



DEĞERLİ METALLERİN EDDY AKIMI
YÖNTEMİYLE AYRIŞTIRILMASI

Ali KARTAL
Yüksek Lisans Tezi
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Ahmet FENERCİOĞLU
2012
Her hakkı saklıdır.

T.C.
GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEĞERLİ METALLERİN EDDY AKIMI
YÖNTEMİYLE AYRIŞTIRILMASI

ALİ KARTAL

TOKAT

2012

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. Ahmet FENERCİOĞLU danışmanlığında, **Ali KARTAL** tarafından hazırlanan bu çalışma 18/12/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Ahmet FENERCİOĞLU

İmza :



Üye : Prof. Dr. Sefa TARHAN

İmza :



Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Metin ÖZGÜVEN

İmza :



Yukarıdaki Sonucu Onaylarım

Yrd.Doç.Dr. Mustafa Numan BAKIRCI
Enstitü Müdürü V.



11/01/2013

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Ali KARTAL

ÖZET

Y. Lisans Tezi

DEĞERLİ METALLERİN EDDY AKIMI YÖNTEMİYLE AYRIŞTIRILMASI

Ali KARTAL

Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet FENERCİOĞLU

Demir içermeyen değerli iletken metalleri ayrıştırmadaki yeniliklerden bir tanesi, demirsiz - Eddy akımı ayrıştırıcısı kullanımıdır. Yüksek alanlı mıknatıs bloklarından oluşan bir rotor, bir Eddy akımı üretecek şekilde yüksek hızlarda döndürülür. Bu Eddy akımı değişik metallerde onların öz kütle ve öz dirençlerine göre kuvvetler oluşmaktadır. Böylece alüminyum, bakır, pirinç gibi demir içermeyen iletken metaller, Eddy akımının oluşturduğu kuvvetler ile kolaylıkla havaya kaldırılır ve ayrıştırmanın yapıldığı ürün akışından dışarı alınabilmektedir. Malzemenin cinsi, öz kütlesi, öz direnci, biçimi, boyutları, rotorun hızı, mıknatısların alan şiddeti, kutup sayısı oluşan Eddy akımının genliğini, frekansını ve fırlatma kuvvetinin büyüklüğünü belirleyici olmaktadır. Bu çalışmada Eddy akımıyla ayrıştırma yönteminin teorisi, ayrıştırıcının analitik yaklaşımları dikkate alınarak, prototip bir ayrıştırıcı imalatı yapılmıştır. Prototibin mıknatıslı tamburu 900 ve 2100 d/dk arasında döndürüldüğünde 50x40 mm ve 40x30 mm boyutlarındaki alüminyum, bakır ve pirinç test malzemelerinde oluşan kuvvetler ve ivmeler ölçülmüştür. Kuvvet olarak en iyi sonuç 2100 d/dk hızda 50x40 mm boyutlarda elde edilmiştir. Buna göre 55,8 g pirinçte 3,63 N, 17,5 g bakırda 3,53 N ve 8,6 g alüminyumda 3,43 N kuvvet ölçülmüştür. Ayrıca verim deneylerinde çeşitli boyutlarda 2 kg atıkla yapılan ayrıştırma işleminde 1500 d/dk hızın üzerinde %95'in üzerinde bir başarı elde edilmiştir.

2012, 52 sayfa

Anahtar Kelimeler: Demirsiz metal ayrıştırıcı, Eddy akımlı ayrıştırıcı, Değerli metallerin geri dönüşümü, Manyetik olmayan iletken malzemelerin ayrıştırılması,

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

VALUABLE METALS SEPERATION WITH EDDY CURRENT METHOD

Ali KARTAL

Gaziosmanpaşa University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechatronics Engineering

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Ahmet FENERCİOĞLU

One of the new innovations at the separating of precious conductive metals that doesn't include iron is the useage of non-ferrous-Eddy current separator. A rotor that consisted of high field magnet blocks is rotated at high speeds to produce an Eddy current. This Eddy current generates forces according to density and resistivity of various metals. Thus, the non-ferrous metals such as aluminum, copper, brass are easily levitated with the Eddy current forces and can be separated out from mixed material flow. Type of material, density, resistivity, shape, size, rotor speed, flux density of magnets and pole numbers the resulting Eddy current amplitude, frequency and magnitude of the repellent force will be significative. In this study, a prototype of a separator were made considering the theory of Eddy current method and separator's analytical approaches. When the prototype magnetic drum is rotated between speeds 900-2100 rpm, the induced forces and accelerations in the aluminium, copper and brass test materials were measured. Test mareials sizes are 50x40 and 40x30 mm. Therefore in the brass has 55.8 g weight the force is 3,63 N, in the copper has 17,5 g weight, the force is 3,53 N and in the aluminium has 8,6 g weight the force is 3,43 N. Besides, in the seperation of several sizes 2 kg scraps %95 higher efficiency is obtained at upper drum speed of 1500 rpm.

2012, 52 page

Keywords: Non-ferrous metal separator, Eddy current separator, Valuable metals recycling, Separation of conductive materials.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmaları sürecinde, çalışmalarımın tüm aşamalarında her türlü desteği sağlayan Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Ahmet FENERCİOĞLU'na, katkılarından ve yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim. Mekatronik Mühendisliği Bölümünün değerli öğretim elemanlarına, Arş. Gör. Mücahit SOYASLAN'a, arkadaşım Yusuf AVŞAR'a, projemize bütçe sağlayan Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığına ve çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen Sevgili eşim Aysun KARTAL ve çocuklarım Kerem ve Eren'e çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması 2012/62 nolu proje ile GO.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

Ali KARTAL

Aralık, 2012

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Ayırıştırma	8
2.2. Ayırıştırma Yöntemleri ve Ayırıştırıcılar	8
2.2.1. Kaynakta ayrı toplanması	9
2.2.2. Sokak toplayıcılarının yaptığı ayırıştırma.....	10
2.2.3. Belediyelerin kurduğu katı atık geri dönüşüm tesislerinde ayırıştırma	10
2.2.4. Geri dönüşüm tesislerinde ayırıştırıcılarla metallerin ayırıştırılması	11
2.3. Değerli Metallerin Ayırıştırılması ve Ekonomik Boyutu	13
2.4. Eddy Akımı (fukolt, girdap) Nedir	18
2.4.1. Eddy akımı kullanım alanları.....	19
2.5. Eddy Akımı Ayırıştırıcısının Gelişim Süreci.....	20
3.MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1. Eddy Akımı Ayırıştırıcısının Teorisi	22
3.1.1. Eddy akımı ile malzeme üzerinde ayırıştırma kuvvetinin oluşturması.....	23
3.1.2. Eddy akımı ayırıştırıcısının verimi	27
3.2. Eddy Akımı Ayırıştırıcısı Prototip Tasarımı.....	27
3.3. Eddy Akımı Ayırıştırıcısı Prototip İmalatı	29
3.3.1. Ayırıştırıcı motorları ve sürücüsü	29
3.3.2. Gövde.....	31
3.3.3. Mıknatıs tambur ve mıknatıslar	31
3.3.3.1. Rotor yapımında kullanılan neodum mıknatısların özellikleri	33

3.3.4. Konveyör bantta hareket veren tambur.....	34
3.3.5. Konveyör bant.....	35
3.3.6. Gövde kaplaması.....	36
3.4. Eddy Akımı Ayrıştırıcısı Deney Düzeneği	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	41
4.1. Deneysel Veriler	41
5. SONUÇ	47
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	52

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
F	Kuvvet (Newton)
E	Elektriksel alan (volt/metre)
B	Manyetik akı yoğunluğu (Tesla)
q	Parçacığın elektriksel yükü (coulomb)
v	Parçacığın anlık hızı (metre/saniye)
F_r	İtme kuvveti (Newton)
H	Manyetik alan şiddeti (A/m)
f	Frekans (Hertz)
n	Mıknatıslı tamburun dönme hızı(m/s)
p	Manyetik kutup sayısı
m	Kütle(kg)
σ	Elektriksel İletkenlik (S/m)
ρ	Malzeme yoğunluğu(kg/m ³)
s	Şekil faktörü.
Φ_B	Manyetik akı
t	Zaman(s)
μ	Manyetik geçirgenlik (H/m)
μ_M	Manyetik moment (Am ²)
e	Emk (V)
M_p	Parçacıktaki mıknatıslanma
V_p	Parçacığın hacmi(m ³)
a_n, b_n	Fourier katsayısı
R_{drum}	Tambur yarıçapı (m)
ω_{drum}	Tamburun açısal hızı (rad/s)
k	Tamburdaki mıknatıs çifti
F_{Lpt}	Teğet kuvvet (Newton)
F_{Lpr}	Radyal kuvvet (Newton)

ω	Mıknatıslı çiftinin genişliği (m)
Ω	Dönen parçacığın açısal hızı (rad/s)
r, ϕ, z	Silindirik koordinat sistemi bileşenleri
τ	Karakteristik zaman (s)
b	Parçacığın yarıçapıdır. (m)

Kısaltmalar

Açıklama

AC	Alternative Current
TV	Televizyon
APAK	Atık Pil Akümülatör Kontrol Yönetmeliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
EMK	Elektromotor Kuvvet
BAP	Bilimsel Araştırma Projeleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Örnek bir entegre katı atık yönetimi tesisi.....	2
Şekil 1.2. Mamak Belediyesi katı atık geri dönüşüm tesisi	3
Şekil 1.3. Eddy Akım Ayırıştırıcısı ve Ayırma İşlevi.....	3
Şekil 2.1. Atıkların kaynaktan ayrı toplanması.....	9
Şekil.2.2. Atıkların sokak toplayıcıları tarafından toplanması	10
Şekil 2.3. Belediye geri dönüşüm tesislerinde atıkların ayrıştırılması	11
Şekil 2.4. a)Roll manyetik ayırıştırıcılar b) tambur manyetik ayırıştırıcılar.....	12
Şekil 2.5. Eddy akım ayırıştırıcısı.....	13
Şekil 2.6. Hammaddeden ve kullanılmış alüminyumdan üretilen alüminyum karşılaştırılması	15
Şekil 2.7. ABD alüminyum kutuları geri kazanma oranı	16
Şekil 2.8. Avrupa ülkelerinde geri kazanılmış alüminyumdan alüminyum üretimi.....	17
Şekil 2.9. Girdap akımlarının oluşumu	18
Şekil 2.10. Girdap akımlarının malzeme üzerindeki manyetik akısı	19
Şekil 2.11. Eddy akım ayırıştırıcısı.....	20
Şekil 3.1. Eddy akım ayırıştırıcısının prensip şeması	22
Şekil 3.2. Eddy akımı ayırıştırıcısı ile alüminyumun ayrıştırılması	23
Şekil 3.3. Döner tamburlu Eddy-akım ayırıştırıcısının üstten görünüşü.....	23
Şekil 3.4. Döner tamburlu Eddy-akım ayırıştırıcısı	26
Şekil 3.5. Eddy akım ayırıştırıcısının bilgisayar destekli tasarımı.....	28
Şekil 3.6. a)Asenkron motor b) redüktörlü asenkron motor	29
Şekil 3.7. Değişik AC motor sürücü (hız kontrol) cihazları	30
Şekil 3.8. Eddy akım ayırıştırıcısının gövdesi	31
Şekil 3.9. Mıknatıslı tamburun bilgisayar destekli çizimi	32
Şekil 3.10. Mıknatıslı tamburun malzemesinin işlenmiş hali.....	32
Şekil 3.11. Mıknatıslı tamburun mıknatıslarının yerleştirilmesi	32
Şekil 3.12. PVC boru ile kaplanmış mıknatıs tambur ve derlinler	33
Şekil 3.13. N52 neodum mıknatıs.....	34
Şekil 3.14. Konveyör banta hareket veren tambur.....	35

Şekil 3.15. Eddy akım ayırıştırıcısında kullanılan konveyör bant	35
Şekil 3.16. Eddy akım ayırıştırıcısının gövde kaplaması.....	36
Şekil 3.17. Eddy akım ayırıştırıcısının deney için hazırlanması.....	37
Şekil 3.18. a) 50x40 mm pirinç, alüminyum ve bakır malzemeler b) 40x30mm bakır, alüminyum ve pirinç malzemeler	38
Şekil 3.19. Dinamometre ile kuvvet ölçümü	38
Şekil 3.20. Eddy akımı ayırıcısında ayırıştırma kuvvetini ölçme deneyi	39
Şekil 3.21. Eddy akımı ayırıştırıcısında verimin bulunması deneyi	39
Şekil 3.22. Eddy akımı ayırıştırıcısında küçük parçacıkları ayırıştırma deneyi	40
Şekil 4.1. 50x40 mm ebatlarındaki malzemede oluşan ayırıştırma kuvveti	43
Şekil 4.2. 50x40 mm ebatlarındaki malzemede oluşan ivme	43
Şekil 4.3. 40x30 mm ebatlarındaki malzemede oluşan ayırıştırma kuvveti	44
Şekil 4.4. 40x30 mm ebatlarındaki malzemede oluşan ivme	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Eddy akımı ayrıştırıcısı ile ayrıştırılan malzemeler ve özellikleri.....	7
Çizelge 2.1. Avrupa ülkelerinde alüminyum geri kazanma oranı	17
Çizelge 3.1. Deney malzemesinin ebatları ve kütlesi	37
Çizelge 4.1. 50x40 mm ebatlarındaki malzemeleri ayrıştırma deney verileri	42
Çizelge 4.2. Malzemelerin elektriksel iletkenlikleri ve yoğunlukları.....	42
Çizelge 4.3. 40x30 mm ebatlarındaki malzemeleri ayrıştırma deney verileri	44
Çizelge 4.4. Eddy akımı ayrıştırıcısının verimi	46

1. GİRİŞ

Modern hayatın sürdürülmesi amacıyla doğal kaynakların kullanılması ve ömürlerini doldurması sonucu büyük bir atık sorunu meydana gelmektedir. Doğal kaynakların hızla tükenmesi, doğanın tahribatı ve çevre kirliliği, tüketimden kaynaklanan atıkların bertaraf sorunu, bertaraf maliyetleri ve depolamada yer ihtiyacına bağlı sorunlar, insanoğlunu kaynakların optimum kullanımı ve atıkların azaltılması veya değerlendirilmesi konusunda yeni yöntemler geliştirmeye yöneltmektedir.

Doğal kaynakların hızla tüketildiği bir dünyada, onların saflığını korumak, geliştirmek ve işlenmeleri esnasındaki kirlilikleri azaltmak, ham maddelerin daha hızlı ve etkin bir şekilde yeniden ıslahını ve geri dönüşümünü sağlamak günümüzün öncelikleri arasındadır. Tabii kaynakların sonsuz olmadığı, dikkatlice kullanılmadığı takdirde bir gün bu doğal kaynakların tüeneceği herkes tarafından bilinmektedir. Tabii kaynaklarımızı korumanın bir yolu da atıkların geri dönüşümünü ile mümkündür. Atıkların geri dönüşümü aynı zamanda insan ve çevre sağlığına, doğal kaynaklarımızın korunmasına, atık miktarının azaltılmasına, çöp işlemlerinin kolaylaşmasına katkıda bulunur. Enerji tasarrufu sağlamamıza ve ekonomiye yatırım yapmamıza yardımcı olmaktadır.

