanılan besleme ve ayırım sonucunda elde edilen konsantre (manyetit) atık (kuvars) ürünlerinin genel görünüşleri Şekil 5.22'de gösterilmiştir.



Şekil 5.22. -106+75 µm fraksiyonu %50 manyetit içeren besleme ve test sonucu üretilen ürünler

Yapay numuneler ile yapılan testlerden alınan nihai ürünlerin karşılaştırması Çizelge 5.34'de verilmiştir.

Çizelge 5.34. Farklı özelliklere sahip yapay numuneler ile yapılan çalışmalar sonucunda alınan nihai ürün manyetit tenör ve verim değerleri

	Besleme % Manyetit Tenörü	Tenör % Manyetit	Manyetit Verimi %
-425+212	5%	96.26	95.16
	10%	99.16	94.16
	20%	98.36	88.12
	50%	97.96	91.69
-212+106	5%	85.92	61.1
	10%	88.35	50.98
	20%	96.09	73.66
	50%	98.42	75.16
-106+75	10%	31.30	52.67
	20%	58.58	35.62
	50%	70.11	49.87

Not: Çizelgede sadece nihai ürün tenör ve verim değerleri verilmiştir. Süpürme konsantreleri eklenmemiştir.

Çizelge 5.34'de görüldüğü üzere yapılan çalışmalar sonucunda manyetit-kuvars karışımı yapay numune %99.16 manyetit tenörlü ve %94.16 manyetit verim ile

zenginleştirilebileceği ortaya konulmuştur. Tane boyutunun irileşmesi ile ayırım performansının arttığı saptanmıştır. Bununla birlikte çizelgede sadece nihai ürünler verilmiştir. Ayrımlarda elde edilen ara ürünler nihai konsantreler ile birleştirilmesi verim değerlerini daha yüksek değerlere çekmiştir. İnce boyutlarda yapılan çalışmalarda yüksek verim ve tenör değerlerine ulaşmak için süpürme ve temizleme kademeleri eklenmesi gerekmektedir. Ayırım kademe sayısı artışı triboelektrostatik ayırıcı için sorun teşkil etmemektedir. Endüstriyel uygulamalar ve literatür incelendiğinde elektrostatik ayırıcılar ile yapılan ayrımların bir çok kademede yapıldığı görülmektedir.

5.4. Mineraller ve Kömür ile Yapılan Zenginleştirme Testleri

Yapay olarak hazırlanmış mineral numuneleri ile yapılan başarılı testler triboelektrostatik ayırıcının orijinal cevher ve kömür zenginleştirme çalışmalarında da kullanılabileceğini göstermiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak cevher ve kömürler üzerinde testler yapılmıştır. Bu kapsamda kullanılan cevherler ve kömür numuneleri aşağıda sıralanmıştır;

- Tunçbilek kömür hazırlama tesisi tüvenan numunesi,
- Ömerler kömür hazırlama tesis tüvenan numunesi,
- Dereköy Kömür hazırlama tesisi tüvenan numunesi,
- Soma bölgesinden alınan kömür numunesi,
- 3 farklı feldspat numunesi,
- Purunsur bölgesinden alınan demir cevheri atık numunesi,
- Altın, bakır, gümüş, demir içeren sülfürlü cevher numunesi,
- Sülfürlü bakır numunesi,
- Kütahya Şaphane bölgesinden alınan alunit cevheri,
- Eti Maden Bigadiç Bor İşletmelerinden alınan bor cevheri
- Kromit numunesi

Kullanılan kömür numunelerinin hepsi -18+0,5 mm boyutlarında Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan numuneler arasından seçilmiştir. Bu tezde tasarlanmış olan ekipman ile yıkanmış kömür numunelerinin kül oranlarının düşürülüp düşürülemeyeceğinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

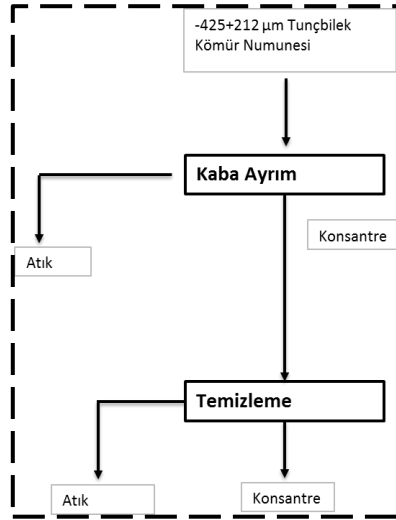
Yukarıda verilen zenginleştirme çalışmalarında kullanılacak malzemelere numune hazırlama işlemi yapılmıştır. Numune hazırlama işlemi aşağıdaki adımları kapsamaktadır.

- Numuneler temsili olarak bölünmüştür.
- Bölünen malzemeler $-425 \mu\text{m}$ altına kırılmıştır.
- Kırılan malzemeler elenerek sınıflandırılmış ve $425 \mu\text{m}$ ile $212 \mu\text{m}$ tane boyutu arasında kalan malzemeler alınmıştır. Bu aşamada tekrar temsili analiz numunesi alınıp besleme analizi yapılmıştır.
- Sınıflanan malzemelerin nemini uzaklaştırma amacıyla malzemeler 1 gün boyunca 50°C sıcaklıkta etüvde bekletilmiştir.

5.4.1. Tunçbilek Kömür Hazırlama Tesisi Tüvenan Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması

Kırılan malzeme elenerek sınıflandırılmış ve $-425 +212 \mu\text{m}$ fraksiyonunda kalan malzemeler teste kullanmak amacıyla ayrılmıştır. Bu $-425 +212 \mu\text{m}$ fraksiyonundan tekrar temsili analiz numunesi alınıp besleme analizi yapılmıştır.

Tunçbilek kömür hazırlama tesisi kömür numunesine yapılan test akım şeması Şekil 5.23'de ve ayırım ürünlerinin kül içeriği Çizelge 5.35'de verilmiştir.



Şekil 5.23. Tunçbilek kömür hazırlama tesisi numunesine yapılan zenginleştirme çalışması

Çizelge 5.35. Tunçbilek kömür hazırlama tesisi numunesine yapılan zenginleştirme çalıştırmaları analiz sonuçları

Tunçbilek-Kömür	Ağırlık (%)	Kurutulmuş Numune
		Kül %
Triboelektrostatik Besleme Numunesi	100.00	52.42
Konsantre	70.44	45.62
Kaba Ayrım Atık	19.11	69.50
Temizleme Atık	10.45	67.05

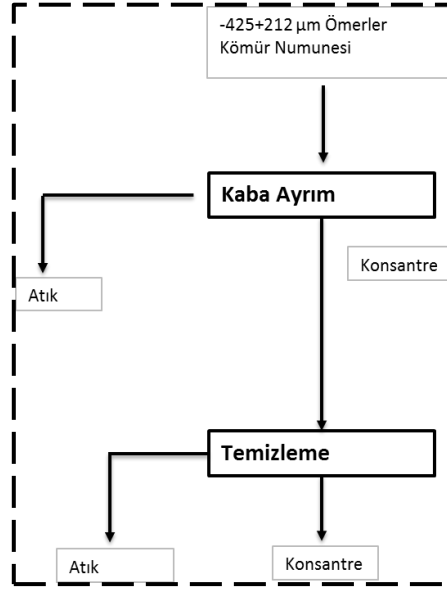
Yapılan bilimsel araştırmalarda, Tunçbilek kömürünün linyitle taşkömürü sınırında yer aldığı anlaşılmıştır. Tunçbilek kömürünün nem oranı düşüktür. Linyitin elektriksel direnci 9-200 ohm-metre ($\Omega.m$) arasında değerlendirilmektedir. Kömürün içerisinde bulunan ve uzaklaştırılmak istenen külün ise elektriksel direnci $10^9 - 10^{13}$ ohm-cm ($\Omega.cm$) arasında değişmektedir [62]. Bu değerler elektrostatik ayırıcıları anlatırken bahsedildiği üzere elektriksel direnci (birimi uluslararası birim sitemine göre ohm metre olarak adlandırılmakta ve $\Omega.m$ olarak gösterilmektedir.) yani bir malzemenin elektrik iletimine verdiği tepkiyi açıklamaktadır. Bu özellik malzemelerin iletken, yarı iletken veya yalıtkan olmalarına sebep olan özelliktir. İletken malzemeler düşük iletkenlik direncine sahiptirler (10^{-2} $\Omega.m$). Yarı iletken malzemeler ise 10^{-2} ve 10^2 $\Omega.m$ arasında iletkenlik direncine sahip olmakla birlikte yalıtkan malzemelerin iletkenlik direnci ise 10^{12} $\Omega.m$ olarak hesaplanmıştır [62]. Bu bilgiye dayanarak Tunçbilek kömür numunesine yapılmış olan ayırım testinin sonucunda düşük elektriksel dirence sahip yani iletken olan kül içeriği elektrot tarafından daha çok çekildiği gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışma ile besleme numunesindeki %52.42'lük kül oranı %45.62'ye düşürülmüştür. Kaba ayırım atığında ise kül oranı %69.50'ye çıkarken temizleme aşaması atığı %67.05 kül oranına sahiptir. Alınan toplam atıkta, beslemedeki kül %38.70 verim ile uzaklaştırıldığı görülmüştür. Bu çalışma Tunçbilek kömür hazırlama tesisinde kullanılan kömür numunesinin triboelektrikleme ile üretilen statik yük kullanılarak zenginleştirilebileceğini göstermiştir.

5.4.2. Ömerler Kömür Hazırlama Tesis Tüvanan Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması

Ömerler kömürü Tunçbilek kömürüne oldukça benzemektedir. Kırılan malzeme elenerek sınıflandırılmış ve -425 +212 μm fraksiyonunda kalan malzemeler testte kullanmak amacıyla ayrılmıştır

Ömerler kömür hazırlama tesisi kömür numunesine yapılan test akım şeması Şekil 5.24'de ve ayırım ürünlerinin kül içeriği Çizelge 5.36'de verilmiştir.



Şekil 5.24. Ömerler kömür hazırlama tesisi numunesine yapılan zenginleştirme çalışması

Çizelge 5.36. Ömerler kömür hazırlama tesisi numunesine yapılan zenginleştirme çalışmaları analiz sonuçları

Ömerler-Kömür Numunesi	Ağırlık(%)	Kurutulmuş Numune
		Kül%
Besleme Numunesi	100.00	50.33
Konsantre	90.79	49.08
Kaba Ayırım Atık	5.00	62.95
Temizleme Atık	4.21	62.34

Yukarıda da bahsedildiği gibi linyitin elektriksel direnci 9-200 ohm-metre ($\Omega\cdot\text{m}$) arasında değerlendirilmektedir. Kömürün içerisinde bulunan ve uzaklaştırılmak

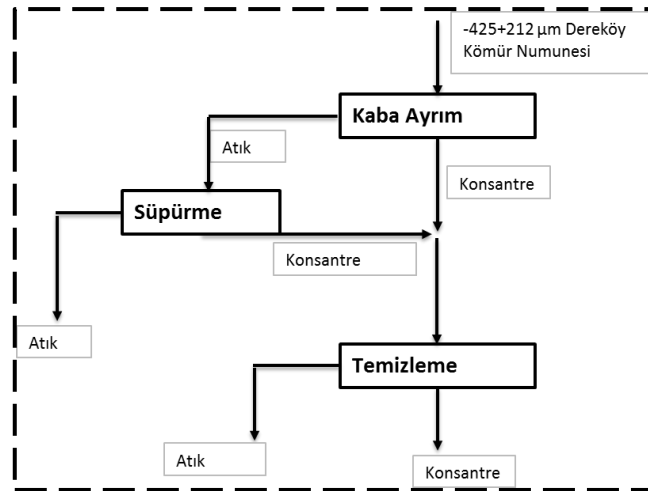
istenen külün ise elektriksel direnci $10^9 - 10^{13}$ ohm-cm (Ω .cm) arasında değişmektedir [62]. Ömerler kömür numunesine yapılmış olan ayırım testinin sonucunda düşük elektriksel dirence sahip yani iletken olan kül içeriği beklendiği gibi elektrot tarafından daha çok çekildiği gözlemlenmiştir.

Böylece yapılan çalışma ile besleme numunesindeki %50.33'lük kül oranı %49.08'e düşürülmüştür. Kaba ayırım atığında ise kül oranı %62.95'e çıkarken temizleme aşaması atığı %62.34 kül oranına sahiptir. Alınan toplam atıkta, beslemedeki kül %11.47 verim ile uzaklaştırıldığı görülmüştür. Bu çalışma Ömerler kömür hazırlama tesisinde kullanılan kömür numunesinin sürtünme ile üretilen statik yük kullanılarak zenginleştirilebileceğini göstermiştir. İstenilen ürün özelliklerine göre temizleme ve süpürme aşamaları eklenebilmesi mümkündür.

5.4.3. Dereköy Kömür Hazırlama Tesisi Tüvanan Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması

Kırılan malzeme elenerek sınıflandırılmış ve $-425 +212 \mu\text{m}$ fraksiyonunda kalan malzemeler testte kullanmak amacıyla ayrılmıştır. Yapılan test çalışmasında elde edilecek ürünün kül içeriğinin düşürülmesi hedeflenmektedir.

Dereköy kömür hazırlama tesisi kömür numunesine yapılan test akım şeması Şekil 5.25 ve ayırım ürünlerinin kül içeriği Çizelge 5.37'de verilmiştir.



Şekil 5.25. Dereköy kömür hazırlama tesisi numunesine yapılan zenginleştirme çalışması

Çizelge 5.37. Dereköy kömür hazırlama tesisi numunesine yapılan zenginleştirme çalışmaları kül analiz sonuçları

Dereköy-Kömür	Ağırlık(%)	Kurutulmuş Numune
		Kül%
Triboelektrostatik Besleme Numunesi	100	35.44
Konsantre	67.10	25.54
Süpürme Atık	5.67	64.49
Temizleme Atık	27.23	53.79

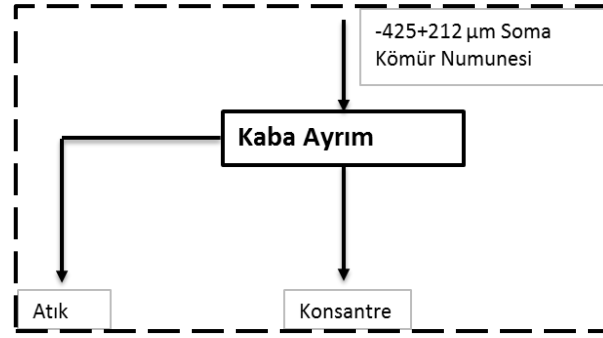
Yukarıda da bahsedildiği gibi linyitin elektriksel direnci 9-200 ohm-metre ($\Omega.m$) arasında değerlendirilmektedir. Kömürün içerisinde bulunan ve uzaklaştırılmak istenen külün ise elektriksel direnci $10^9 - 10^{13}$ ohm-cm ($\Omega.cm$) arasında değişmektedir [62]. Dereköy kömür numunesine yapılmış olan ayırım testinin sonucunda düşük elektriksel dirence sahip yani iletken olan kül içeriği öngörüldüğü gibi elektrot tarafından daha çok çekildiği gözlemlenmiştir.

Böylece yapılan çalışma ile besleme numunesindeki %35.44'lük kül oranı %25.54'e düşürülmüştür. Kaba ayırım atığında ise kül oranı %64.49'a çıkarken temizleme aşaması atığı %53.79 kül oranına sahiptir. Alınan toplam atıkta, beslemedeki kül %51.64 verim ile uzaklaştırıldığı görülmüştür. Bu çalışma Dereköy kömür hazırlama tesisinde kullanılan kömür numunesinin sürtünme ile üretilen statik yük kullanılarak zenginleştirilebileceğini göstermiştir.

5.4.4. Soma Bölgesinden Alınan Kömür Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması

Kırılan malzeme elenerek sınıflandırılmış ve -425 +212 μm fraksiyonunda kalan malzemeler testte kullanmak amacıyla ayrılmıştır. Çalışılan kömür numunesinde safsızlık olarak kül bulunmaktadır. Yapılan test çalışmasında elde edilecek ürünün kül içeriğinin düşürülmesi hedeflenmektedir.