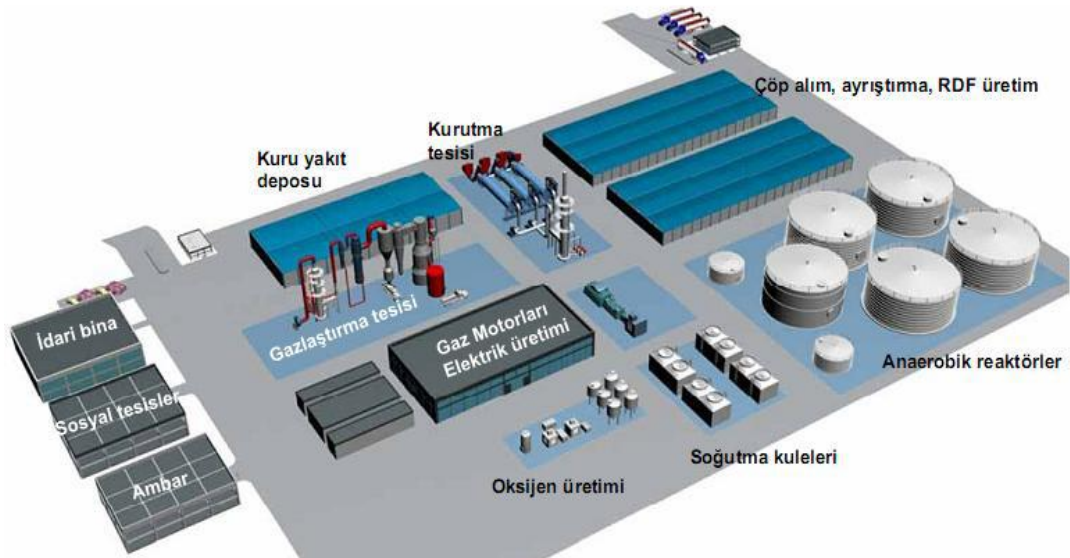
Atıkların geri dönüşümü, ülkelerin öncelikli hedefleri arasına girmiş ve yasal mevzuatlarda da yer bulmaktadır. Ülkemizde geri dönüşüm; 2872 sayılı Çevre Kanunu, Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği (APAK), Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği, Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği gibi yasal düzenlemelerle teşvik edilmektedir.

Geri dönüşümü tesislerinde, piyasada ekonomik şekilde değerlendirilebilecek malzemeler ayrıştırılmakta ve ihtiyaç halinde preslenmektedir. Ayırma ve sınıflandırma işleminden sonra bu malzemeleri değerlendiren kuruluşlara satılmaktadır. Evsel ve sanayi atıklarında bulunan değerlendirilebilir katı atıklar, genellikle aşağıdaki sınıflardan ibaret olmaktadır.

- Cam ve seramik,
- Kâğıt/karton,
- Plastik (PET, PVC, PP/PE, LDPE), kauçuk,
- Metal (Alüminyum, demir, pirinç alaşımları, bakır),
- Tekstil, deri,
- Ahşap,
- Kemik.

Genel olarak, ikincil kaynaklardan metallerin geri dönüşümü, cevherlerden metal elde edilmesi işlemlerine göre önemli oranda enerji tasarrufu sağlamaktadır. Metaller için enerji tasarrufu % 60-95 aralığında değişmektedir. Bu nedenle atıklardan metallerin geri kazanım süreci, doğal kaynakların korunmasına katkı sağlarken bu işlemi daha az enerji sarfiyatı ile gerçekleştirilmektedir.

Avrupa ülkeleri ve ABD’de atıkların geri kazanımı yönünde büyük tesisler kurularak, atıklar cinslerine göre ayrıştırılmakta ve geri dönüşüm sağlanmaktadır. Ayrıştırma işlemi, atık malzeme çeşitlerine göre farklı makinelerde yapılmaktadır. Bir entegre katı atık yönetimi tesisi örneği Şekil 1.1’de ve Şekil 1.2’de gösterilmektedir.



Şeki 1.1. Örnek bir entegre katı atık yönetimi tesisi



Şekil 1.2. Mamak Belediyesi katı atık geri dönüşüm tesisi

Bu çalışmada kullanılan cihaz ve sistemler ülkemizde henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. Genellikle demir içeren manyetik malzemelerin makineler ile ayrıştırılması düşünüldüğünden, diğer manyetik olmayan malzemelerden ayrıştırma yapılarak, geri kazanım yoluna genellikle gidilmemektedir. Ancak alüminyum, bakır, pirinç gibi değerli malzemelerin atık içerisinde geri kazanım düşüncesi, bu projenin ana teması olan Eddy akımlı ayrıştırıcının tasarımı, üretimi ve kullanımını önemli kılmaktadır.

Yapılan literatür araştırmasında, bu konuda birçok yabancı çalışmanın bulunduğu görülmekle beraber, ülkemizde yapılmış olan yeterli bilimsel çalışma bulunmamaktadır. Demir içermeyen iletken metallerin ayrıştırılarak kazanılması amacıyla kullanılan Eddy akımlı ayrıştırıcılar, yurt dışından ithal edilmektedir. Eddy akım ayrıştırıcısı ve ayırma işlevi Şekil 1.3’ de gösterilmektedir. (Anonim, 2012a).



Şekil 1.3. Eddy akım ayrıştırıcısı ve ayırma işlevi

Tezin amacı, malzeme ayrıştırmadaki heyecan verici yeniliklerden bir tanesi olan Eddy akımı ayrıştırıcısının teorisini inceleyerek bir prototipini yapmak ve deneysel çalışmalarla, yöntemin performansını belirlemektir. Bu çalışma, gelecekte ülkemizde atıkların azaltılmasında, kentsel yerleşim alanları ve endüstrinin kabul etmediği demirsiz metallerin, yeniden kazanım ile ekonomiye kazandırılması hedeflenmektedir. Ayrıca çevre korumasına da katkı sağlaması düşünülmektedir.

Bu sistem özellikle endüstriyel atık ve çöplerin içerisindeki manyetik olmayan değerli metallerin veya toprakla birlikte alınan metallerin topraktan ayrıştırılması için geliştirilmektedir. Bu sayede yapılan geri dönüşümle malzemenin tekrar kazanımı sağlanmakta; saflaştırma yapılarak doğaya ve ekonomiye katkıda bulunmaktadır. Metal endüstrisinin talep ettiği hammadde metal miktarının giderek yüksek değerlere çıkmaktadır. Endüstriyel ve evsel atıkların ayrıştırılabileceği ve bunların hammaddeye dönüştürülerek ekonomiye ve çevreye sağlayacağı katkılar dikkate alındığında Eddy akımı ayrıştırıcısının önemi ortaya çıkmaktadır.

Tezin Genel Bilgiler bölümünde Eddy akımı ayrıştırıcısı ile ilgili yapılan literatür çalışmaları verilmektedir. Atıkların ayrıştırma yöntemleri ve gelişim sürecinden bahsedilmektedir. Değerli metallerin geri kazanımı ve ekonomik boyutu incelenerek, Eddy akımı ve ayrıştırıcısının teorik altyapısına değinilmektedir. Tezin Materyal ve Yöntem bölümünde Eddy akımı ayrıştırıcısının prototip tasarımı ve imalatı anlatılmaktadır. Eddy akımının oluşumu ve kullanıldığı yerlerden bahsedilerek, ilgili manyetik ve elektriksel kanunlar irdelenmektedir. Tartışma ve Bulgular bölümünde; prototip Eddy akımı ayrıştırıcısı üzerinde kuvvet, ivme ve verim deneylerinin sonuçları incelenmektedir. Sonuç bölümünde ise elde edilen veriler ile sistemin performansı yorumlanmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

Ülkemizde Eddy akımı ayırıştırıcısı konusunda yeterli çalışmaya ve yayına rastlanmamıştır. Genellikle literatürde yurtdışı çalışmalara ve yayınlara ulaşılmıştır. İlk yayınlarda Eddy akımı yöntemiyle çalışan ayırıştırıcı, rampa tip “Demirsiz Metal Ayırıştırıcı” olarak isimlendirilmektedir. Bu yöntemle rampa üzerinden aşağı bırakılan demirsiz malzemelerin ayırıştırılması sağlanmaktadır. Otomobil hurda atıklarında ve öğütülmüş atıklar içerisinde manyetik olan ve manyetik olmayan metallerin (çoğunlukla alüminyum) ayırıştırılmasındaki kullanılmaktadır. (Schloemann, 1977, 1978).

Schloemann ve ark, (1979) Eddy akımı ayırıştırıcısının teorisinin geliştirilmesi, analitik metotların belirlenmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır. Aynı zamanda malzeme türüne göre oluşan kuvvet değerlerinin elektriksel ve manyetik parametrelerin belirlenmesi üzerine deneysel ve teorik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Veriminin artırılması ve daha küçük boyutlardaki malzemelerin, parçacıkların ayırıştırılması için çeşitli çalışmalarda bulunmuşlardır.

Eddy akımı ayırıştırıcısı ilk kez Eriez Magnetic firması tarafından 1969 yılında manyetik olmayan iletken malzemeleri ayırştırmak için tasarlanmış ve patent alınmıştır (Anonim, 2012d). İki tip olarak geliştirilen bu ayırıştırıcının birinci tipinde darbeli elektromanyetik alan, diğer tipinde ise sabit manyetik alanlı blok mıknatıslardan oluşan yüksek hızlı rotor ile malzemedeki Eddy akımı oluşturarak ayırıştırma yapılmıştır (Dobney, 1993).

Fletcher ve Gerber (1994)'in yaptığı çalışmalarda ayırıştırıcı tasarımının geliştirilmesine yönelik olmuştur. Eddy akımı ayırıştırıcısının teorisinin geliştirilmesi, analitik yöntemlerin belirlenmesi, malzeme türüne göre oluşan kuvvet değerlerinin, elektriksel ve manyetik parametrelerin belirlenmesi üzerine deneysel ve teorik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çok küçük parçacıkların ayırıştırılabilmesi için çeşitli yöntemler kullanmışlardır.

Bilgisayar teknolojisinin etkin olarak kullanılmasıyla birlikte yapılan çalışmalarda Eddy akımlı ayrıştırıcının bilgisayar destekli tasarımı, simülasyonları, modellenmesi ve analizleri yapılarak tasarımın geliştirilmesine yönelik büyük adımlar atılmaktadır. (Lungu ve Rem, 2003). Bu sistem özellikle endüstriyel atık ve çöplerin içerisindeki manyetik olmayan değerli metallerin veya toprakla birlikte alınan metallerin (madeni nesnelerin) topraktan ayrıştırılması için geliştirilmiştir. Bu sayede yapılan geri dönüşümle malzemenin tekrar kazanımı sağlanmakta; saflaştırma yapılarak doğaya ve ekonomiye katkıda bulunmaktadır.

Öztürk (2005) tarafından hazırlanan bir raporda, geri kazanılmış alüminyum atıklarından alüminyumun elde edilmesi örnek olarak verilmektedir. Kullanılmış alüminyumun geri kazanılması ile daha az enerji ve hammadde tüketildiği vurgulanmaktadır. Kullanılmış alüminyumdan, alüminyum üretildiğinde sera gazı emisyonunun % 95, atık su kirlenmesinin % 97 oranında azaltılabileceği belirtilmektedir.

Fenercioğlu ve Kurt (2007)'un çalışmasında; yüksek alanlı mıknatıs bloklarından oluşan bir rotor, bir Eddy akımı üretecek şekilde yüksek hızlarda döndürülmektedir. Bu Eddy akımı değişik metallerde onların öz kütle ve öz dirençlerine göre farklı tepkiler verilmektedir. Böylelikle alüminyum, bakır, pirinç gibi demirsiz iletken metaller, Eddy akımının oluşturduğu kuvvetler ile kolaylıkla havaya kaldırmakta ve ayrıştırmanın yapılacağı ürün akışından dışarı alınabilmektedir. Malzemenin cinsi, özkütlesi, öz direnci, biçimi, boyutları, rotorun hızı, oluşan Eddy akımının genliğini, frekansını ve fırlatma kuvvetinin büyüklüğünü belirleyici olmaktadır. Bu çalışmada, (Fenercioğlu ve Kurt, 2007) Eddy akımı yönteminin teorisi, analitik yaklaşımları, manyetik olmayan malzemeleri ayrıştırma sürecinde kullanılması, bu sayede atık metallerin geri kazanımı ve alüminyumun geri dönüşümü ile sağlanan ekonomik ve çevresel faydalar ile ilgili bir örnek verilmektedir.

Kang ve Schoenung (2005)'un yaptıkları çalışmalarında; bir Eddy akımı ayırıcısı için başlıca kriter ayırmada ρ malzemenin yoğunluğu, σ elektriksel iletkenliği ve σ / ρ yoğunluğun elektriksel iletkenliğe oranı olduğunu belirtmektedir. Burada yoğunluk başına iletkenliği daha yüksek olan malzemeler daha kolay bir şekilde

ayrıştırılmaktadır. Bu ayrıştırmada küçük parçacıkların ayrıştırılma oranının yüksek olduğu görülmektedir. Çizelge 1.1’de gösterildiği gibi, alüminyum bu orandan dolayı kolaylıkla ayrıştırılabilmektedir.

Çizelge 1.1. Eddy akımı ayrıştırıcısı ile ayrıştırılan malzemeler ve özellikleri (Kang ve Schoenung, 2005)

Malzemeler	Elektriksel İletkenlik	Yoğunluk	Elektriksel iletkenlik / Yoğunluk
	σ ($10^{-8}/\Omega\text{m}$)	$P(10^3\text{kg}/\text{m}^3)$	σ/ρ ($10^3\text{m}^2 / \Omega\text{kg}$)
Al	0.35	2.7	13.1
Zn	0.17	7.1	2.4
Ag	0.63	10.5	6.0
Cu	0.59	8.9	6.6
Pirinç	0.14	8.5	1.7
Pb	0.05	11.3	0.4

Wang ve ark. (2005)’ları tarafından yapılan çalışmada, Eddy akımı ayrıştırıcılarının en verimli tipi olarak bilinen mıknatıslı tamburun yatay döndüğü tip üzerinde yapılan deneysel çalışmalar verilmektedir. Manyetik akı frekansının artırılması için mıknatıslı rotorun dönüş hızını ve manyetik kutup sayısının artırılması gerektiğini ve bu artış sonucunda da ayrıştırma kuvvetinin maksimum değere ulaşacağı vurgulanmıştır. Bunun yanında malzeme besleme ve konveyör bandı hızının da ayarlanması sonucunda, ayrıştırma veriminin arttığını belirtilmektedir. Yapılan deney çalışmasında 2-5 mm boyutunda ve çeşitli ağırlıklardaki alüminyum ve plastik karışımı içerisinde malzeme ayrıştırılması sırasında mıknatıslı rotorun hızı 10 Hz ile 25 Hz arasında, konveyör bantın dönüş hızı ise 6 Hz ile 12 Hz arasında değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda mıknatıslı rotorun 25 Hz’de, konveyör bantın ise 8 Hz’de döndürüldüğünde verimin %95 değerinin üzerinde olduğu sonucuna varılmıştır (Wang ve ark. 2005).

Hacıfazlıoğlu (2011)’nin yaptığı çalışmada Eddy akımlı ayrıştırıcılar sayesinde, alüminyum gibi demir içermeyen maddeler ayrılabilmiş ve yeni geliştirilen manyetik sıvılarla platin grubu metallerin etkili bir şekilde zenginleştirildiğini tespit edebilmektedir.

2.1. Ayrıştırma

Yeniden değerlendirilme imkanı olan atıkların, çeşitli fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirilerek, ikincil hammaddeye dönüştürülmek üzere atıklarının malzeme cinsine göre fiziksel olarak gruplandırılmasıdır.

Diğer bir tanımlamayla, herhangi bir şekilde kullanılarak kullanım dışı kalan geri dönüştürülebilir atık malzemelerin, çeşitli geri dönüşüm yöntemleri ile hammadde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılmasıdır.

Bu çalışmadaki ayrıştırmada ise evsel ve sanayi atıkları içerisindeki demir dışı metaller arasında, temel olarak bakır, çinko, kurşun, alüminyum, nikel, pirinç, kalay ve magnezyum gibi metalleri Eddy akım ayrıştırıcısı kullanılmıştır.

2.2. Ayrıştırma Yöntemleri ve Ayrıştırıcılar

Katı atıkların fiziksel ve / veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikincil hammadde olarak üretimi sürecine sokulmasına “Geri Dönüşüm” denilmektedir. Katı atıkların toplama ve temizleme dışında herhangi bir işleme tabi tutulmadan, aynı şekli ile ekonomik ömrü doluncaya kadar defalarca kullanılmasına “Tekrar Kullanım” denilmektedir. Tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşimlerinin fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesine “Geri Kazanım” denilmektedir.

Evsel ve sanayi atıklarının geri dönüşümü, tekrar kullanımı ve geri kazanımını sağlamak için atıkların ayrıştırılması gerekmektedir. Evsel ve sanayi atıklarının ayrıştırmanın birden fazla yöntemi bulunmaktadır.

2.2.1.Kaynakta ayrı toplanması

Ekonomik değeri olan nitelikli atıkların, buldukları kaynakta çöple karıştırılmadan ve kirlenmesine izin verilmeden ayrılarak toplanmasıdır. Bu tür atıkların, diğer çöplerle karışmadan ayrı toplanması geri dönüşüm basamaklarında zamandan tasarruf sağlar. Bu yöntemle atığın kirlenmesinin önüne geçilerek ayrıca yıkanmasına gerek kalmayacaktır. Bu sayede sudan da tasarruf sağlanmış olacaktır. Bu yöntem eğitilmiş ve geri dönüşümün önemini kavramış toplumlarda uygulanabilmektedir. Bu ayrıştırma yönteminde yerel yönetimlerin alt yapı hazırlama zorunluluğu vardır. Atıkların kaynakta ayrı toplanması Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Atıkların kaynakta ayrı toplanması.

Kaynağında ayrıştırma işlemi ile kaynağında ayrı toplanan malzemelerin cam, metal plastik ve kağıt bazında sınıflara ayrılmaktadır. Ayrıştırılan atıklar değerlendirilmek üzere geri dönüşüm tesislerine ulaştırılmaktadır. Kaynağında sınıflandırma yapılmadan toplanan çöpler, ana çöp alanlarında ayrıştırılarak yeniden değerlendirme yapan işletmelere taşınmaktadır. Kaynağında sınıflandırılması ise zaman, nakliye ve işçilikten tasarruf yapılmasını sağlamaktadır.

2.2.2. Sokak toplayıcılarının yaptığı ayrıştırma

Ülkemizde kaynağında ayrı toplanıp alınmayan geri kazanım ürünleri, mahalle aralarında gezen sokak toplayıcıları tarafından toplanmaktadır. Toplanan bu atıklar ayrıştırıldıktan sonra hurdacılara satılarak atıkların geri dönüşümü sağlanmaktadır. Atıkların sokak toplayıcıları tarafından toplanması Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Atıkların sokak toplayıcıları tarafından toplanması

2.2.3. Belediyelerin kurduğu katı atık geri dönüşüm tesislerinde ayrıştırma

Belediyeler tarafından kurulan tesislere evsel atıklar getirilerek, insanlar tarafından bu atıklar, ayırma işlemine tabi tutulmaktadır. Ayırma tesislerine karışık olarak getirilen ambalaj atığı; kağıt, cam, metal, plastik ve kompozit olmak üzere 5 temel gruba ayrılmaktadır. Ambalaj atıkları da 5 farklı malzeme türüne göre (PET, PE, PP, PS, PVC) ayrılarak, geri dönüşüm sanayine sevk edilmektedir. Belediye geri dönüşüm tesislerinde atıkların ayrıştırılması Şekil 2.3’de gösterilmektedir (Anonim, 2012b).



Şekil 2.3. Belediye geri dönüşüm tesislerinde atıkların ayrıştırılması

2.2.4. Geri dönüşüm tesislerinde ayrıştırıcılarla metallerin ayrıştırılması

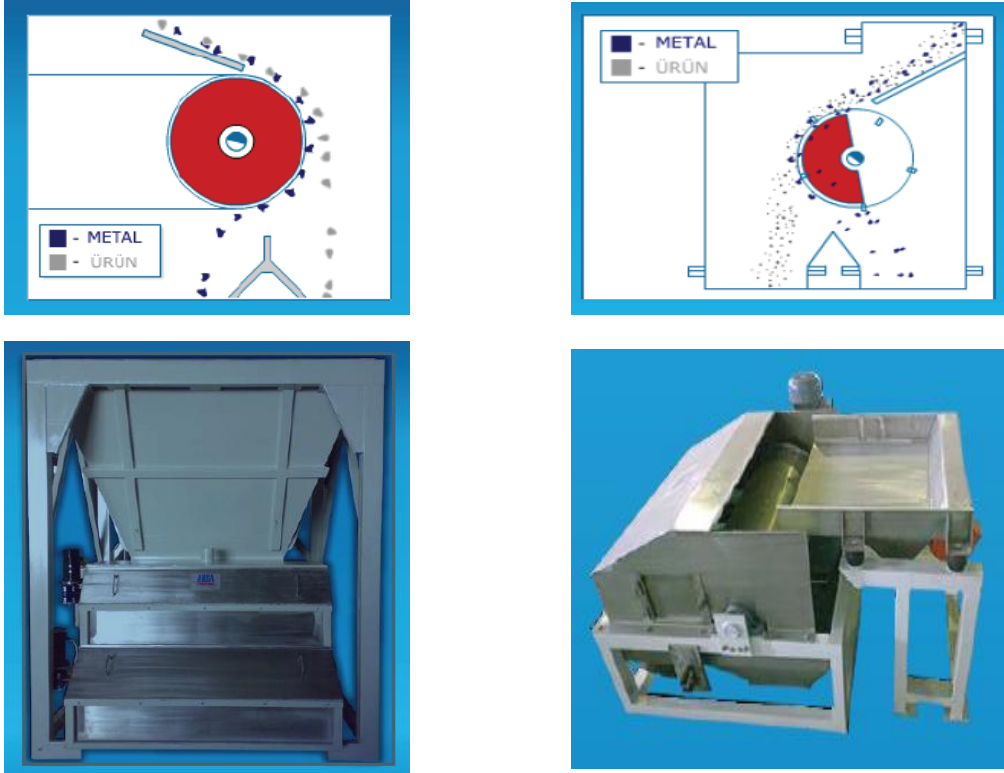
Hurda metal geri dönüşüm endüstrisi, çok geniş bir yelpazeye sahiptir. Miktar olarak en çok geri dönüştürülen metallerin bazıları aşağıda sıralanmaktadır.

- Hurda Demir,
- Hurda Çelik,
- Hurda Bakır,
- Hurda Pirinç (Sarı),
- Hurda Alüminyum,
- Hurda Çinko,
- Hurda Paslanmaz Çelik,
- Hurda Kurşun vb.

Hurda metaller genelde demirli (ferrous) ve demirsiz (non-ferrous) olarak iki ana gruba ayrılmaktadır.

Demirli (ferrous) Metaller; Demirli metaller adından da anlaşılacağı gibi demir içeren metallerdir. Demir ve demir içerikli olan çelik (çelik demirin karbonla düşük oranda yaptığı alaşımdır) elektrik ark ve indüksiyon ocaklarında, bazik oksijen fırınlarında ve entegre tesislerde ergitilerek, defalarca farklı şekillerde yeniden kullanılabilir türde

metallerdir. Demirli metaller ferromanyetikdir ve bir mıknatısın ters kutup çekim özelliği vasıtası ile tespit edilebilmektedir. Bu mantıkla demir metaller kolayca ayrıştırılmaktadır. Ayrıştırımları yapan ayrıştırıcılar piyasada mevcut olup Şekli 2.4’de verilmektedir (Anonim, 2012c).



a)

b)

Şekil 2.4. a) Roll manyetik ayrıştırıcılar, b) tambur (drum) manyetik ayrıştırıcılar

Demirsiz (non-ferrous) Metaller; Demir dışı metaller arasında temel olarak bakır, çinko, kurşun, alüminyum, nikel, pirinç, kalay ve magnezyum yer almaktadır. Demirli olmayan metaller, aynı zamanda değerli metalleri (altın, gümüş, bakır, alüminyum, paladyum, platin vb.) ve nadir olarak bulunan diğer metalleri (tungsten, molibden, niyobyum, hafniyum, vanadyum, zirkonyum, tellur, arsenik, berilyum, indiyum, lityum, kadmiyum, galyum, germanyum, kobalt, bizmut, seryum, selenyum, tantal, titanyum, civa vb.) içermektedirler. Bu değerli metallerin ayrıştırma işlemi, Eddy akımı ayrıştırıcılarıyla yapılabilmektedir. Eddy akımı ayrıştırıcısı, ayrıştırılacak iletken malzeme, yüksek frekanslı değişken manyetik alan içindeyken, Eddy akımı

indüklenmesi teorisine bağılı olarak çalışmaktadır. Eddy akım ayrıştırıcısı Şekil 2.5’de gösterilmektedir (Anonim, 12d).



Şekil 2.5. Eddy akım ayrıştırıcısı

2.3. Değerli Metallerin Ayrıştırılması ve Ekonomik Boyutu

Hâlihazırda manyetik olan veya manyetik olmayan metal atıkları/hurdaları, hurda çöplüklerine bırakılmakta ve yalnızca bir hurda olarak değerlendirilmektedir. Hurda içindeki ayrıştırılmamış metal malzemeler de çoğunlukla ekonomik değerinin altında bir bedelle değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Bu da gerçekte, mikro ve makro düzeyde ekonomik bir kayba neden olmaktadır. İstanbul’ daki katı atık içinde %5.8, Bursa’da %4 oranında metal bulunmaktadır. Yani her yıl İstanbul’da 180.000 ton çok değerli, geri kazanılabilir metal malzemeler depolama alanında israf edilmektedir. Geri dönüşümü yapılmış olsa ekonomiyeye katkısı en az 30 milyon dolardır (Özgür, 2006).

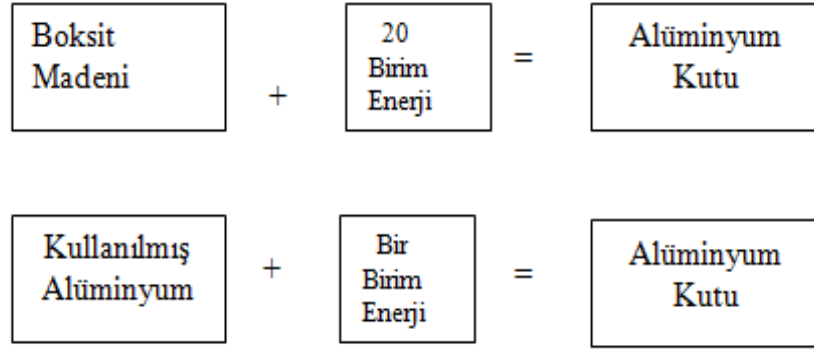
Ordu Belediyesi'nin 2009 yılında hizmete açtığı Katı Atık Ayrıştırma Tesisi’nde çöpten 800 ton pet, 960 ton plastik, 80 ton alüminyum, 720 ton metal, 400 ton cam ve 1600 ton kâğıdı ekonomiyeye geri kazandırılarak, 2 yılda yaklaşık 2 milyon lira gelir elde edildiği bildirilmektedir (Anonim 2012e).

Eddy akım ayrıştırıcısı ile ayrıştırılan alüminyum, bakır, pirinç ve benzeri iletken olup da manyetik olmayan malzemelerin ekonomiye katkısı çok büyüktür. Örnek olarak bu metallere alüminyum ele alacak olursak; Alüminyum hafif ve tekrar tekrar geri kazanılabilir bir metaldir. Alüminyum ferromanyetik değildir. Alüminyumun kendisi yüzey koruyucu oksit oluşturduğu için korozyona çok dayanıklıdır ve pas oluşturmaz. Atmosferik şartlara karşı dayanıklı olduğu için inşaat ve otomotiv endüstrisinde geniş olarak kullanılmaktadır. Ayrıca alüminyum ısı ve elektriği iyi iletilmektedir. İletken bir metal olarak, bakıra göre iki kat daha hafiftir ve ucuzdur. Bu nedenle son zamanlarda bakırın yerini almaktadır. Özellikle mutfak eşyalarında hammadde olarak kullanılmaktadır. Alüminyum; elektrik sektöründe iletken tel imalatında, gıda sektöründe; ambalaj ve mutfak eşyası yapımında ve inşaat sektöründe kapı, pencere, doğrama ve dekoratif levha olarak kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv ve havacılıkta hafif olması sebebiyle otomobil ve uçak parçalarının üretiminde tercih edilen bir metaldir. Bu kadar çok kullanılan alüminyum gibi değerli metalin ayrıştırılarak geri dönüşümünün birçok avantajı vardır.