Soma bölgesinden alınan kömür numunesine yapılan test akım şeması Şekil 5.26.'de ve ayırım ürünlerinin kül içeriği Çizelge 5.38'de verilmiştir. Ayırım sonrası numunelerin görüntüsü Şekil 5.27'de verilmiştir



Şekil 5.26. Soma bölgesinden alınan kömür numunesine yapılan zenginleştirme çalışması



Şekil 5.27. Soma kömür numunesi ayırım sonrası görüntüsü

Çizelge 5.38. Soma bölgesinden alınan kömür numunesine yapılan zenginleştirme çalışmaları kül analiz sonuçları

Soma-Kömür Numunesi	Ağırlık(%)	Kurutulmuş Numune
		Kül%
Besleme Numunesi	100	44.47
Konsantre	62.41	35.56
Atık	37.59	59.26

Yukarıda da bahsedildiği gibi linyitin elektriksel direnci kömürün içerisinde bulunan ve uzaklaştırılmak istenen külün elektriksel direncinden daha büyüktür [62]. Soma kömür numunesine yapılmış olan ayırım testinin sonucunda düşük elektriksel dirence sahip yani iletken olan kül içeriği beklendiği gibi elektrot tarafından daha çok çekildiği gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak yapılan çalışma ile besleme numunesindeki %44.47'lik kül oranı %35.56'ya düşürülmüştür. Kaba ayırım atığında ise kül oranı %59.26'ya çıkmıştır. Alınan atıkta, beslemedeki kül %50.10 verim ile uzaklaştırıldığı görülmüştür. Farklı kömür numuneleri üzerinde yapılan bu zenginleştirme çalışmaları, farklı kül içeriğine sahip kömür numunesinin sürtünme ile üretilen statik yük kullanılarak zenginleştirilebileceğini ve içeriklerindeki kül oranlarının bu sayede düşürülebileceğini göstermiştir.

5.4.5. 3 Farklı Feldspat Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması

Kırılan malzeme – 425 + 212 µm tane boyutları arasında testte kullanmak amacıyla sınıflandırılmıştır. Sodyum feldspat ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$) olarak belirlenen bu mineralin yan kayacı ise kuvars ve Fe_2O_3 içeren çeşitli minerallerdir. Kuvars (SiO_2) mineralinin elektriksel direnci $4\cdot 10^{10} - 2\cdot 10^4$ ohm-metre ($\Omega\cdot\text{m}$) arasında değişmektedir [62]. Demir minerallerinin iletkenliği ise $3.5\cdot 10^{-3} - 10^7$ ohm-metre ($\Omega\cdot\text{m}$) arasında değişmektedir [62]. Bu bilgilere dayanarak demir içerikli minerallerin daha düşük elektriksel dirence sahip oldukları ve bu yüzden iletken olarak sınıflandırılacaklarından dolayı elektrot tarafından çekilmeleri beklenmiş ve test sonucunda bu durumun gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Tez kapsamında belirgin ayırımı gözlemlmek için, sadece Fe içerikleri analiz edilmiştir. Triboelektrostatik ayırma konsantresi demir içeriği çok düşük olduğu için (<0.1) alınan ürün besleme değerleri hesaplanarak bulunmuştur. Buna göre ayırım sonuçları sunulmuş ve değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmaların sonuçları Çizelge 5.39'de verilmiştir.

Çizelge 5.39. Feldspat numunelerine yapılan çalışmaların analiz sonuçları

Ürünler	1. Feldspat Numunesi			2. Feldspat Numunesi			3. Feldspat Numunesi		
	Ağ. %	% Fe_2O_3	% Verim	Ağ. %	% Fe_2O_3	% Verim	Ağ. %	% Fe_2O_3	% Verim
Bes.	100	0.04	100	100	0.45	100	100	0.056	100
Kons.	91.8	0.017	38.5	85.4	0.0009	1.79	79.9	0.02	27.04
Atık	8.2	0.3	61.5	14.6	0.3	98.21	20.1	0.2	72.96

Satılabilir feldspat konsantresi %0,1'den daha az Fe_2O_3 içeriğine sahip olmalıdır. Yukarıdaki çizelgede görüldüğü gibi feldspat numunelerine yapılan çalışma sonucunda konsantrelerdeki % Fe_2O_3 içeriği %0.1 değerinin altına düşmüştür.

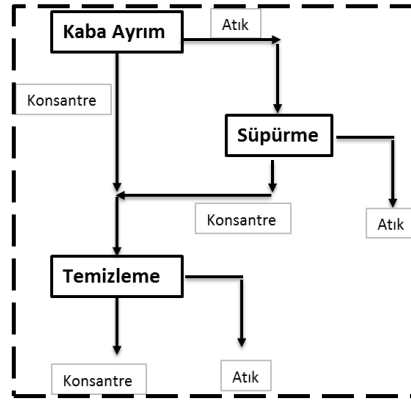
Atıklarda ise Fe_2O_3 'ün ölçülebilir değerlerde olduğu görülmüştür. 1.feldspat numunesinde Fe_2O_3 içeriğinin %61.5 verim ile, 2.feldspat numunesinde Fe_2O_3 içeriğinin %98.21 verim ile, 3.feldspat numunesinde Fe_2O_3 içeriğinin %72.96 verim ile atığa alındığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma sürtünme ile üretilen statik yükün feldspat numunelerinin içinde bulunan Fe_2O_3 'ün uzaklaştırılmasında kullanılabileceğini kanıtlamıştır.

5.4.6. Purunsur Bölgesinden Alınan Demir Cevheri Atık Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması

Purunsur bölgesinden alınan hematit cevheri kullanılmıştır. Yan kayaçları ise silisleşmiş ve karbonatlaşmış ultra bazik kayaçlardır. Cevherin ortalama tenörü % 55 civarındadır. Hematit (Fe_2O_3) mineralinin elektriksel direnci $3.5 \cdot 10^{-3} - 10^7$ ohm-metre ($\Omega.m$) arasında değişmektedir, kuvars (SiO_2) mineralinin elektriksel direnci ise $4 \cdot 10^{10} - 2 \cdot 10^4$ ohm-metre ($\Omega.m$) arasında değişmektedir [62].

Kırılan malzeme – 425 + 212 μm tane boyutları arasında testte kullanmak amacıyla sınıflandırılmıştır.

Purunsur Bölgesinden alınan demir cevheri atık numunesine yapılan çalışma akım şeması Şekil 5.28'de ve ayırım ürünlerinin % Fe_2O_3 içeriği Çizelge 5.40'da verilmiştir.



Şekil 5.28. Purunsur bölgesinden alınan demir cevheri atık numunesine yapılan çalışma akım şeması

Çizelge 5.40. Purunsur bölgesinden alınan demir cevheri atık numunesine yapılan çalışmaların analiz sonuçları

	Ağırlık %	Fe₂O₃%	Fe₂O₃ Verim %
Besleme	100	25.6	100
Konsantre	15.41	47.8	29.96
Atık 1	70.85	19.5	56.19
Atık 2	13.74	24.8	13.85

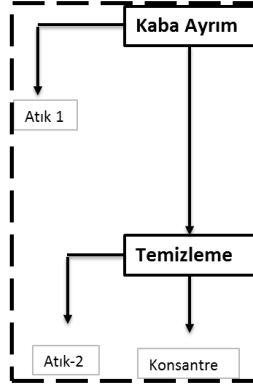
Hematit cevherinin elektriksel direnci cevher içerisinde bulunan diğer minerallerin elektriksel direncinden daha düşüktür. Dolayısıyla hematit görece cevher içerisinde bulunan diğer minerallerden daha iletkenidir. Yukarıdaki çizelgeden de görüldüğü gibi demir cevheri beslemesi %25.6 Fe₂O₃ içeriğine sahiptir. Yapılan çalışma sonucunda %47.8 Fe₂O₃ içeriğine sahip demir konsantresi iletken ürün olarak alınmıştır. Bu çalışma Purunsur bölgesinden alınan demir atık cevherinin sürtünme ile üretilen statik yük kullanılarak zenginleştirilebileceğini göstermiştir.

5.4.7. Altın, Bakır, Gümüş, Demir İçeren Sülfürlü Cevher Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması

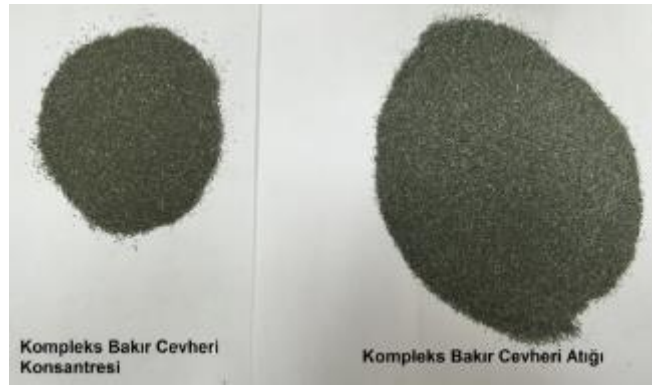
Çalışma kapsamında kullanılan kompleks bakır cevherinde altın, gümüş elementleriyle birlikte sfalerit ((Zn,Fe)S), galen (PbS) mineralleri ve genel olarak kalkopirit (CuFeS₂) minerali bulunmaktadır. Altın ve gümüşün elektriksel direnci sırasıyla $2.44 \cdot 10^{-8}$, $1.59 \cdot 10^{-8}$ ohm-metre ($\Omega.m$)'dir [63]. Kalkopirit mineralinin elektriksel direnci ise $4 \cdot 10^{-3}$ ohm-metre ($\Omega.m$) olmakla birlikte, sfalerit ve galen minerallerinin ise ortalama olarak sırasıyla 10^2 , $2 \cdot 10^{-3}$ ohm-metre ($\Omega.m$) olduğu bilinmektedir [62].