Alüminyum üretiminde en önemli hammadde kullanılmış alüminyumdur. Alüminyum malzemeler %100 geri kazanılabilmektedir. Kullanılmış alüminyum geri kazanılarak sadece katı madde miktarı azaltılmaz aynı zamanda boksit madeni doğal kaynağı ve enerji korunmuş olmaktadır (Fenercioğlu ve Kurt, 2007). 1 kg alüminyum kutu geri kazanıldığında;

- 8 kg boksit madeni,
- 4 kg kimyasal madde,
- 14 kWh elektrik enerjisi kullanımı,

korunmuş olmaktadır. Boksit madeninden yeni bir alüminyum kutu yapmak için gerekli enerji 20 birim ise kullanılmış alüminyumdan kutu yapmak için gerekli enerji 1 birimdir. Yani kullanılmış alüminyumdan alüminyum üretimi, hammaddeden alüminyum üretimine göre %95 daha az enerji gerektirmektedir. Böylece önemli oranda enerji kaynağı korunmuş olmaktadır (Fenercioğlu ve Kurt, 2007; Öztürk, 2005). Bu şekilde korunan enerji Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



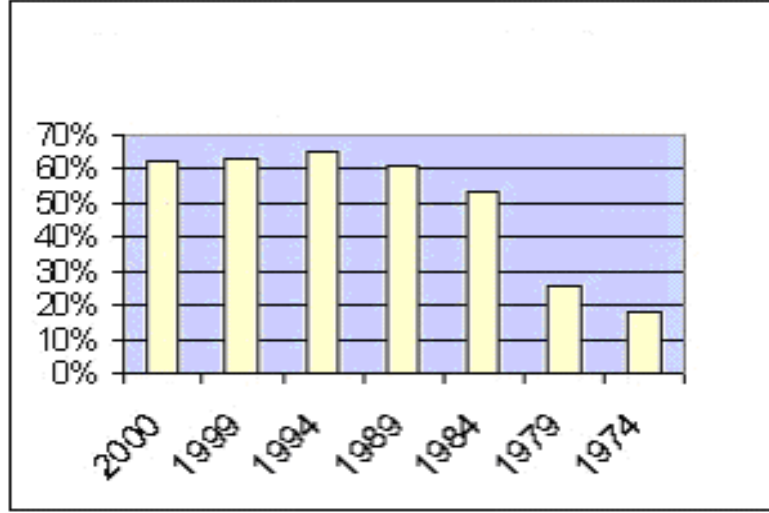
Şekil 2.6. Hammaddeden ve kullanılmış alüminyumdan üretilen alüminyum karşılaştırılması (Öztürk, 2005)

Kullanılmış alüminyum geri kazanılıp üretime sokulduğunda, %99 oranında baca gazı kirletici emisyonu azalmaktadır. Kullanılmış alüminyum geri kazanılması, daha az enerji ve hammadde tüketimi sağlamaktadır. Kullanılmış alüminyumdan alüminyum üretilerek sera gazı emisyonu %95 ve atık su kirlenmesi %97 oranında azaltılabilmektedir. On adet alüminyum içecek kutusu geri kazanıldığında, 100 kWh'lik bir lambanın 35 saatte veya bir TV'nin 30 saatte harcadığı elektrik enerjisi korunmuş olur (Öztürk, 2005).

Doğal kaynakların korunması, işletme maliyeti, enerji ve işçilik giderlerinin minimize edilmesi için, kullanılmış alüminyum malzemeler kaynakta ayrı toplanmalıdır. Kullanılmış alüminyumun imhası, geri dönüşüm sisteminin bir ögesi olmamalıdır. Alüminyum, diğer ambalaj atıklarına göre daha fazla geri kazanılmaktadır. Çünkü kullanılmış alüminyumdan, alüminyum üretimi orijinal hammaddeden alüminyum üretimine göre daha çok ucuza mal olmaktadır. Dolayısıyla alüminyum sanayicileri geri dönüşümü aktif olarak desteklemektedirler. Geri dönüşümün artması ve kararlı hale dönüşmesi için programlar yapmaktadırlar.

Ülkemizde değerli metallerin geri kazanımı için programlar ve tesisler yapılırken, ABD ve Avrupa ülkeleri bu konuda ciddi anlamda mesafe almışlardır. ABD de yılda 1 milyar kg'dan fazla kullanılmış alüminyum çöpe atılmaktadır ve kullanılan bu alüminyumun

%65'i geri kazanılmaktadır. Kullanılmış alüminyumun geri kazanım oranı yıllara göre Şekil 2.7'de verilmektedir (Öztürk, 2005).



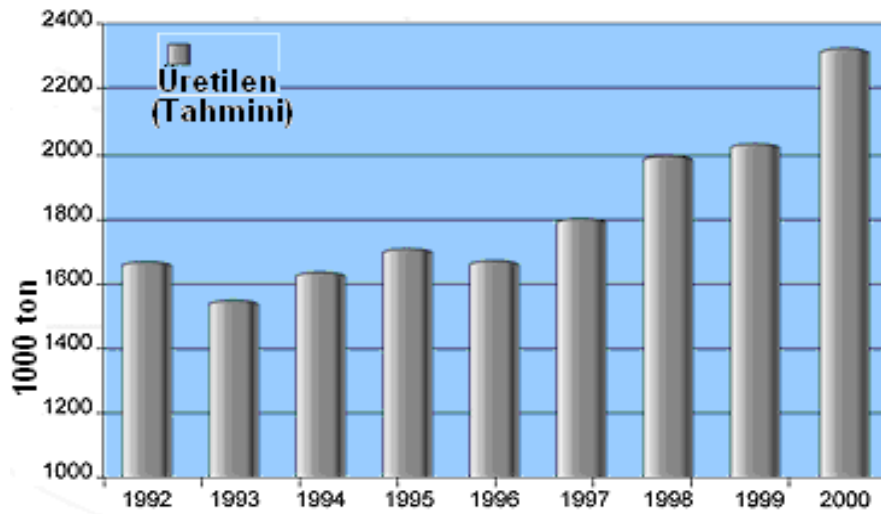
Şekil 2.7. ABD alüminyum kutuları geri kazanma oranı (Öztürk, 2005)

Alüminyumun daha verimli kullanılması, tüm ülkelerin ortak hedefleridir. 1970'li yıllarda 0.450 kg ağırlığındaki alüminyum levhadan, 22 kola veya soda kutusu üretilirken, bugün 32 kola veya soda kutusu üretilmektedir. Hedef, daha fazla sıvının daha hafif ambalaj malzemelerinde ambalajlanmasıdır. Böylece kaynakların daha verimli kullanılması sağlanmaktadır. Avrupa ülkelerinde alüminyum geri kazanma oranı Çizelge 2.1'de gösterilmektedir (Öztürk, 2005).

Çizelge 2.1. Avrupa ülkelerinde alüminyum geri kazanma oranı (Öztürk, 2005)

ÜLKELER	ALÜMİNYUMUN MARKETTEKİ PAYI (%)	GERİ KAZANMA ORANI(%)
Almanya	14	70
İngiltere	78	28
İtalya	97	35
Yunanistan	100	34
Avusturya	70	50
İsveç	100	91
İrlanda	86	18
Fransa	35	14
İspanya	40	14
Benelux	21	10
İsviçre	100	85
İzlanda	100	80
Portekiz	68	17
Türkiye	77	40
Doğu Avrupa	40	ihmal
Diğerleri	90	ihmal
TOPLAM	55	35

ABD’de yeni alüminyum malzemelerin %55’i kullanılmış alüminyumdan üretilmektedir. 2000 yılında, 100.8 milyar alüminyum kutunun, 62.6 milyar adeti geri kazanılmış alüminyumdan üretilmektedir. Avrupa ülkelerinde kullanılmış alüminyumdan, alüminyum üretimi Şekil 2.8’de verilmektedir (Öztürk 2005).



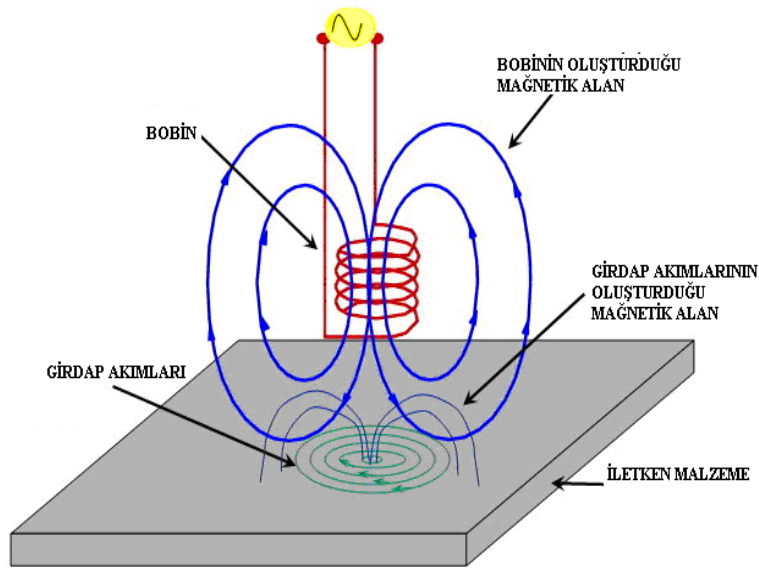
Şekil 2.8. Avrupa ülkelerinde geri kazanılmış alüminyumdan alüminyum üretimi

Demir içermeyen değerli metallerin geri dönüşümünün ekonomiye katkısı, alüminyum örneğinde görüldüğü gibi çok büyüktür. Bu kadar karlı bir üretimden ülkemizde azami ölçüde yararlanmalıdır. Bu ekonomik katkının gerçekleşmesi için büyük tesisler ve bu tesislerde kullanılacak, Eddy akım ayrıştırıcılarına ihtiyaç vardır.

2.4. Eddy Akımı (Fukolt, Girdap)

Eddy akımları elektromanyetik indüksiyon kanunu ile açıklanmaktadır. M. Faraday ve Henry tarafından 1832 yılında ortaya konulan elektromanyetik indüksiyon kanunu, değişken bir manyetik alanın bir elektrik iletkeninde gerilim indükleyebileceğini ifade etmektedir (Mester,1998).

İletken bir malzeme bir manyetik alanda hareket ettirilirse veya değişken manyetik alan içine konulursa malzemede bir elektromotor kuvvet (emk) meydana gelmektedir. Bu emk malzemede, çok sayıda kapalı devreler şeklinde akım yollarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu olay yalnızca malzemenin yüzeyinde değil içinde de meydana gelmektedir. Bu kısa, kapalı minik halkalar biçiminde oluşan akımlara Eddy akımları denir. Bu akıma girdap veya fuko akımı da denilmektedir. Eddy akımlarının prensip şeması Şekil 2.9'da gösterilmektedir (Anonim, 2011).

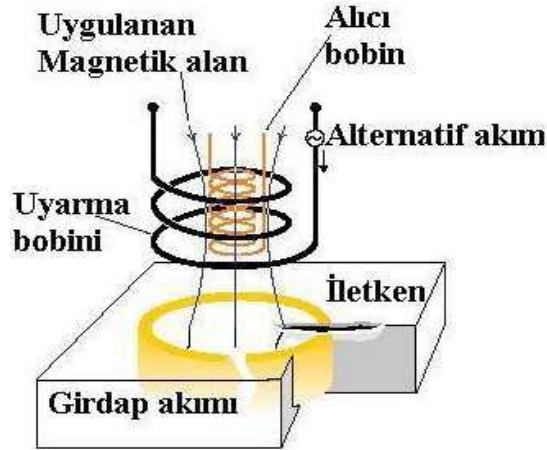


Şekil 2.9. Eddy akımlarının prensip şeması

2.4.1 Eddy akımı kullanım alanları

Eddy akımları; kaplama kalınlığı ölçümü, iletkenlik ölçümü, ısı hasarları tespiti, doku kalınlığı tespiti, ısıl işlem izleme, malzeme belirleme (ayrıştırılmasında) işlemlerinde kullanılmaktadır.

Malzeme yüzeyinden içerideki oluşan Eddy akımları, yüzeyde oluşan akımların faz değişimleri ile ilişkilidir. Eddy akımları şayet çatlak, boşluk, yüzey hasarları veya hatalı kaynak birleştirmeleri gibi malzeme kusurları ile karşılaşır, manyetik akısı uygun doğrultuda yayılmazlar. Bunun sonucunda Şekil 2.10'da görüldüğü gibi, manyetik alanda bir değişiklik oluşmakta ve buna bağlı olarak test bobini de reaksiyon verilmektedir. Eddy akımı test prosedüründe bu kavram malzeme hatalarının tespitinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.10 Girdap akımlarının malzeme üzerindeki manyetik akısı (Anonim, 2011)

Ayrıca malzeme belirleme de (ayrıştırma) şu şekilde kullanılmaktadır. Blok mıknatıslardan oluşan tambur şeklindeki rotor, yüksek hızlarda döndürülerek değişken bir manyetik alan oluşturur. Bu alan manyetik olmayan iletken malzeme üzerinde Faraday kanununa göre, bir elektromotor kuvvet (emk) oluşturmaktadır. Bu emk'nın etkisi ile kapalı devre olan malzeme üzerinde girdap şeklinde, Eddy akımları meydana gelmekte ve akım geçen iletken etrafında, Ampere kanununa göre bir manyetik alan

oluşturmaktadır. Böylece malzemenin alanı, dönen tamburun alanı ile etkileşerek, Lorentz kanununa göre malzeme üzerinde bir kuvvet oluşturmaktadır. Bu kuvvet malzemenin alan dışına atılmasını sağlamakta ve böylece ayrıştırma gerçekleşmektedir.

2.5 Eddy Akımı Ayrıştırıcısının Gelişim Süreci

1889'un başlarına kadar elektro manyetik akım ayrıştırıcı için ilk patent T.A Edison'a verilmiştir. Daha sonraları özellikle demir dışı atıkların geri dönüşümü ile ilgili olarak elektromanyetik ayrıştırıcılar için büyük ölçekli başvurular başlamıştır. İlk endüstriyel Eddy akımı ayrıştırıcılar tek bobinler veya lineer motor tekniği yoluyla uyarılan bir elektromanyetik alana dayandırılmaktadır. Az bulunur toprak mıknatıslarının (rear earth element) gelişmesi ile günümüzde imal edilen Eddy akımı ayrıştırıcılarında daimi mıknatıs olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.11'de böyle bir Eddy akımı ayrıştırıcısını göstermektedir (Svoboda, 2004).



Şekil 2.11. Eddy akım ayrıştırıcısı

Daha sonraki çalışmalar Eddy akım ayrıştırıcı tasarımının geliştirilmesine yönelik olmuştur. Eddy akımı ayrıştırıcısının teorisinin geliştirilmesi, analitik yöntemlerin belirlenmesi, malzeme türüne göre oluşan kuvvet değerlerinin, diğer elektriksel ve

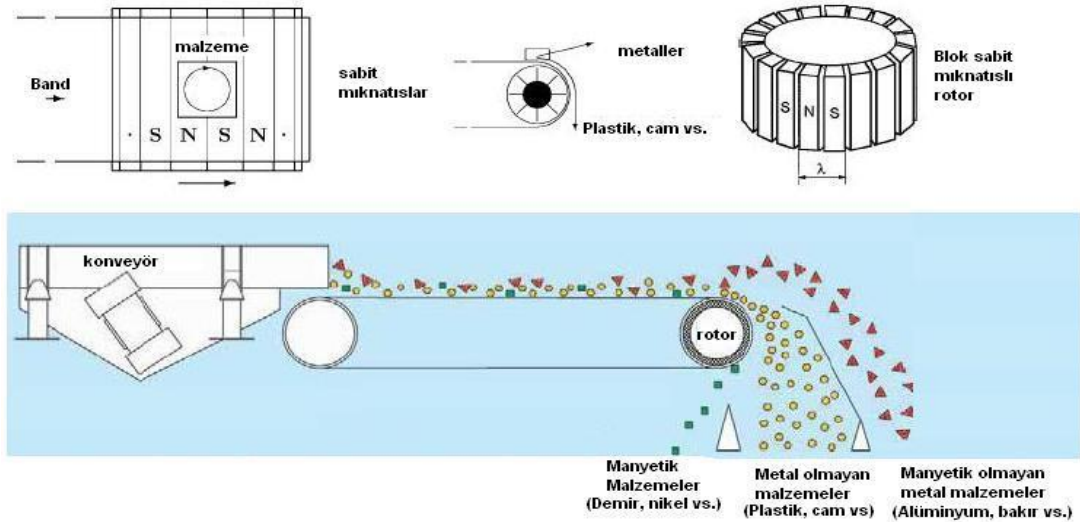
manyetik parametrelerin belirlenmesi üzerine, deneysel ve teorik çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Veriminin artırılması, daha küçük boyutlardaki malzemelerin ayrıştırılmasına yönelik olarak yapılmaktadır. Günümüzde Avrupa ülkelerindeki geri dönüşüm tesislerinde, manyetik olmayan atıkların geri dönüşümünde, Eddy akımı ayırıcısı önemli bir yere sahiptir. Ancak ülkemizdeki makine sanayinde üretimi halen yapılmamaktadır.

3. MATERYAL YÖNTEM

3.1. Eddy Akımı Ayırıştırıcısının Teorisi

Manyetik olmayan değerli iletken malzemelerin ayrıştırılması için, Eddy akımı yöntemi kullanılmaktadır. Elektrik makinalarının tasarımında Eddy akımının etkileri yüzyılı aşkın süredir bilinmektedir. Eddy akımı prensibi; bir iletken, değişken bir manyetik alan içerisine yerleştirildiğinde manyetik akı tarafından kesilerek bir elektrik yükü indüklenmektedir. Bu akımların etkisi ile iletken malzeme etrafında ikinci bir manyetik alan oluşmaktadır. Bu alan mıknatıs bloklarından oluşan rotorun manyetik alanından etkilenmekte ve ortak sürme sonucunda malzeme de bir itme kuvveti oluşmakta ve ürün akışından dışarıya çıkmaktadır. Bu durumu açıklayan prensip şeması Şekil 1' de verilmektedir.

Eddy akımı, değişken manyetik alanın oluşturduğu malzemelerden geçen ve ısınma şeklinde etkileri olan bir akım türüdür. N-S kutupları sırayla yerleştirilmiş blok mıknatıslardan oluşan bir rotor, yürüyen banda Şekil 3.1'de görüldüğü gibi yerleştirilmektedir (Fenercioğlu ve Kurt, 2007).



Şekil 3.1. Eddy akım ayırıştırıcısının prensip şeması

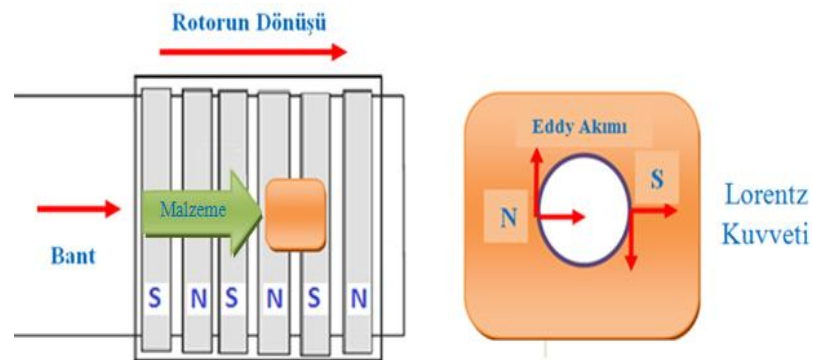
Malzemenin cinsi, öz kütlesi, öz direnci, biçimi, boyutları, rotorun hızı, oluşan Eddy akımının genliğini, frekansını ve fırlatma kuvvetinin büyüklüğünü belirleyici olacaktır. Ayırıştırıcı, bu yöntemle içinde çeşitli manyetik olan ve manyetik olmayan metallerin bulunduğu atık yığınları arasından bu malzemelerin ayrıştırılmasını sağlamaktadır. Ayırıştırma esnasında bant üzerinde hareket eden atıkların içindeki demirsiz metal malzemeler hareketli rotor üzerinden geçerken biriktirme kabına fırlatılacak, demirli malzemeler ise manyetik olduğundan rotor tarafından tutularak başka bir kaba bırakılacaktır. Manyetik olmayan metallerin ayrıştırılması Şekil 3.2’de gösterilmektedir (Anonim 2012f).



Şekil 3.2. Eddy akımı ayırıştırıcısı ile alüminyumun ayrıştırılması

3.1.1. Eddy akımı ile malzeme üzerinde ayırıştırma kuvvetinin oluşması

Eddy akımı ayırıştırıcısının oluşturduğu ayırıştırma kuvveti, Şekil 3.3’de görülen döner tamburlu tip Eddy akımı ayırıştırıcısı üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Döner tamburlu Eddy-akım ayırıştırıcısının üstten görünüşü

Rem ve ark. (1998) tarafından, Eddy-akımı nedeniyle parçacıklara etki eden kuvveti hesaplamak için, bir dipol modeli bildirilmektedir. Konveyör bant altında dönen mıknatıslı tambur, değişken bir manyetik alan meydana getirmektedir. Bu manyetik alanın içine giren manyetik olmayan iletken malzemede, Faraday kanununda olduğu gibi Eddy akımları oluşur. Akım geçen iletken etrafında, Ampere kanununa göre bir manyetik alan meydana getirir. İletken değişken manyetik alan içine girdiğinde motor prensibinde (Lorentz Kanunu) olduğu gibi malzeme üzerinde bir kuvvet oluşturur. Bu kuvvet ile malzeme akış içerisinde dışarı fırlatılarak ayırıştırma sağlanmaktadır (Svoboda, 2004).

Faraday yasasına göre bir devrede indüklenen elektromotor kuvvetinin büyüklüğü, devreden geçen manyetik akının zamana göre değişim hızına eşittir. Bu Eşitlik 3.1 de verilmekte ve Faraday'dın indüksiyon yasası olarak bilinmektedir. Transformatorün çalışma temelini oluşturmaktadır.

$$e = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (3.1)$$

İndüksiyon akımının yönü Lenz kanunu ile belirlenir. Bu kanununa göre; indüksiyon akımının yönü kendisini meydana getiren sebebe zıttır. Bu karşıt manyetik alanlar malzemede itici bir güç Lorentz kuvveti üretir. Şekil 3.3'de malzeme üzerinde Lorentz kuvvetinin oluşumu gösterilmiştir. Lorentz kuvveti; elektromanyetik alanlar tarafından hareketli bir noktasal yüke etkiyen kuvvettir. Bu kuvvet matematiksel olarak, elektrik ve manyetik alanlar cinsinden Eşitlik 3.2'de hesaplanmaktadır.

$$F = q(E + vxB) \quad (3.2)$$

Burada F kuvveti v , parçacığın anlık hızı ile B , manyetik alanın vektörel olarak çarpımına eşittir. Bu işlemin sonucu E elektrik alanla toplanmaktadır. Bu toplamda q parçacığın elektriksel yükü ile çarpılarak kuvvet bulunmaktadır.

Eddy-akımı nedeniyle parçacıklara etki eden kuvveti hesaplamak için Rem ve ark. (1998) geliştirildikleri dipol modeli ve oluşan manyetik alanlar sonucu Lorentz kuvveti Eşitlik 3.3’de ifade edilmektedir (Svoboda, 2004).

$$F_{Lp} = \mu_M \nabla B \quad (3.3)$$

F_{Lp} Kuvveti, μ_M manyetik momenti ve B dış manyetik alanı ifade etmektedir. Parçacıkta oluşan tork ise Eşitlik 3.4’den bulunmaktadır (Svoboda, 2004).

$$\mu_M = M_p V_p \quad (3.4)$$

Eşitlik 3.2’de olduğu gibi verilen ve bir parçacığa etki eden kuvveti belirlemek için, manyetik sistem tarafından üretilen manyetik alan hesaplanmaktadır. Rem ve ark. (1998), tambur eksenine göre silindirik bir koordinat sistemi (r, ϕ, z) içindeki manyetik indüksiyon bileşenlerinin azalabileceğini, Eşitlik 3.5 ve Eşitlik 3.6 ile gösterilmektedir (Svoboda, 2004).

$$B_r = \sum_{n=0}^{\infty} b_n \left(\frac{r}{R_{drum}} \right)^{-(2n+1)k-1} \sin[(2n+1)k(\phi - \omega_{drum} t)] \quad (3.5)$$

$$B_{\phi} = \sum_{n=0}^{\infty} b_n \left(\frac{r}{R_{drum}} \right)^{-(2n+1)k-1} \cos[(2n+1)k(\phi - \omega_{drum} t)] \quad (3.6)$$

Burada, b_n Forier katsayısı, R_{drum} tambur yarıçapı, k tamburdaki mıknatıs çifti sayısı ve ω_{drum} tamburun açısal hızını ifade etmektedir. Fourier katsayısı, manyetik kutup yüzeyinden uzaklığın bir fonksiyonu olarak manyetik alan şiddeti ile belirlenmektedir (Svoboda, 2004).

Eşitlik 3.5 ve Eşitlik 3.6’yı temel alan, Zhang ve ark., (1999a,b) parçacık üzerine etki eden teğet F_{Lpt} ve radyal F_{Lpr} Eddy akım kuvvetleri için Eşitlik 3.7 ve Eşitlik 3.8’i formüle etmişlerdir (Svoboda, 2004).

$$F_{Lpt} = \frac{2\pi s V p}{\mu_0 \omega} \frac{(k\omega_{drum} + \Omega)\tau}{1 + (k\omega_{drum} + \Omega)^2 \tau^2} B^2 \quad (3.7)$$

$$F_{Lpr} = \frac{2\pi s V p}{\mu_0 \omega} \frac{(k\omega_{drum} + \Omega)^2 \tau^2}{1 + (k\omega_{drum} + \Omega)^2 \tau^2} B^2 \quad (3.8)$$

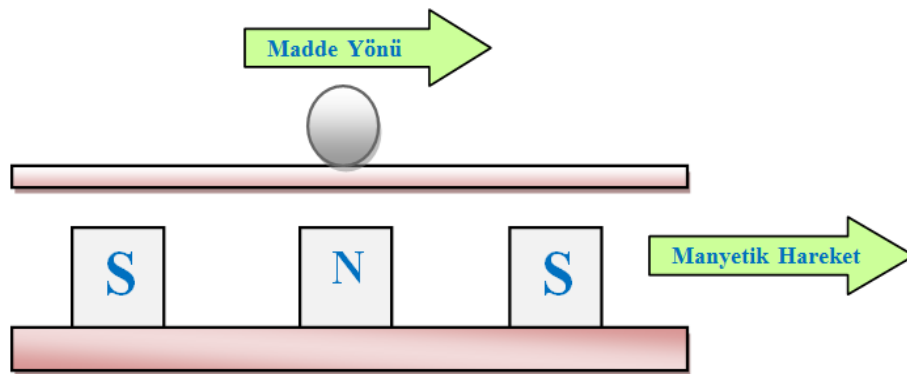
Burada, ω mıknatısların bir çiftinin genişliğini, s ayrıştırılacak parçacığın şekil faktörünü ve Ω ise dönen parçacığın açısal hızıdır. Tanecik içindeki manyetik alanın bozulmasına neden olan karakteristik zaman τ dir ve Eşitlik 3.7’de olduğu gibi hesaplanmaktadır (Svoboda, 2004).

$$\tau = \mu_0 \sigma_p s b^2 \quad (3.9)$$

Burada b parçacığın yarıçapıdır. Parçacıktaki tork Zhang ve ark. (1999) yöntemi ile Eşitlik 3.10 kullanılarak bulunmaktadır.

$$\tau = \frac{s V p}{\mu_0} \frac{(k\omega_{drum} + \Omega) \tau}{1 + (k\omega_{drum} + \Omega)^2 \tau^2} B^2 \quad (3.10)$$

Eddy-akım kuvvetleri ve oluşan tork, manyetik alanın karesine bağlı olduğu Eşitlik 3.9 ve Eşitlik 3.10’da olduğu gibi görülebilmektedir. Nadir toprak mıknatıslar (Neodyum) ile seramik ferrit doğal mıknatısların yer değiştirmesi ile ayrıştırma gücünde belirgin bir artış, buna bağlanabilmektedir.



Şekil 3.4. Döner tamburlu Eddy-akım ayrıştırıcısı

Wang ve ark. (2005)’na göre, Şekil 3.4’de görülen döner tamburlu Eddy akım ayrıştırıcısında, döner mıknatıslı tamburun değişken manyetik alanının yol açtığı itici kuvvet Eşitlik 3.11 ve Eşitlik 3.12 ile ifade edilebilmektedir.

$$F_r = H^2 f \times \frac{m\sigma}{\rho s} \quad (3.11)$$

$$f = \frac{np}{2} \quad (3.12)$$

Burada F_r itme kuvvetini, H Manyetik alan şiddetini, f manyetik alan frekansını, n mıknatıs tamburun hızını, p manyetik kutup sayısını, m kütleyi, σ iletkenlik oranını, ρ malzemenin şekil ve yoğunluk faktörünü ifade etmektedir. Farklı malzemeler için, bileşik kuvvet malzeme özellikleri ile ilgilidir ve $\frac{\rho}{\sigma}$ oranı itme kuvvetin boyutunu ve ayrıştırma zorluğunun derecesi belirlenmektedir.

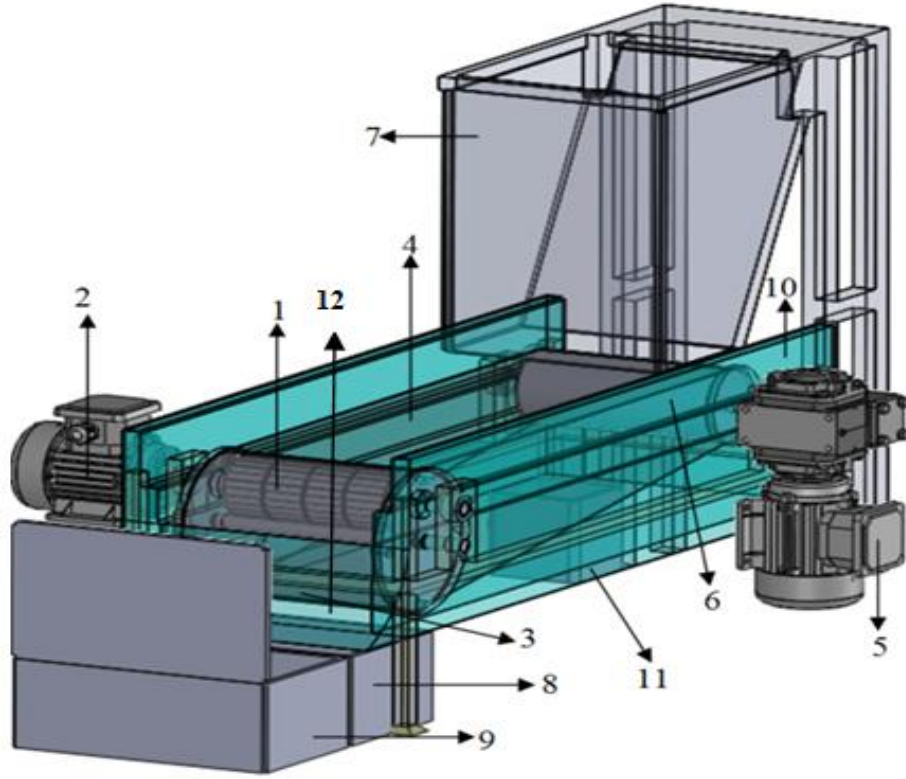
3.1.2. Eddy akımı ayrıştırıcısının verimi

Alınan işin verilen işe oranı, bir makinanın verimi olarak tanımlanmaktadır. Yüksek verim, verilen işin çoğunun makina tarafından kullanışlı işe dönüştürülmesi demektir. Düşük verim, verilen işin bir kısmının kaybolduğunu ve kullanışlı bir işe dönüştürülemediğini göstermektedir. Verim daha ziyade yüzde olarak ifade edilir. Eddy akımı ayrıştırıcısının verimi ise şöyle hesaplanmaktadır.

$$\% \text{ Verim} = \frac{(\text{Ayrıştırılacak Malzeme Miktar}_1 - \text{Kayıp}) \times 100}{\text{Ayrıştırılacak Malzeme Miktar}_1} \quad (3.13)$$

3.2. Eddy Akımı Ayrıştırıcısı Prototip Tasarımı

Eddy akımı ayrıştırıcısının prototip yapımı, öncelikle bilgisayar ortamında tasarlanarak, her bir parçası çizilmiş ve montaj ilişkisi sağlanarak Şekil 3.5'de görülen katı model oluşturulmaktadır.