Kırılan malzeme – 425 + 212 μm tane boyutları arasında testte kullanmak amacıyla sınıflandırılmıştır. Altın, bakır, gümüş, demir içeren sülfürlü kompleks bakır cevherine ait beslemenin ayrıntılı analizi Ek-1'de verilmiştir.

Altın, bakır, gümüş, demir içeren sülfürlü kompleks bakır cevherine yapılan ayırım çalışması akım şeması Şekil 5.29'da ve analiz sonuçları ile Çizelge 5.41'de verilmiştir. Ayırım sonrası numunelerin görünümü Şekil 5.30'da verilmiştir



Şekil 5.29. Kompleks bakır cevherine yapılan ayırım çalışması akım şeması



Şekil 5.30. Kompleks bakır cevheri ayırım sonrası görüntüsü

Çizelge 5.41. Kompleks bakır cevherine yapılan ayırım çalışması analiz sonuçları

Ürünler	Ağırlık %	Au (ppm)	Au Verim %	%Cu	Cu Verim %	
Besleme	100.00	37.50	100.00	2.79	100.00	
Kons.	29.23	45.90	35.77	6.95	72.80	
Atık 1	48.21	20.80	26.74	0.51	8.74	
Atık 2	22.56	37.00	22.26	2.28	18.40	
Ürünler	%Fe	Fe Verim %	%Zn	Zn Verim %	Ag(ppm)	Ag Verim %
Besleme	16.85	100.00	0.25	100.00	10.10	100.00
Kons.	34.30	59.49	0.43	50.59	19.10	55.27
Atık 1	6.73	19.26	0.16	30.01	4.00	19.09
Atık 2	18.50	24.77	0.28	25.10	11.10	24.80

Kompleks bakır cevherinde bulunan kalkopirit, sfalerit, galen mineralleri ve altın ve gümüş metalleri düşük elektriksel direncine yani yüksek iletkenlik seviyesine sahiptir. Bu durumun sonucu olarak kompleks bakır cevheri ile yapılan çalışma sonucunda konsantre ürününde altın, bakır, demir, çinko ve gümüş tenörlerinin besleme tenörlerine göre arttığı görülmektedir. Bakır en yüksek verim olan %72.80

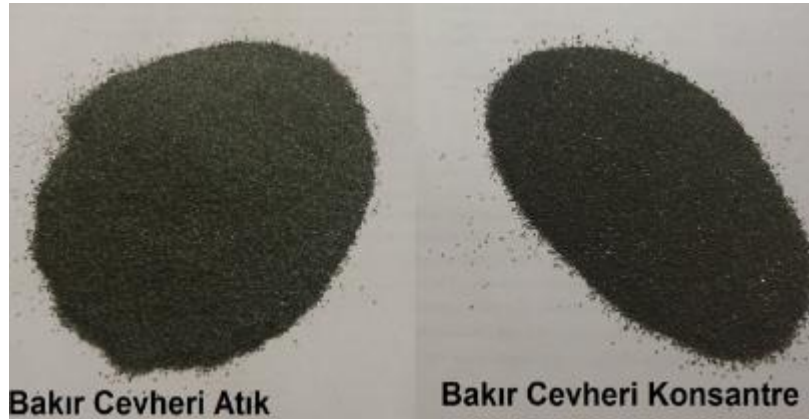
ile zenginleşmiştir. Kompleks bakır cevherinde yapılan bu çalışma sonucunda sürtünme ile üretilen statik yük ile altın, bakır, demir, çinko ve gümüş elementlerinin zenginleştirilebileceğini göstermiştir.

5.4.8. Sülfürlü Bakır Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması

Sülfürlü bakır numunesinde ise konsantreye kalkopirit (CuFeS_2), sfalerit ($(\text{Zn,Fe})\text{S}$), galen (PbS) ve pirit (FeS_2) minerallerinin alınması istenirken, kuvars (SiO_2) mineralinin atığa alınması istenmektedir. Kalkopirit mineralinin elektriksel direnci ise $4 \cdot 10^{-3}$ ohm-metre ($\Omega \cdot \text{m}$) olmakla birlikte, sfalerit, galen ve pirit minerallerinin ise ortalama olarak sırasıyla 10^2 , $2 \cdot 10^{-3}$, $3 \cdot 10^{-1}$ ohm-metre ($\Omega \cdot \text{m}$) olduğu bilinmektedir. Kuvars mineralinin elektriksel direnci $4 \cdot 10^{10} - 2 \cdot 10^4$ ohm-metre ($\Omega \cdot \text{m}$) arasında değişmektedir [62].

Kırılan malzeme – 425 + 212 μm tane boyutları arasında testte kullanmak amacıyla sınıflandırılmıştır.

Sülfürlü bakır cevheri ile yapılan tek kademe ayırım çalışması analiz sonuçları Çizelge 5.42’de verilmiştir. Ayırım sonrası numunelerin görüntüsü Şekil 5.31’de verilmiştir.



Şekil 5.31. Ayırım sonrası numunelerin görüntüsü

Çizelge 5.42. Sülfürlü bakır cevheri ile yapılan tek kademe ayırım çalışması analiz sonuçları

Ürünler	Ağ. %	%Cu	Cu Verim %	%Fe	Fe Verim %	%Pb	Pb Verim %	%Zn	Zn Verim %
Bes.	100.00	0.61	100.0	16.36	100.00	0.19	100.0	1.36	100.0
Kons.	33.19	1.41	76.84	21.22	43.05	0.35	62.63	2.21	53.93
Atık	66.81	0.20	22.05	12.14	49.58	0.10	36.64	0.85	41.81

Sülfürlü bakır cevheri ile yapılan test sonucunda bakır, kurşun, çinko ve demir tenörlerinin her birinin konsantrasyonunda yükseldiği görülmektedir. Bu durumun nedeni cevher içerisinde bulunan kalkopirit, sfalerit, galen ve pirit minerallerinin yukarıda da açıklandığı gibi elektriksel dirençlerinin yan taş olan silisli bileşiklerin elektriksel dirençlerinden daha düşük olmasıdır. Test sonucunda elde edilen tenör ve verim değerleri sülfürlü bakır cevherinin sürtünme ile üretilen statik yük kullanılarak zenginleştirilebileceğini göstermiştir.

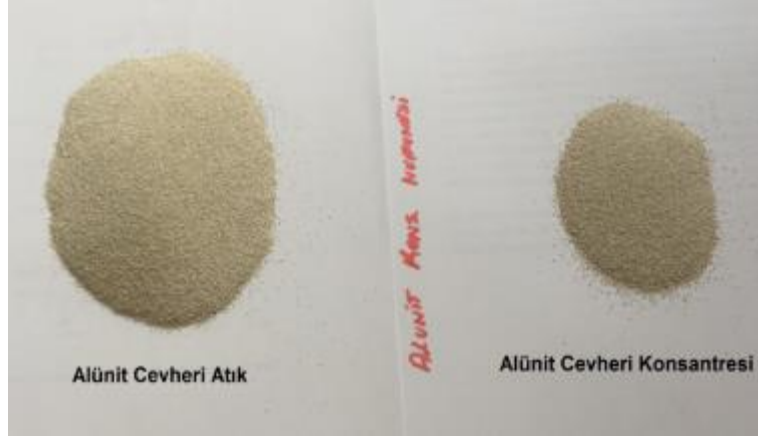
5.4.9. Kütahya Şaphane Bölgesinden Alınan Alunit Cevheri Üzerinde Yapılan Test Çalışması

Alunit cevheri beslemesi içerisinde %54.53 kuvars minerali, %42.03 alunit minerali bulunmaktadır. Kuvars mineralinin elektriksel direnci $4 \cdot 10^{10} - 2 \cdot 10^4$ ohm-metre ($\Omega \cdot m$) arasında değişmektedir [62]. Alüminyumun ise element halinde elektriksel direnci $2.82 \cdot 10^{-8}$ 'dir [63]. Bu değer alüminyumun elemental halden alümina adlı mineral içeriğine dönüştüğünde değiştiği düşünülmekle birlikte elektriksel alanda nasıl bir tepki vereceği anlaşılacak istenmiştir. Bu amaçla cevher kırılarak $- 425 + 212 \mu m$ tane boyutları arasında testte kullanmak için sınıflandırılmıştır. Alunit cevherine ait beslemenin ayrıntılı analizi Çizelge 5.43'de verilmiştir.

Çizelge 5.43. Alunit cevherine ait beslemenin ayrıntılı analizi

%							
Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SrO
17.14	54.53	0.32	0.07	0.02	4.35	0.06	0.03
TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI 1000	BaO	Cr ₂ O ₃	MnO	-
0.25	0.07	16.25	21.02	0.22	<0.01	0.02	

Alunit cevheri ile yapılan tek kademe ayırım çalışması analiz sonuçları Çizelge 5.44'de verilmiştir. Ayırım sonrası numunelerin görüntüsü Şekil 5.32'de verilmiştir.



Şekil 5.32. Alunit cevheri ayırım sonrası görüntüsü

Çizelge 5.44. Alunit cevheri zenginleştirme ayırım sonuçları

Ürünler	Ağırlık %	%Alunit
Besleme	100.00	29.75
Konsantre	16.84	37,33
Atık	83.16	27.81

Alunit cevheri üzerinde yapılan çalışma sonucunda besleme alunit değerinin %29.75 atık alunit tenörünün ise %27.81 olduğu görülmektedir. Atıkta alunit tenöründe düşme gözlenmiştir. Bu durumun nedeni yukarıda da bahsedildiği gibi cevher içeriğinde bulunan kuvars mineralinin elektriksel direncinin alüminyum içerikli minerallerden daha yüksek olmasıdır.

5.4.10. Eti Maden Bigadiç Bor İşletmelerinden Alınan Bor Cevheri Üzerinde Yapılan Test Çalışması

Eti Maden Bigadiç Bor İşletmelerinden alınan bor cevheri kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) bor cevheri olarak bilinmektedir. İçeriğinde bulunan kil yapısından uzaklaştırılması amacıyla bu ekipmana beslenmiştir. Beslemedeki kolemanit tenörü yaklaşık olarak %38'dir. Bor minerallerinin elektriksel direnci yaklaşık olarak 10^6 ohm-metre ($\Omega \cdot \text{m}$)'dir [64].

Kırılan malzeme – 425 + 212 µm tane boyutları arasında testte kullanmak amacıyla sınıflandırılmıştır.

Eti Maden Bigadiç Bor İşletmelerinden alınan bor cevheri ile yapılan tek kademe zenginleştirme çalışması sonuçları Çizelge 5.45'de verilmiştir ve ürünlerin görüntüsü Şekil 5.33'da verilmiştir.



Şekil 5.33. Bor cevheri ayırım sonrası görüntüsü

Çizelge 5.45. Bor cevheri zenginleştirme ayırım sonuçları

Ürünler	Ağırlık %	% B ₂ O ₃	B ₂ O ₃ Verim %
Besleme	100.00	37.75	100.00
Konsantre	20.58	34.45	18.78
Atık	79.42	38.58	81.16

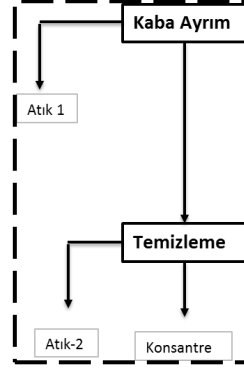
Bor cevheri ile yapılan test sonucunda ürünlerde gözle görülür bir fark olmasına karşın yapılan B₂O₃ analiz sonucunda büyük bir zenginleşme gerçekleşmediği gözlemlenmiştir.

5.4.11. Kromit Numunesi Üzerinde Yapılan Test Çalışması

Kromit cevheri beslemesi içeriğinde %33.06 Cr₂O₃ ve %8.45 Fe bulundurmaktadır. Yan taş olarak genel anlamda serpantin ((Mg, Fe)₃Si₂O₅(OH)₄) ve olivin (Mg⁺², Fe⁺²)₂SiO₄ mineralleri bulunmaktadır. Kromit cevherinin elektriksel direnci 1 – 10⁶ ohm-metre (Ω.m)'dir [62]. Olivin ve serpantin minerallerinin içeriklerinde bulunan demir, magnezyum ve silis içerikleri yan taşların elektriksel dirençlerini etkilemekte ve bu da ayırma işlemine yansımaktadır. Olivin ve serpantin minerallerini içeren yantaş oluşumu kromit mineralinin elektriksel direncinden daha düşük bir elektriksel

dirence sahip olduğu düşünölmektedir. Bunun sonucu olarak yantaş daha iletken bir yapı oluşturduğu için elektrot tarafından daha çok çekilmektedir.

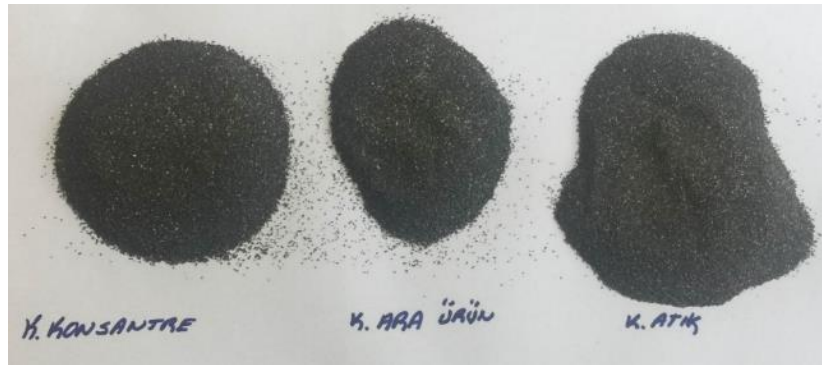
Kromit cevheri ile yapılan tek kademe temizleme ayırım çalışması akım şeması Şekil 5.34'da ve analiz sonuçları Çizelge 5.46'de verilmiştir. Ayırım sonrası numunelerin görünümü Şekil 5.35'de verilmiştir.



Şekil 5.34. Kromit cevherine yapılan ayırım çalışması akım şeması

Çizelge 5.46. Kromit cevheri zenginleştirme ayırım sonuçları

Ürünler	Ağırlık %	%Cr ₂ O ₃	%Fe	Krom Verimi %	Fe Verimi %
Besleme	100.00	33.06	8.45	100.00	100.00
Konsantre	42.22	37.62	8.76	48.04	43.78
Kaba Ayırım Atık	36.30	27.94	8.24	30.67	35.40
Temizleme Atık	21.48	32.77	8.19	21.29	20.82



Şekil 5.35. Kromit cevheri ayırım sonrası görüntüsü

Kromit cevheri ile yapılan test sonucunda kromit tenörünün konsantre ürününde yükseldiği görölmektedir. Bu durumun nedeni krom cevheri ile yan taşların elektriksel dirençlerinin farklılık göstermesidir. Bu değerler kromit cevherinin sürtünme ile üretilen statik yük kullanılarak zenginleştirilebileceğini göstermiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuç

Bu tez kapsamında elektrostatik ayırıcılarda ayırım kuvvetini oluşturan statik yükün sürtünme ile oluşturulabileceği ortaya konulmuş ve sürtünme ile üretilen statik yük ile elektrostatik ayırma yapılmasının mümkün olduğu belirlenmiştir.

Su ve enerji kaynaklarının önemi her geçen gün artmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan çalışma cevher hazırlama sektöründe $-425\ \mu\text{m}+75\ \mu\text{m}$ tane boyut aralığında birçok cevherin kuru bir yöntemle ve alternatiflerine göre çok daha düşük işletme maliyeti ile ayrılabilmesini göstermiştir.

Triboelektrik serinin iki farklı ucundan seçilen malzemeler kullanılarak elektrostatik ayırıcılarda ihtiyaç duyulan birkaç on bin volt seviyesinde potansiyel yük oluşturabileceği ortaya konulmuştur.

Üretilen yüksek statik yükün kullanılabilmesi bir ayırım ünitesi başarıyla kurulmuş, çalıştırılmış ve zenginleştirme çalışmalarında kullanılabilmesine dair son derece başarılı ayırma testleri gerçekleştirilmiştir.

Triboelektrik seriden seçilen farklı cins rulo ve bantlar ile pozitif ve negatif statik yükün oluşturulabildiği, sürtünme hızı, sürtünen madde cinsi vb. gibi işlem değişkenleri ile farklı değerlerde ve özelliklerde elektrik yükleri üretilebileceği ortaya konulmuştur.

Yapay numuneler kullanılarak elektrik üretim ünitesinde ve zenginleştirme ünitesindeki işlem değişkenlerinin ayırım performansını ne şekilde etkilediği incelenmiştir. Sonuçlar elektrostatik ayırıcıların çalışma aralıklarına uygun olarak hazırlanmış yapay karışım numuneleri ile son derece yüksek ayırma performansına ulaşılabileceğini göstermektedir.