Şekil 3.5. Eddy akım ayırıştırıcısının bilgisayar destekli tasarımı

Şekil 3.5'deki referansların açıklaması,

1. Mıknatıs tambur,
2. Mıknatıs tambur tahrik motoru,
3. Band rehberi ve mıknatıs tambur koruyucu,
4. Band,
5. Band tahrik motoru,
6. Band tahrik silindiri,
7. Atık malzeme besleme birimi,
8. Değerli metal olmayan malzemelerin biriktiği kap,
9. Demir içermeyen değerli metallerin biriktiği kap,
10. Ayırıştırıcı profil kasası,
11. Ayırıştırıcı kumanda panosu,
12. Ayırıcı bariyer,

3.3. Eddy Akımı Ayırıştırıcısı Prototip İmalatı

Tasarımı öngörülen Eddy akımı ayırıştırıcısı, Üniversitemiz BAP komisyonu tarafından desteklenen bir proje ile prototip olarak imal edilmektedir.

Prototipin ayırıştırma kapasitesi saatte 500 kg olarak belirlenmiştir. Buna göre konveyör bant hızı 0.2 m/sn manyetik tambur maksimum hızı ise 3000 d/dk olacak şekilde motor, redüktör, sürücü, mekanizmalar ile konveyör bant tespit edilmiştir.

3.3.1. Ayırıştırıcı motorları ve sürücüsü

Eddy akım ayırıştırıcısı prototipinde iki adet asenkron motor kullanılmıştır. Asenkron motorlar, endüstride en fazla kullanılan elektrik makineleridir. Çalışma ilkesi bakımından asenkron motorlara endüksiyon motorları da denilmektedir. Asenkron motorların çalışmaları sırasında elektrik arkı meydana gelmez. Ayrıca diğer elektrik makinelerine göre daha ucuzdur ve bakıma daha az ihtiyaç göstermektedirler. Bu özellikler, asenkron motorların endüstride en çok kullanılan motorlar olmalarını sağlamıştır.

Prototipte kullanılan motorlardan bir tanesi, mıknatıslı tamburu yüksek hızlarda döndürmektedir. İkinci asenkron motor, hızı redüktör vasıtasıyla düşürülerek konveyör banta hareket vermektedir. Asenkron motor ve redüktörlü motor Şekil 3,6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6. a) Asenkron motor, b) redüktörlü asenkron motor

Sürücü (invertör); Bazı iş makinelerinin çalıştırılmasında, geniş sınırlar içinde ve kullanıcının denetiminde hız ayarı istenmektedir. Kafesli rotorlu asenkron motorlarda hız ayarı için motora uygulanan gerilimin frekansını değiştirmek gerekir. Bu amaçla frekans çeviriciler (hız kontrol cihazları) geliştirilmiştir.

Prototipteki mıknatıslı tambura hareket veren asenkron motorunun değişik hızlarda çalıştırılması için sürücü kullanılmıştır. Motor sürücüleri Şekil 3.7 'de gösterilmektedir. Sürücü ile yapılan deneylerde frekans değiştirilerek değişik hızlar elde edilmektedir. Bu hızlara göre ayırıştırma verimi çıkarılmıştır.



Şekil 3.7. Değişik AC motor sürücü (hız kontrol) cihazları

Prototip ayırıştırıcı mıknatıslı tambura, 3 fazlı 2 kutuplu 0,37 kW güce sahip flanşlı bir asenkron motor tarafından hareket verilmektedir. Motor hızı 0,4 kW gücünde bir motor sürücüsü ile kontrol edilmektedir. Konveyör banda hareket veren motor 0,25 kW gücünde, 4 kutuplu, 1500 d/dk. döner alana sahiptir. Bu motor 60 devir çıkışlı bir redüktöre akuple edilmiştir. Böylece bant hızı 0.2 m/sn hıza düşürülmüştür ve sabittir.

3.3.2. Gövde

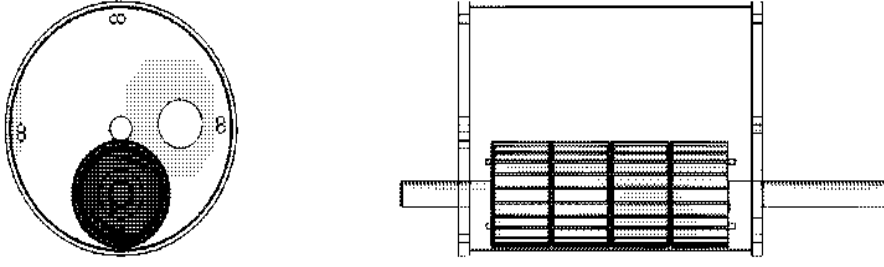
Eddy akım ayrıştırıcısının prototipinin gövdesi, Şekil 3.8’de görüldüğü gibi bilgisayar ortamında tasarlandıktan sonra 40x40 mm profilden imal edilmiştir. Korozyona karşı korumak için antipas yapıldıktan sonra, elektro statik boyama ile gövde boyanmıştır. Gövde üzerine ayrıştırıcının parçaları monte edilmiştir. Parçaların üzeri ve konveyör banttın etrafı ve gövde, Şekil 3.8’de görüldüğü gibi boyanmış saca kaplanmıştır.



Şekil 3.8. Eddy akım ayrıştırıcısının gövdesi

3.3.3. Mıknatıs tambur ve mıknatıslar

Eddy akım ayrıştırıcısının en önemli parçalarından birisi de mıknatıslı tamburdur. Mıknatıslı tambur ne kadar hassas tasarlanıp imal edilirse, Eddy akım ayrıştırıcısı da o kadar verimli çalışmaktadır. Bu açıdan mıknatıslı tamburun rotoru iyi tasarlanmalıdır. Prototipteki mıknatıslı tamburun çapı; mıknatısların oluşturduğu kutup sayısına ve kullanılan mıknatısın ebatlarına göre değişmektedir. Yaptığımız prototip 96 mıknatıstan oluşmaktadır ve 24 kutupludur. Kullanılan mıknatısın ölçüleri 10x5x50 mm dir. Tamburun çevresi 240 mm dir. Buradan tamburun çapı 76,43 mm olarak hesaplanır. 76,43 mm çapındaki mıknatıslı tambur Şekil 3.9’da görüldüğü gibi tasarlanmıştır. Mıknatıslı tamburun imalatı için demir içerikli kalın metal borular, tornada işlenerek tamburun rotor kısmı oluşturulmuştur. Oluşturulan rotorun balans ayarının yapılmış olmasına özen gösterilmiştir.



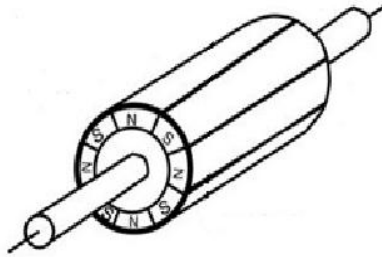
Şekil 3.9. Mıknatıslı tamburun bilgisayar destekli çizimi

Mıknatısların montajının yapılacağı rotor, Şekil 3.10’da görüldüğü gibi, demir içerikli malzemeden pürüzsüz olarak imal edilmiştir.



Şekil 3.10. Mıknatıslı tamburun malzemesinin işlenmiş hali.

İmal edilen rotor üzerine 24 kutuplu 96 adet güçlü neodyum mıknatıs, yüksek devirlerde fırlamaması için kuvvetli yapıştırıcıyla yapıştırılarak Şekil 3.11’de görüldüğü gibi dizilmiştir.



Şekil 3.11. Mıknatıslı tamburun mıknatıslarının yerleştirilmesi.

Yapıştırılan mıknatısların üzeri fırlama riski ve metal atıkların yapışmaması için plastikle Şekil 3.12’de görüldüğü gibi kaplanmıştır. Rulman üzerinden yataklanarak imal edilmiştir. Konveyör bandın mıknatıslara daha yakın dönmesi için üzerine manyetik ve iletken olmayan mukavemeti yüksek ve sert plastik malzeme olan delrin’ler Şekil 3.12’de görüldüğü gibi rulmanlarla yataklanmıştır. Bu sayede konveyör bant mıknatıslı tambura daha yakın tutularak ayrıştırılacak malzeme üzerinde oluşan kuvvet artırılmış olur.



Şekil 3.12. PVC boru ile kaplanmış mıknatıs tambur ve delrinler

3.3.3.1. Rotor yapımında kullanılan neodyum mıknatısların özellikleri

Yüksek çekim kuvveti ile bilinen süper neodyum mıknatıslar yeryüzünde nadir olarak bulunmaktadır. Neodyum mıknatısları alüminyum, demir ve bor alaşımından oluşan kalıcı mıknatıslardır. Süper neodyum mıknatısları endüstri, tıp, sağlık, eğitim, deney ve araştırma alanları gibi geniş bir yelpazede kullanım alanlarına sahiptir. Neodyum mıknatısları olağanüstü kuvvete sahip olmalarına rağmen boyut olarak, gerektiğinde istenilen yere taşınmalarına olanak sağlayacak kadar küçüktürler. Neodyum mıknatıslarının kullanıldığı pek çok alanda, mıknatıslar tutkal veya yapıştırıcı vasıtası ile yapıştırılır.

Neodyum mıknatıslar ısıcağa maruz bırakılmamalıdır. Prototipde kullanılan mıknatısların çalışma sıcaklığı maksimum 80 dereceyi geçmemelidir. Bu mıknatıslar kırılabilirler. N35 den N52 ye kadar grade sınıfları vardır. Mıknatıslı tamburun rotorunda ise Şekil 3.13’de görülen N52 neodyum mıknatıs kullanılmıştır.



Şekil 3.13. N52 Neodyum mıknatıs.

3.3.4. Konveyör bantta hareket veren tambur

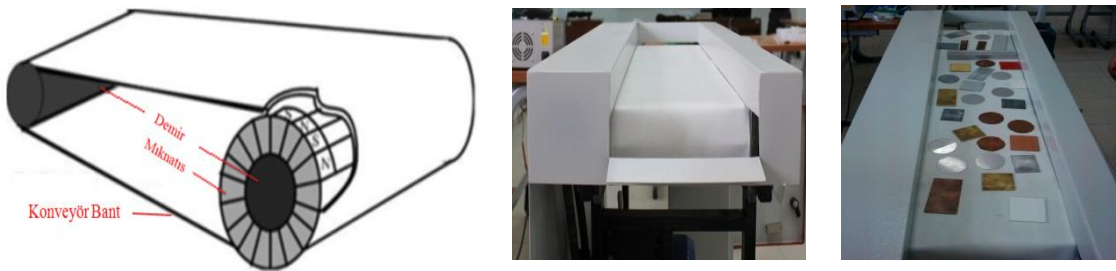
Konveyör bantta hareket veren tamburun çapı, mıknatıslı tambura göre biraz daha küçüktür. Metal borudan tornada işlenerek üzerindeki mil vasıtasıyla şekilde görüldüğü gibi gövdeye yataklanmıştır. Konveyör bantta hareket veren asenkron motor redüktörlü olup tamburun dönme hızı 0.2 m/sn ye düşürülmüştür. Konveyör bantta hareket veren tamburun balans cihazında balans ayarı yapılarak düzgün dönmesi sağlanmıştır. Konveyör bantta hareket veren tambur Şekil 3.14’de gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Konveyör banta hareket veren tambur.

3.3.5. Konveyör bant

Konveyör bantları, malzemenin bir proses içerisinde bir yerden başka bir yere taşınması için kullanılmaktadır. Ziraat, maden, tarım ve herhangi bir lojistik faaliyet gerektiren endüstride kullanılan bantların çalışma şekilleri birbirinden farklıdır. Bant yapısı, malzemesi, kaplama malzemesi, bantın genişliği, kalınlığı kullanılacak yere göre değişiklik arz etmektedir. Eddy akım ayrıştırıcısında ise ayrıştırılacak atıklar konveyör bant vasıtasıyla taşınmaktadır. Eddy akımı ayrıştırıcısında kullanılacak bantın, kalınlığının ince olması ve iletken malzeme içermemesi gerekmektedir. Şekil 3.15’de Eddy akım ayrıştırıcısında kullanılan bir konveyör bant gösterilmektedir. Konveyör bant hızı 0.2 m/s olarak redüktör ile sabitlenmiştir.



Şekil 3.15. Eddy akım ayrıştırıcısında kullanılan konveyör bant

3.3.6. Gövde kaplaması

Eddy akımı ayrıştırıcısının gövdesi 1,5 mm kalınlığındaki sacıa kaplanmıştır. Kaplama yapılırken tüm parçaları ve konveyör banttın kenarlarını da kapatacak şekilde sacın kalıbı çıkarılmıştır. Kalıbı ıkarılan saca gerekli şekiller verildikten sonra korozyona karşı anti pas ve elektro statik boya yapılmıştır. Eddy akım ayrıştırıcısının gövde kaplaması şekil 3.16'da gösterilmektedir.



şekil 3.16. Eddy akım ayrıştırıcısının gövde kaplaması

3.4. Eddy Akımı Ayrıştırıcısı Deney Düzeneği

Bu bölümde, Eddy akımı ayrıştırıcısı prototipinin çalışması detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıştırıcı farklı hızlarda çalıştırılarak mekanik aksamın çalışması kontrol edilmiştir. Eddy akım ayrıştırıcısının oluşturduğu itme kuvveti ve malzeme üzerindeki ivme artışı, malzemenin ayrıştırma verimi gibi bulgulara ulaşmak için deneysel malzemeler ve ölçü aleti ayarlanmıştır. Ayrıştırıcı prototipi laboratuvarında uygun bir yerde şekil 3.17'de grldğu gibi deneyler için hazırlanmıştır.