Son olarak da farklı bölgelerden temin edilen kömürler ve cevherler üzerindeki zenginleştirme çalışmaları ile farklı cevher tiplerinde de başarılı sonuçlar elde edilebildiği ortaya konulmuştur.

Genel olarak mineral ayırmada triboelektriklenme denildiğinde minerallerin sürtünme ile yüklenmesi ve bir yüksek statik yük alanında bu tanelerin ayrılması anlaşılmakta ve literatürde de bu yönde yapılmış çalışmaların sonuçları

bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında ise literatürden farklı olarak sürtünme ile üretilen statik yükün temel ayırıcı kuvvet olarak kullanılabilmesi ortaya konulmuştur. Çalışma bu yönüyle literatürde mevcut olmayan bir çalışma olmuştur. Tez kapsamında ve daha sonra yapılacak çalışmalardan elde edilecek sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, literatüre kazandırılacak çok sayıda yayın potansiyeli ortaya çıkmıştır.

Tez kapsamında oluşturulan statik yük toplama ünitesi gibi mekanik sistemlerin üretimi son derece kolay olduğu gibi, mevcut tesislerde bulunan bant sistemlerinden de yararlanılabilecektir.

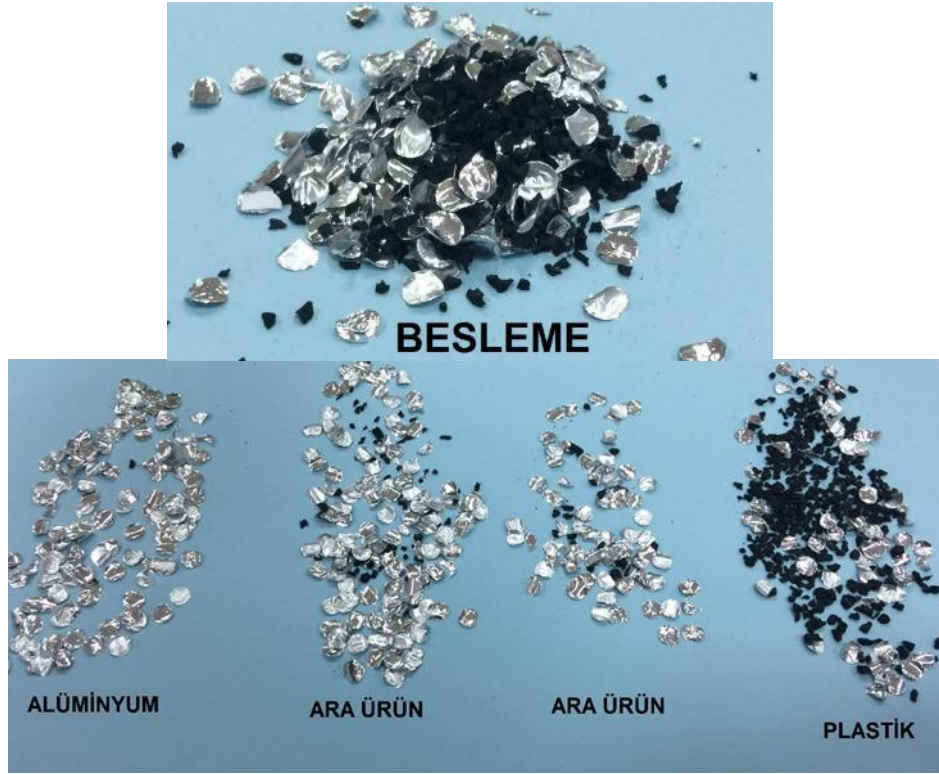
Yüksek statik yük üretilmesine karşın aynı voltaj değerinde sürekli bir akım oluşmadığından mevcut elektrostatik ayırıcılara oranla güvenli bir ortam sağlamaktadır. Bu özellikleri de göz önünde bulundurulduğunda, literatüre katkının yanında cihazın endüstriyel kullanıma sunulabilecek avantajlar taşıdığı da ortaya konulmuştur.

7.2. Öneriler

Tez kapsamında bahsedilen uygulama ve zenginleştirme çalışmaları yanında plastik geri dönüşümünde, plastikleri atık elektronik parçalardan veya metallere ayırmada da kullanılabilmesini göstermek amacıyla bir ön çalışma yapılmış ve sonucunda oldukça umut vadeden veriler ortaya konulmuştur (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Kâğıt ve alüminyum ile yapılan geri dönüşüm test ürünleri



Şekil 6.2. Plastik ve alüminyum ile yapılan geri dönüşüm test ürünleriŞekil 6.1, Şekil 6.2'de de görülebileceği gibi triboelektrostatik ayırıcıda yapılan alüminyum-kâğıt, alüminyum-plastik ayrımlarında da oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Sürtünme ile elektriklenme sonucunda pozitif yüklenen alüminyumun negatif yüklü elektrota çekilerek geri dönüştürülebilir kâğıt ve plastikten ayrılabilirdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre, tez kapsamında tasarlanıp, kurulmuş olan triboelektrostatik ayırıcı her geçen gün önemi artarak büyüyen geri dönüşüm sektörü için bir ayırma ekipmanı alternatifi olarak değerlendirilebilir.

Oldukça önemli ve başarılı sonuçlara ulaşıldığı düşünülen bu tez kapsamında geliştirilen yöntemin pilot ölçekli olarak kurulması, endüstriyel bir veya birkaç tesiste yapılacak uygulamalar ile endüstriyel uygulamalarının da önünün açılacağı düşünülmektedir. Bu tez kapsamında kurulmuş olan triboelektrostatik ayırıcının geri dönüşüm sektörü için daha uygun hale getirilerek daha kapsamlı testler yapılması ve bu ayırıcının cevher zenginleştirme sektörü dışında geri dönüşüm sektöründeki değerli maddelerin tekrar kullanıma kazandırılmasında da büyük rol oynayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kelly E.G., Spottiswood D.J., Introduction to Mineral Processing Wiley-Interscience Publication, 291 – 300, **1982**.
- [2] Mular A.L., Halbe D.N., Barratt D.J., Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control. Editörler: Mular A. L. Vancouver: SME, Halbe D. Salt Lake City: SME, Barratt D.J. North Vancouver: SME. 1049-168, **2002**.
- [3] Saeki M., Triboelectric Separation of Binary Plastic Mixture, World Academy of Science, Engineering and Technology Vol:4 , 818-821, **2010**.
- [4] Hangsubcharoen M. Chapter 5: Triboelectric charging of coal and quartz by turbocharger. E-book. <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-042999-164825/unrestricted/CH5.PDF>
- [5] Hangsubcharoen M. Chapter 1: Introduction
<https://theses.lib.vt.edu/theses/available/etd-042999-164825/unrestricted/CH1-P1.PDF> (20.12.2016)
- [6] Wills B. A., Napier-Munn T., Mineral Processing Technology An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. Editörler: Wills, B. A., Napier-Munn T. Elsevier Science & Technology Books, 365-372, **2006**.
- [7] Tilmatine A., Medles K., Bendimerad S.E., Boukholda F., Dascalescu L., Electrostatic Separators Of Particles: Application To Plastic/Metal, Metal/Metal And Plastic/Plastic Mixtures Waste Management 29, 228–232, **2009**.
- [8] Younes M., Younes A. Sayah H., Tilmatine A., Samuila A., Dascalescu L., Numerical and Experimental Study of Insulating Particles Behavior in Roll-Type Corona-Electrostatic Separators, Particulate Science and Technology, 31, 71–80, **2013**.
- [9] Zegloul T., Touhami S., Richard G, Miloudi M, Dahou O., Dascalescu L., Optimal Operation of a Plate-Type Corona-Electrostatic Separator for the Recovery of Metals and Plastics from Granular Wastes, IEEE Transactions On Industry Applications, VOL. 52, NO. 3, **2016**.
- [10] Richard G., Touhami S., Zegloul T., Dascalescu L., Optimization of Metals and Plastics Recovery from Electric Cable Wastes Using a Plate-Type Electrostatic Separator, Waste Management, **2016**.
- [11] Tripathy S.K., Ramamurthy Y., Kumar C.R., Modeling of High-Tension Roll Separator for Separation of Titanium Bearing Minerals, Powder Technology 201, 181–186, **2010**.
- [12] Higashiyama Y., Asano K., Recent Progress In Electrostatic Separation Technology, Particulate Science and Technology
<http://www.tandfonline.com/loi/upst20> (20.12.2016)
- [13] Bittnera J.D., Hracha F.J., Gasiorowskia S.A., Canellopoulusb L.A., Guicherd H. Triboelectric Belt Separator For Beneficiation Of Fine Minerals, 2nd International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate Industry Procedia Engineering 83, 122 – 129, **2014**.

- [14] Iuga A., Cuglesan I., Samuila A., Blajan M., Vadan D., Ascalescu L. Electrostatic Separation of Muscovite Mica from Feldspathic Pegmatites, 0-7803-7116-X/01 (C) IEEE, 2249- 2255, **2001**.
- [15] Das S., Samuila A., Dragan C., Dascalescu L., Behaviour of Charged Insulating Particles in Contact with A Rotating Roll Electrode, Journal of Electrostatics 67, 189–192, **2009**.
- [16] Allen R. C., Triboelectric Generation: Getting Charged Reproduced with Permission, EE-Evaluation Engineering, November, 1-6, **2000**.
- [17] Iuga A., Samuila A., Morar R., Bilici M., Dascalescu L., Tribocharging techniques for the electrostatic separation of granular plastics from waste electric and electronic equipment, Particulate Science and Technology, VOL. 34, NO. 1, 45–54, **2016**.
- [18] Wei J. , Realf M.J., Design and Optimization of Drum-type Electrostatic Separators for Plastics Recycling, Ind. Eng. Chem. Res., 44, 3503-3509, **2005**.
- [19] Çelik M.S., Yaşar E., Technical Note Effect of Temperature and Impurities on Electrostatic Separation of Boron Minerals, Mineral Engineering, Vol. 8, No. 7, 829-833, **1995**.
- [20] Li T.X., Ban H., Hower J.C., Stencel J.M., Saito K., Dry Triboelectrostatic Separation of Mineral Particles: A Potential Application in Space Exploration, Journal of Electrostatics 47 , 133-142, **1999**.
- [21] Tao D., AL-hwaiti M., Beneficiation Study of Eshidiya Phosphorites Using A Rotary Triboelectrostatic Separator, Mining Science and Technology 20, 0357–0364, **2010**.
- [22] Mirkowska M., Kratzer M., Teichert C., Flachberger H., Atomic Force Microscopy as a Tool to Explore Triboelectrostatic Phenomena in Mineral Processing, Chem. Ing. Tech. 2014, 86, No. 6, 857–864, **2014**.
- [23] Wang H., Chen S., Cai B., Ge L., Chen Q., Study on the Dynamics of Tribocharged Coal and Mineral Particles in Free-Fall Triboelectric Separator, Separation Science and Technology, 49: 2990–2998, **2014**.
- [24] Ban H., Li T. X., Hower J. C., Schaefer J. L., Stencel J. M., Dry triboelectrostatic beneficiation of fly ash, Fuel Vol, 76, No. 8, 801-805, **1997**.
- [25] Soong Y., Schoffstall M.R., Link T.A., Triboelectrostatic Beneficiation of Ash, Fuel 80, 879-884, **2001**.
- [26] Baltrus J.P., Diehl J.R., Soong Y., Sands W., Triboelektrostatic Separation of Fly Ash and Charge Reversal, Fuel 81, 757 – 762, **2002**.
- [27] Dwari R.K., Hanumantha Rao K., Tribo-electrostatic Behaviour of High Ash Non-Coking, Indian thermal coal Int. J. Miner. Process. 81, 93–104, **2006**.
- [28] Cangialosi F., Notarnicola M., Liberti L., Stencel J. M., The Effects of Particle Concentration and Charge Exchange on Fly Ash Beneficiation with Pneumatic Triboelectrostatic Separation, Separation and Purification Technology 62, 240–248, **2008**.
- [29] Xin-xi Z., Dai-yong D., Bing T., Jin-song W., Feng D., Hai-sheng L., Rui-xin M., Research On The Triboelectrostatic Separation Of Minerals From Coal,

- The 6th International Conference on Mining Science & Technology Procedia Earth and Planetary Science 1, 845–850, **2009**.
- [30] Dwari R.K., Hanumantha Rao K., Somasundaran P., Characterisation of Particle Tribo-Charging and Electron Transfer with Reference to Electrostatic Dry Coal Cleaning, *Int. J. Miner. Process.* 91, 100–110, **2009**.
- [31] Dwari R.K., Mohanta S.K., Rout B., Soni R.K., Reddy P.S.R., Mishra B.K., Studies On The Effect Of Electrode Plate Position And Feed Temperature On The Tribo-Electrostatic Separation Of High Ash Indian Coking Coal, *Advanced Powder Technology* 26, 31–41, **2015**.
- [32] Tao D., Fan M., Jiang X., Dry Coal Fly Ash Cleaning Using Rotary Triboelectrostatic Separator, *Mining Science and Technology* 19, 0642–0647, **2009**.
- [33] Tao D., Sobhy A., Li Q., Honaker R., Zhao Y., Dry Cleaning of Pulverized Coal Using A Novel Rotary Triboelectrostatic Separator, (RTS) *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 31: 187–202, **2011**.
- [34] Chen J., Honaker R., Dry Separation on Coal–Silica Mixture Using Rotary Triboelectrostatic Separator, *Fuel Processing Technology* 131, 317–324, **2015**.
- [35] Zhang L., Hou J., Bi X. T., Grace J.R., Janke T., Electrostatic Beneficiation of Fly Ash in A Free-Falling System, *Claudio Arato Particuology* 10, 154–160, **2012**.
- [36] Nemeth E., Albrecht V., Schubert G., Simon F., Polymer Tribo-Electric Charging: Dependence On Thermodynamic Surface Properties And Relative Humidity, *Journal of Electrostatics* 58, 3–16, **2003**.
- [37] Park C., Jeon H., Park J., PVC removal from mixed plastics by triboelectrostatic separation a *Journal of Hazardous Materials* 144, 470–476, **2007**.
- [38] Park C.H., Park J.K., Jeon H.S., Chul Chun B., Triboelectric Series and Charging Properties of Plastics Using The Designed Vertical-Reciprocation Charger, *Journal of Electrostatics* 66, 578–583, **2008**.
- [39] Benhafssa A.M., Medles K., Boukhoulda M.F., Tilmatine A., Messal S., Dascalescu L., Study of a Tribo-Aero-Electrostatic Separator for Mixtures of Micronized Insulating Materials, *IEEE Transactions On Industry Applications*, VOL. 51, NO. 5, **2015**.
- [40] Zelmat M.M., Rizouga M, Tilmatine A., Medles K., Miloudi M., Dascalescu L., Experimental Comparative Study of Different Tribocharging Devices for Triboelectric Separation of Insulating Particles, *IEEE Transactions pn Industry Applications*, VOL. 49, NO. 3, 1113, **2013**.
- [41] Zelmat M.M., Rizouga M., Tilmatine A., Bendaoud A., Medles K., Dascalescu L., Experimental Analysis of a Vibrating Tribocharging Device of Plastic Particles for a Free-Fall Electrostatic Separator, *IEEE Transactions On Industry Applications*, VOL. 50, NO. 6, 4228-4232, **2014**.
- [42] Miloudi M., Dascalescu L., Li J., Medles K., Tilmatine A., Improved Overall Performances of a Tribo-Aero-Electrostatic Separator for Granular Plastics