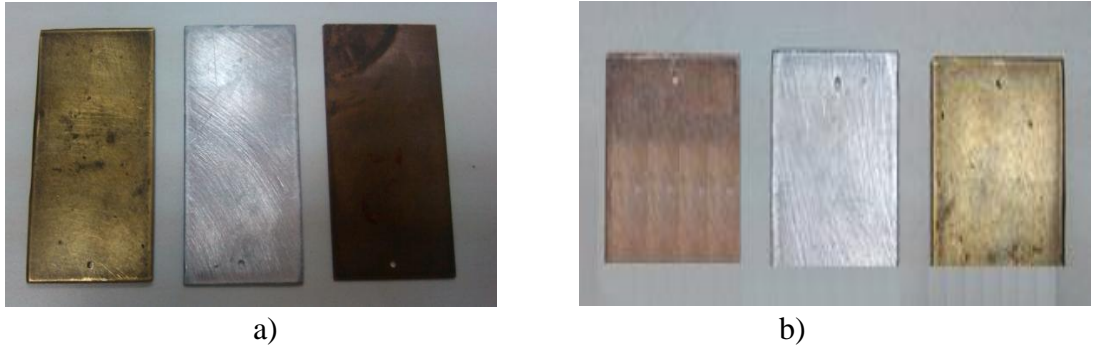
Şekil 3.17. Eddy akım ayırıştırıcısının deney için hazırlanması

Eddy akım ayırıştırıcısında deneysel çalışmalar yapmak amacıyla 50x40mm ve 40x30mm ebatlarında alüminyum, bakır ve pirinç malzemeler ayarlanmıştır. Ayarlanan bu malzemeler hassas terazide tartılarak kütlesi belirlenmiştir. Terazide tartılan manyetik olmayan değerli metallerin ebatları ve kütleleri Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Deney malzemesinin ebatları ve kütlesi gösterilmektedir.

MALZEME EBATLARI	MALZEME CİNSİ VE KÜTLESİ		
	BAKIR	ALÜMİNYUM	PİRİNÇ
50X40	0,0175g	0,0086g	0,0558g
40X30	0.00738g	0,00405g	0,02325g

Kütle ve ebatları verilen deney malzemelerinde oluşan itme kuvvetini ölçmek için malzemelerin üzerine şekilde görüldüğü gibi delik açılmıştır ve malzemeler açılan delikten dinamometreye bağlanmıştır. 50x40 mm ve 40x30 mm ebatlarında alüminyum, bakır ve pirinç malzemeler Şekil 3.18’de gösterilmektedir.



Şekil 3.18. a) 50x40 mm pirinç, alüminyum ve bakır malzemeler b) 40x30mm bakır, alüminyum ve pirinç malzemeler

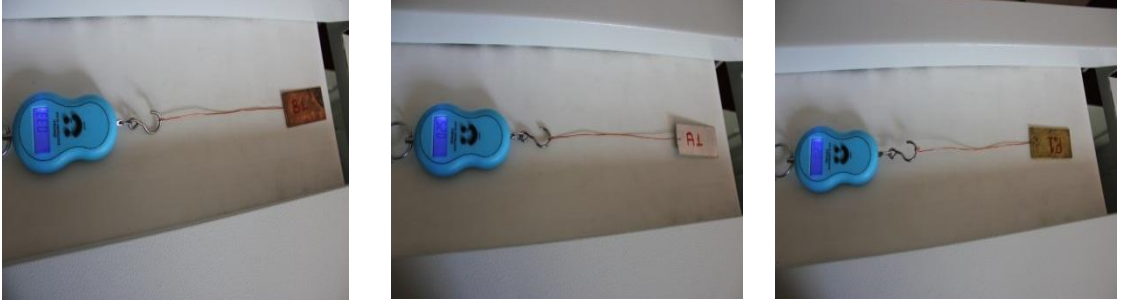
Eddy akım ayırıştırıcısında malzemede oluşan itme kuvvetini ölçmek için, hassas dijital dinamometre kullanılmıştır. Bu dinamometrenin çözünürlüğü 10 gram olup dinamometre toplamda 50 kg'a kadar ölçme alanına sahiptir. Newton, lbs gibi farklı birimlerde de ölçüm yapmaktadır. Bu ölçüm örneği Şekil 3.19'da gösterilmektedir.



Şekil 3.19. Dinamometre ile kuvvet ölçümü

Eddy akımı ayırıcısının, manyetik olmayan iletken malzemeler üzerinde oluşturduğu itme kuvvetini bulmak için deney düzeneği şu şekilde hazırlanmıştır. Ayırıştırıcının konveyör bantı sabit tutularak dinamometre bant üzerine sabitlenmiştir. Sabitlenen dinamometrenin ucuna ayırıştırılacak olan bakır, pirinç ve alüminyum malzeme bağlanmıştır. Bağlanan deney malzemeleri, mıknatıslı tamburun manyetik alanına sokularak farklı dönme hızlarında üzerlerinde oluşan kuvvet ölçülmüştür. Bu ölçme işleminde malzemenin tamburdan fırlaması esnasında malzeme dinamometre tarafından tutulmuş olup fırlaması engellenmiştir. Bu esnada oluşan kuvvet ölçümlere esas olarak alınmıştır. Bu malzemelerden önce 50x40mm edatındaki bakır, alüminyum ve pirinç malzemeler üzerinde oluşan kuvvetler ölçülmüştür. Mıknatıslı tamburun hareketini

sağlayan asenkron motorun hızı sürücü vasıtasıyla 900 rpm, 1200 rpm, 1500 rpm, 1800 rpm ve 2100 rpm hızlarında döndürülerek bu hızlardaki itme kuvveti ölçülmüştür. Aynı ölçme işlemi aynı ebattaki alüminyum ve pirinç için de yapılmıştır. Aynı deney 40x30mm erattındaki bakır, alüminyum ve pirinç için de yapılmıştır. Deney sonucunda alınan bulgular çizelgeye işlenmiştir. Yapılan deneyler Şekil 3.20’de gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Eddy akımı ayırıcısında ayırıştırma kuvvetini ölçme deneyi.

İkinci deney olarak, Eddy akımı ayırıştırıcısının verimini hesaplamak için 500 gr’ı plastik olmak üzere, 2000 gr ağırlığında farklı ebatlarda hazırlanmış manyetik olmayan iletken metaller ve plastik karışımı ayırıştırılmıştır. Ayırıştırma işlemi, mıknatıslı tamburun bağlı olduğu asenkron motor sürücüsü vasıtasıyla mıknatıslı tambur 900 rpm, 1200 rpm, 1500 rpm, 1800 rpm ve 2100 rpm hızlarında döndürülerek yapılmıştır. Her hızda ayırıştırılan malzeme miktarı, tartılarak ayırıştırma öncesi malzeme miktarına oranlanarak verim bulunmuştur. Bulunan verim ve deney verileri Çizelge 4.4’de verilmektedir. Eddy akımı ayırıştırıcısında verimin bulunması deneyi Şekil 3.21’de gösterilmektedir.



Şekil 3.21. Eddy akımı ayırıştırıcısında verimin bulunması deneyi

Küçük boyuttaki parçacıkların en ideal hangi hızda ayrıştırıldığı sonucunu görmek için, mıknatıslı tamburun bağlı olduğu asenkron motor sürücüsü vasıtasıyla, tambur farklı hızlarda döndürülerek yapılmıştır. Yapılan işlem sonucunda Şekil 3.22’de görülen 5-10 mm ebatlarındaki değerli metallerin 1500 rpm ve üzerinde başarıyla ayrıştırıldığı görülmüştür.



Şekil 3.22. Eddy akımı ayrıştırıcısında küçük parçacıkları ayrıştırma deneyi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Deneysel Veriler

Eddy akımı ayırıştırıcısı, prototipi üzerinde yapılan birinci deney çalışması sonucunda elde edilen veriler, Çizelge 4.1'de ve 4.3'de verilmektedir. Deney sonuçlarına göre ayırıştırılan malzemede oluşan Eddy akımının genliği, frekansı ve fırlatma (ayırıştırma) kuvvetinin büyüklüğünü belirleyici faktörler şöyle sıralanabilmektedir.

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| 1-Malzemenin cinsi, | 5-Boyutları, |
| 2-Elektriksel iletkenliği, | 6-Mıknatıslı tamburun hızı, |
| 3-Özkütlesi ve öz direnci(yoğunluğu), | 7-Konveyör bantın hızı, |
| 4-Malzemenin biçimi, | 8-Mıknatısların alan şiddeti, |

Malzemenin cinsi, elektriksel iletkenliği ve yoğunluğunun ayırıştırma kuvvetine etkisini inceleyecek olursak; Eddy akımı ayırıştırıcısında 50x40 mm ebatlarındaki bakır, alüminyum ve pirinç malzemeleri ayırıştırmak için, konveyör bant hızı 0,2 m/s hızda sabit tutulup, prototipin mıknatıslı tamburu 1500 rpm ile döndürüldüğünde, malzemeler üzerinde oluşan ayırıştırma kuvvetleri Çizelge 4,1'de verilmektedir. Bu sonuçlara göre bakırda 2,747N, alüminyumda 2,453N ve pirinçte 2,845N kuvvet oluşmuştur. Malzeme ebatları ve mıknatıslı tamburun dönme hızı, aynı olduğu halde oluşan kuvvetlerin farklı olması, malzeme cinsinin, elektriksel iletkenliğin ve yoğunluğunun farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.1. 50x40 mm ebatlarındaki malzemeleri ayırıştırma deney verileri

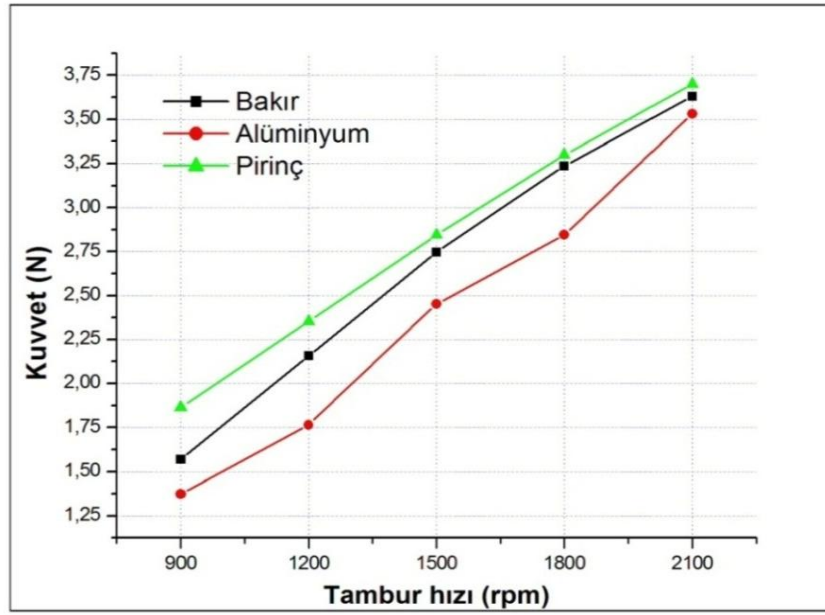
Sürücü Frekansı (Hz)	Motor Hızı	BAKIR 0,0175 kg			ALÜMİNYUM 0,0086 kg			PİRİNÇ 0,0558 kg		
		Kuvvet		ivme	Kuvvet		İvme	Kuvvet		İvme
	(rpm)	kg	(N)	m/s ²	kg	N	m/s ²	0,0558	(N)	m/s ²
15 Hz	900	0,160	1,570	89,714	0,140	1,373	159,651	0,190	1,864	33,405
20 Hz	1200	0,220	2,158	123,314	0,180	1,766	205,348	0,240	2,354	42,186
25 Hz	1500	0,280	2,747	156,971	0,250	2,453	285,174	0,290	2,845	50,985
30 Hz	1800	0,330	3,237	184,971	0,290	2,845	330,813	0,340	3,335	59,767
35 Hz	2100	0,360	3,532	201,806	0,350	3,434	399,302	0,370	3,630	65,053

Kang ve Schoenung (2005) göre, bir Eddy akımı ayırıcısı için ayırıştırma başlıca kriter ρ malzemenin yoğunluğu, σ elektriksel iletkenliği ve σ / ρ yoğunluğun elektriksel iletkenliğe oranı olduğunu belirtmektedir. Burada yoğunluk başına iletkenliği daha yüksek olan malzemeler daha kolay bir şekilde ayırıştırılmaktadır. Çizelge 4.2’de bakır, alüminyum ve pirincin elektriksel iletkenlikleri, yoğunlukları ve yoğunluğun elektriksel iletkenliğe oranı verilmektedir.

Çizelge 4.2. Malzemelerin elektriksel iletkenlikleri ve yoğunlukları (Kang, 2005)

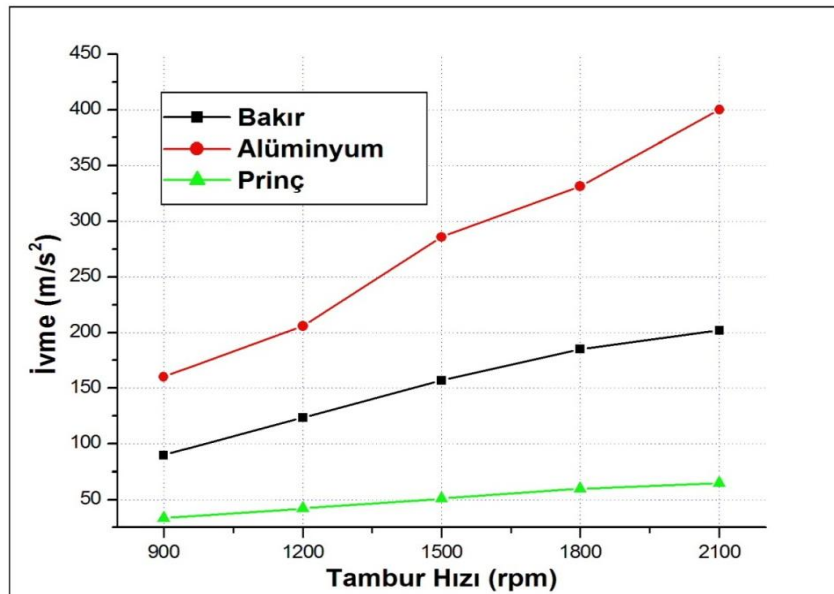
MALZEMELER	σ ($10^{-8}/\Omega\text{m}$)	P($10^3\text{kg}/\text{m}^3$)	σ/ρ ($10^3\text{m}^2 / \Omega\text{kg}$)
BAKIR	0.59	8.9	6.6
ALÜMİNYUM	0.35	2.7	13.1
PİRİNÇ	0.14	8.5	1.7

Verilen oranlara göre en düşük orana sahip olan malzemede en yüksek kuvvet oluşmaktadır. Kütlesi ve ebatları aynı olan malzemelerle yapılan deneyde elde ettiğimiz sonuçlar bunu desteklemektedir.