- From Waste Electric and Electronic Equipment, IEEE Transactions On Industry Applications, VOL. 51, NO. 5, 4159- 4165, **2015**.
- [43] Miloudi M., Dascalescu L., Li J., El-Mossouess S. Medles K., Tribo-aero-electrostatic Separator for Coarse Granular Insulating Materials.
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01104816> (20.12.2016)
- [44] Wu G., Li J., Xu Z., Triboelectrostatic Separation For Granular Plastic Waste Recycling: A Review, Waste Management 33, 585–597, **2013**.
- [45] Li J., Wu G., Xu Z., Tribo-Charging Properties of Waste Plastic Granules in Process of Tribo-Electrostatic Separation, Waste Management, 35, 36–41, **2015**.
- [46] Diaza A.F., Felix-Navarro R.M., A Semi-Quantitative Tribo-Electric Series for Polymeric Materials: The Influence of Chemical Structure and Properties, Journal of Electrostatics, 62, 277–290, **2004**.
- [47] Panat R., Wang J, Parks E., Effects of Triboelectrostatic Charging Between Polymer Surfaces in Manufacturing and Test of Integrated Circuit Packages, IEEE Transactions on Components, Packaging And Manufacturing Technology, VOL. 4, NO. 5, 943-946, **2014**.
- [48] Boukhoulda M.F., Miloudi M., Medles K., Rezoug M., Tilmatine A., Dascalescu L., Experimental Modeling of a New Triboelectrostatic Separation Process for Mixed Granular Polymers, IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 49, NO. 6, 2375- 2381, **2013**.
- [49] Ciccu R., Peretti R., Serci A., Tamanini M. and Zucca A., Experimental Study on Triboelectric Charging of Mineral Particles, J. of Electrostatics, 23, 157, **1989**.
- [50] Higashiyama, Y., Ujiie, Y., Asano, K., Triboelectrification of Plastic Particles on a Vibrating Feeder Laminated with a Plastic Film, J. Electrostat, 42, 63-68, **1997**.
- [51] McCown R., Gross F. B., Medium Velocity Impact Triboelectrification Experiments with JSC Mars-1 Regolith Stimulant, J. Electrostat., vol. 64, no. 3/4, 187–193, **2006**.
- [52] Buda G., Bilici M., Dascalescu L., and Samuila A., Influence of Material Moisture on The Tribocharging Process of Plastic Granules Particulate Sci. Technol., Vol. 31, no. 3, 162–167, **2013**.
- [53] Iuga A., Calin L., Neamtu V., Mihalcioiu A., Dascalescu L., Tribocharging of Plastics Granulates in a Fluidized Bed Device, J. Electrostat., vol. 63, no. 6–10, 937–942, **2005**.
- [54] Dwari R.K., Rao K.H., Novel Fluidised-bed Tribo-electrostatic Separator for Dry Coal Preparation, Conference in Minerals Engineering, 15-29, **2008**.
- [55] Benabboun A., Brahmi Y., Tilmatine A., Miloudi M., Dascalescu L., Bendaoud A., Experimental Investigation of a New Tribo-electrostatic Separation, Process For Mixed Fine Granular Plastics, EPC-366, 1-5, **2013**.
- [56] Bilici M., Tribocharging and Electrostatic Separation of Mixed Granular Solids in Fluidized Bed Devices, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 18, no. 5, 1476–1483, **2011**.

- [57] Bilici M. A., Toth J.R., Sankaran R.M., Lacks D.J., Particle Size Effects in Particle-Particle Triboelectric Charging Studied With an Integrated Fluidized Bed and Electrostatic Separator System, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 85, 103903, **2014**.
- [58] Pearse M. J., Hickey T. J., The Separation of Mixed Plastics Using a Dry Triboelectric Technique, Res. Conserv. Recovery, vol. 3, no. 2, 179–190, 1978.
- [59] Yanar D. K., Kwetkus B. A., Electrostatic Separation of Polymer Powders, J. Electrostat., 35, 257-266, **1995**
- [60] Inculet I. I., Castle G. S. P., Brown J. D., Electrostatic Separation of Plastics for Recycling Part. Sci. Technol., 16, 91-100, **1998**.
- [61] Wu Y., Castle G. S. P., Inculet I. I., Particle Size Analysis in The Study of Induction Charging of Granular Materials J. Electrostat., vol. 63,no. 3/4, 189–202, **2005**.
- [62] Telford. Electrical Properties of Rocks and Minerals,
http://crack.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/492/data/2011/GPH492_ALL_FILES_2011/AppliedGeophysics_Telford/AppliedGPH_ElectricalPropertiesOfRocksAndMinerals.pdf (20.12.2017)
- [63] [The Engineering ToolBox. Resistivity and Conductivity - Temperature Coefficients for Common Materials,](http://www.engineeringtoolbox.com/resistivity-conductivity-d_418.html)
http://www.engineeringtoolbox.com/resistivity-conductivity-d_418.html (20.12.2017)
- [64] Wikipedia. Boron, <https://en.wikipedia.org/wiki/Boron> (07.02.2017)
- [65] RimstarOrg, <https://www.youtube.com/watch?v=Fph08eKTVZM&t=3s> (20.12.2017)

EKLER

EK – 1

Altın, bakır, gümüş, demir içeren sülfürlü kompleks bakır cevherine ait beslemenin ayrıntılı analizi

BESLEME	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi
	ppm	%	ppm			
	10.1	1.7	455	110	<0.5	35
	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
	%	ppm				%
	1.23	12.6	113	20	>10000	16.85
	Ga	K	La	Mg	Mn	Mo
	ppm	%	ppm	%	ppm	
	10	0.24	<10	0.9	543	49
	Na	Ni	P	Pb	S	Sb
	%	ppm			%	ppm
	0.02	7	150	84	>10.0	9
	Sc	Sr	Th	Ti	Tl	U
	ppm			%	ppm	
	4	79	<20	0.08	<10	10
	V	W	Zn	-		
	ppm					
86	40	2490				

EK – 2

Triboelektrik seri

Pozitif Yük			
		Siliko dolgulu esnek silikon	Hava
		Cıvalı Bor cam	İnsan Eli
	Yün	Pencere Camı	Asbest
		Anilin formüllü reçine	Tavşan kürkü
		Poliformaldehit	Cam
		Polimetil metakrilat	Mika
		Ethyl cellulose	İnsan Saçı
		Polyamit 11	
Naylon 6,6	Naylon	Polyamit 6-6	Naylon
		Kaya Tuzu(NaCl)	Yün
			Kürk
		Örgü kürk	Kurşun
		Cıvalı Silika	İpek
	Viskoz	Dokuma ipek	Alüminyum
Selüloz		Poliyeten glikol	Kâğıt
Selüloz asetat		Selüloz asetat	
	Pamuk	Dokuma Pamuk	Pamuk
		Poliüretan elastomer	Çelik
	İpek	Stiren akrilonitril	Tahta
		Kopolimer	
		Stiren butadiyen	Kehribar
	Asetat	Polyester	Bal mumu
Polimetil metakrilat	Lusit	Poliizobütlen	Sert plastik
Polivinil asetat	Polivinil alkol	Poliüretan esnek sünger	Nikel, Bakır
	Sentetik kumaş	Boronsilikat camı	Pirinç, Gümüş
		Poliyeten tereftalat	Altın, Platin
		Polivinil butiral	Sülfür
			Asetat, Suni ipek
		Epoksi reçine	Polyester
			Strafor
	Sentetik Elyaf	Nitril kauçuk	Sentetik Elyaf
		Doğal plastik	Suya dayanıklı plastik (Saran)
Poliakrilonitril		Poliakrilonitril	
Polivinil klorür	Polivinil klorür	Sülfür	
Polibisfenol karbonat	Sentetik fiber		
Poliklore eter	Velon		Poliüretan
Polivinilidenklorür			
Polienilen oksit			
Polyester			
Poliyeten	Poliyeten	Poliyeten	Poliyeten
Polipropilen		Polipropilen propan karbonat	Polipropilen
		Klorlu polieter	
		Polivinil klorür (%25 dioktilftalat)	Vinil (sentetik kumaş)(PVC)
		Yumuşatıcısız kolorlu polieter	Silikon
		Politetraflüoroetilen	Teflon
Negatif Yük			

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Tahsin Onur DİZDAR

Doğum Yeri: Altındağ

Medeni Hali: Bekar

E-Posta: dizdaronur@gmail.com

Adres: Yazıkırı b Sitesi A/2 blok no:5 Ümitköy Çankaya/Ankara

Eğitim

Lise: Özel Aydın Anadolu Koleji (2003-2007)

Lisans: Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği (2007-2013)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce: Okuma (İleri), Yazma (İleri), Konuşma (İleri)

İş Deneyimi

Labris Madencilik (02.2017 - ...)

1001 Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı – Bursiyer
(10.2015 – 10.2016)

Deneyim Alanları

Filtre press başta olmak üzere cevher hazırlama ekipmanları, elektrostatik ayırma, , alümit flotasyonu, cevher hazırlama laboratuvar ve plot ölçekli test çalışmaları, yeni cevher hazırlama ekipmanlarının tasarlanması ve geliştirilmesi

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-1001 Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı 160.818,00
TL

Tezden Üretilmiş Yayınlar

T. Onur Dizdar, Gizem Kocausta, Ergin Gülcan, , Özcan Y. Gülsoy, A new method to produce high voltage static electric load for electrostatic separation – Triboelectric charging, *Powder Technology*, vol 327, pp. 89-95, 2018

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumuna 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: 10/01/2018

Tez Başlığı / Konusu: TRİBOELEKTROSTATİK AYIRICI TASARIM PARAMETRELERİNİN MİNERAL AYIRMADA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 101 sayfalık kısmına ilişkin, 10/01/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

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

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'mı 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.

Adı Soyadı: Tahsin Onur DİZDAR
Öğrenci No: N13222506
Anabilim Dalı: Maden Mühendisliği
Programı: Cevher Hazırlama
Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

Tarih ve İmza

10.01.2018

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Özcan Yıldırım GÜLSOY

(Unvan, Ad Soyad, İmza)