Şekil 4.1. 50x40 mm ebatlarındaki malzemede oluşan ayrıştırma kuvveti

Kütlesi ve ayrıştırma kuvveti bilinen deney malzemelerinin ivmesi de bulunmuştur. Kütlesi ağır olan malzemede oluşan kuvvet fazla iken bu malzemenin ivmesinin kütle ağırlığından dolayı daha düşük olduğu görülmüştür. Malzemelerin kütle büyüklüklerine göre bakır, alüminyum ve pirinçte oluşan ivmeler Çizelge 4.1’de verilmekte ve Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



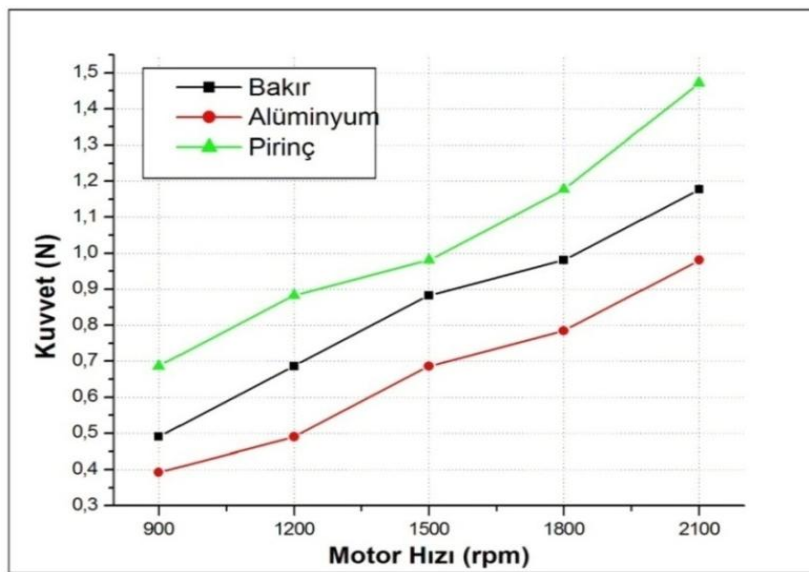
Şekil 4.2. 50x40 mm ebatlarındaki malzemede oluşan ivme

Malzeme boyutunun, ayrıştırma kuvvetine etkisini inceleyecek olursak; 40x30 mm ebatlarındaki bakır, alüminyum ve pirinç malzemelerinde mıknatıslı tambur 1500 rpm ile döndürüldüğünde, oluşan ayrıştırma kuvvetleri Çizelge 4.3’de verilmektedir.

Çizelge 4.3. 40x30 mm ebatlarındaki malzemeleri ayrıştırma deney verileri

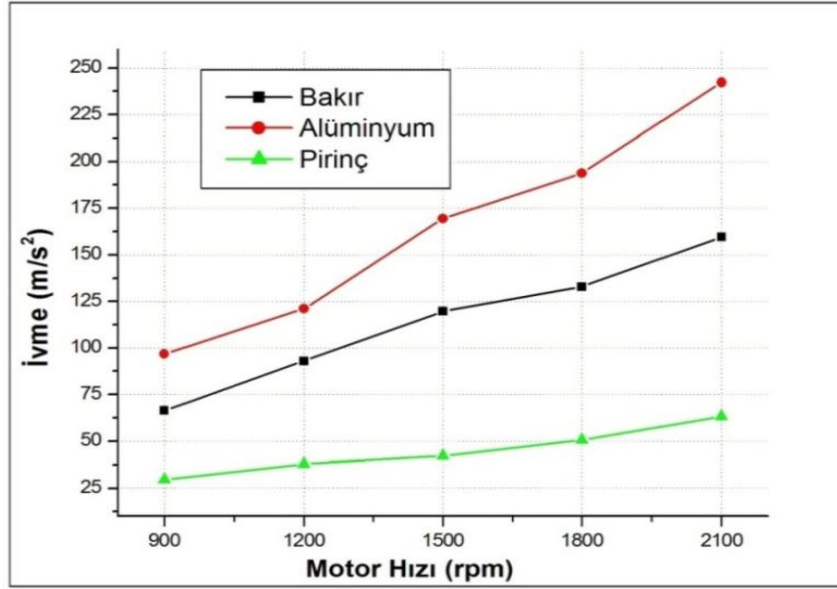
Sürücü Frekansı (Hz)	Motor Hızı	BAKIR 0,00738 kg			ALÜMİNYUM 0,00405 kg			PİRİNÇ 0,02325 kg		
		Kuvvet		ivme	Kuvvet		ivme	Kuvvet		ivme
	(rpm)	kg	(N)	m/s ²	kg	N	m/s ²	kg	(N)	m/s ²
15 Hz	900	0,050	0,491	66,531	0,040	0,392	96,790	0,070	0,687	29,548
20 Hz	1200	0,070	0,687	93,089	0,050	0,491	121,234	0,090	0,883	37,978
25 Hz	1500	0,090	0,883	119,647	0,070	0,687	168,629	0,100	0,981	42,193
30 Hz	1800	0,100	0,981	132,926	0,080	0,785	193,827	0,120	1,177	50,623
35 Hz	2100	0,120	1,177	159,512	0,100	0,981	242,222	0,150	1,472	63,311

Çizelge 4.3’e göre, bakırda 0.883N, alüminyumda 0,687N ve pirinçte 0,981N kuvvet oluşmuştur. 50x40 mm boyutundaki aynı malzemelerde, aynı şartlarda oluşan kuvvete göre, 40x30 mm boyutundaki malzemede oluşan kuvvet daha düşüktür. Bu da gösteriyor ki malzeme boyutu küçüldükçe manyetik alana maruz kalan yüzey azaldığından dolayı oluşan ayrıştırma kuvveti de küçülmektedir. Bu durum Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3. 40x30 mm ebatlarındaki malzemede oluşan ayrıştırma kuvveti

Eddy akımı ayırıştırıcısında malzeme boyutundaki küçülme, kuvveti etkilediği gibi ivmeyi de etkilemiştir. Malzeme boyutu küçüldükçe ivmede küçülmektedir. Bu küçülmeler Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4. 40x30 mm ebatlarındaki malzemede oluşan ivme

Mıknatıslı tamburun hızının ayırıştırma kuvvetine etkisini inceleyecek olursak; birinci deneyde farklı hızlarda döndürülen mıknatıslı tamburun hızı arttıkça, malzemelerde oluşan kuvvetin arttığı da Çizelge 4.1'de görülmektedir. Örneğin 50x40 mm alüminyum malzeme ayırıştırılırken mıknatıslı tambur 900 rpm döndürüldüğünde alüminyum üzerinde oluşan ayırıştırma kuvveti 1,373N dur. Tambur 2100 rpm hıza çıkarıldığında oluşan kuvvet 3,434N dur. Mıknatıslı tamburun hızı arttıkça değişken manyetik alanın frekansı arttığı için oluşan Eddy akımı ve kuvveti de artmaktadır. Bu artış Çizelge 4.1'de ve Şekil 4.1'de görülmektedir.

İkinci deneyde Eddy akımı ayırıştırıcısının verimine yönelik uygulamalar yapılmıştır. Bu deneyde karışım halinde 2 kg ağırlığında, 5-10 mm'den 50-100 mm'ye kadar farklı boyut ve biçimlerdeki alüminyum, bakır ve pirinç malzemeleri ayırıştırılmıştır. Bu uygulamalarda mıknatıslı tamburun dönüş hızı 1200 rpm ve altındayken ayırıştırma kaybının %10 civarında olduğu görülmüştür. Bu da mıknatıslı tamburun dönüş hızının 1200 rpm ve altında olduğunda, Eddy akımı ayırıştırıcısının %90 verimle çalıştığını

göstermektedir. Mıknatıslı tamburun dönüş hızı 1500 rpm ve üzerindeyken kayıp oranı %4 ile %6 arasında değişmektedir. Bu sonuca göre Eddy akımı ayırıştırıcısı 1500 rpm ve üzerinde %94 ve üzeri bir verimle çalıştığı görülmektedir. Çizelge 4.4’de Eddy akımı ayırıştırıcısı prototipinin farklı çalışma hızlarında elde edilen verimi gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Eddy akımı ayırıştırıcısının verimi.

Tambur Hızı (rpm)	Ayrıştırılan Metal	Ayrıştırılan Plastik	Kayıp Metal	Ayrıştırılan Toplam Malzeme	Ayrıştırılacak Toplam Malzeme	Verim
900	1300 g	500 g	200 g	1800 g	2.000 g	%90
1200	1330 g	500 g	170 g	1830 g	2.000 g	%91,5
1500	1380 g	500 g	120 g	1880 g	2.000 g	%94
1800	1420 g	500 g	80 g	1920 g	2.000 g	%96
2100	1420 g	500 g	80 g	1920 g	2.000 g	%96

Ayrıca yapılan uygulamalarda küçük boyutlarda değerli metallerin en verimli şekilde ayrıştırılması için, mıknatıslı tamburun dönüş hızının 1500 rpm ve üzerinde olması gerektiği görülmüştür. Daha düşük ebattaki parçacıkları ayrıştırılması için bantın taşıdığı malzeme miktarı, bant dönüş hızı ve mıknatıslı tamburun dönüş hızının ayarlanması gerekmektedir. Yapılan prototipte, konveyör bant hızı 0.2 m/s olarak redüktör ile sabitlenmiştir. Prototip tasarımında iyileştirmeye gidilerek daha küçük parçacıklarda ayrıştırılabilmektedir. Tambur 2100 rpm hıza kadar çıkarılmıştır. Ayırıştırıcı yüksek verimde ayırıştırma yapabildiği için bu hız yeterli kabul edilmiştir. Çok daha granül halindeki malzemelerin ayrıştırılması daha yüksek hızlarda mümkündür. Fakat ayırıştırıcı mekanik sınırları ve vibrasyondan dolayı, daha yüksek hızlarda deney yapılmamıştır. Elde edilen sonuçlar tezin amacına ulaştığı için yüksek hızlarda deney yapılmasına gerek görülmemiştir. Ancak tasarımda yapılacak bazı değişiklikler ile küçük granül halindeki değerli metaller için ayırıştırma deneyleri sonraki çalışmalarda yapılacaktır.

5. SONUÇ

Yapılan tez çalışmasında, evsel ve sanayi atıkları içerisindeki manyetik olmayan alüminyum, bakır ve pirinç gibi değerli metallerin ayrıştırılması için, Eddy akımı yöntemi öngörölmüş olup, bu yöntemle çalışan bir ayrıştırıcının prototip tasarımı yapılmıştır. Tasarım öncesi, sistemin teorik alt yapısı ile ilgili analitik yaklaşımların dikkate alınması tasarıma yol gösterici olmuştur.

Prototip, imal edilmeden önce bilgisayar ortamında tasarlanarak, prototipin katı modeli oluşturulmuştur. Yapılan çizimler ışığında imalatı yapılmıştır. İmal edilen prototip laboratuvar ortamında, atıkların içerisindeki değerli metalleri yüksek oranda ayrıştırmaktadır. Bu prototip üzerinde deneyler yapılarak, ayrıştırma sırasında malzeme üzerinde oluşan ayrıştırma kuvveti, ivmesi ve ayrıştırma verimi incelenerek küçük parçacıkların ayrıştırılması test edilmiştir.

Eddy akımı ayrıştırıcısında, belirli ebatlarda hazırlanmış bakır, alüminyum ve pirinç gibi test malzemeleri üzerinde ayrıştırma kuvvetleri oluşmuştur. Oluşan kuvvetler dinamometre ile ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda malzemenin cinsi, elektriksel iletkenliği, öz kütlesi, boyutu, mıknatıslı tamburun hızı, mıknatısların alan şiddeti ve kutup sayısının ayrıştırma kuvvetine etki ettiği görölmüştür. Yoğunluk başına iletkenliği daha yüksek olan malzemelerde daha fazla kuvvet oluştuğu ve daha kolay bir şekilde ayrıştırıldığı test edilmiştir.

Deneyler sırasında mıknatıslı tamburun hızı 900-2100 rpm hızları arasında değiştirilerek, ayrıştırılan test malzemeleri üzerindeki kuvvetler ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda hız artıkça itme kuvvetinin arttığı görölmüştür. Böylece tambur hızının Eddy akımının genliğine ve malzemede oluşan kuvvete olan etkisi belirlenmiştir. 50x40 mm ve 40x30 mm ebatlarındaki bakır, alüminyum ve pirinçten oluşan test malzemeleri ile yapılan deneylerde, manyetik alana maruz kalan malzeme yüzeyi küçöldükçe oluşan kuvvetin azaldığı görölmüştür. Malzeme boyutunun küçölmesi ile indüklenen Eddy akımı azalmaktadır. Akımın azalması ile malzemede oluşan manyetik alan da azalarak ayrıştırma kuvvetinin düşmesine neden olmaktadır.

Sistemin verimine yönelik yapılan deneylerde, mıknatıslı tamburun dönüş hızının ayrıştırılan malzeme miktarına etkisi olduğu tespit edilmiştir. Prototipin mıknatıslı tamburu yaklaşık 900-1200 rpm hızlarında çalıştığında, ayrıştırma verimi %90 civarındadır. Tambur hızı 1500 rpm ve üzerindeyken ayrıştırmada elde edilen verim %94'ün üzerindedir. Ayrıca konveyör bant yüklü miktarda ve yığın halinde atık malzeme taşıdığına, ayrıştırma veriminin azaldığı görülmüştür. Bu nedenle malzemelerin bant üzerine düzgün olarak dağıtılması gerekmektedir. Bunun için uygun bir yükleyici ya da vibratör kullanılması önerilmektedir.

Deneylerde alınan verilere göre yapılan prototip genel olarak 5-10 mm'den büyük değerli metalleri, %90'nın üzerinde bir verimle ayrıştırılabilmektedir. Yapılan Eddy akımı ayrıştırıcısı prototipinde, konveyör bantın hızı 0,2m/sn olarak sabit tutulmuştur. Bantın hızlı olması ayrıştırılacak değerli metaller üzerinde yeterli miktarda Eddy akımı oluşturmamaktadır. Dolayısıyla yeterli miktarda itme kuvveti oluşmamaktadır. Bu durum ayrıştırma verimini düşürmektedir. Tasarımda iyileştirmeye gidilerek malzemenin boyutlarına ve cinsine göre konveyör bantta hareket veren motorun hız kontrolü yapılabilir.

Öngörülen ayrıştırıcı ile endüstriyel atıkların bol bulunduğu talaşlı üretim yapan imalat sektöründe ve evsel atıkların daha çok bulunduğu belediyelere ait çöplüklerde atık halde bulunan alüminyum, bakır, pirinç gibi değerli metallerin ayrıştırılarak hammadde üretimine geri dönüşümü sağlanabilir.

Bu ayrıştırma işleminin etkin olarak yapılması sonucunda; önemli miktarda makro ve mikro düzeyde ekonomik faydaya, doğal kaynakların tüketiminin azalmasına ve enerji tasarrufuna, insan sağlığını olumsuz etkileyen unsurların kısmen giderilmesine, hayvan ve bitkileri bekleyen ekolojik tehlikelerin önüne geçilmesine, yüzeysel ve yer altı sularındaki kirlenmenin azalmasına, hava kalitesini bozan faktörlerin azaltılmasına, doğal kaynakların ve çevrenin korunmasına, tehlikeli atıkların yok edilmesine ve iklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonunun azaltılmasına katkıda bulunulacaktır.

Bu alanda çalışma yapmak isteyen araştırmacılara, malzeme cinsine göre özel ayrıştırma yapabilen veya granül haldeki atık değerli metalleri geri kazanabilen ayrıştırıcılar ve bunların kontrolü ile ilgili çalışmalar yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2011. Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Eğitim Geliştirme Projesi <http://megep.meb.gov.tr>. (25.12.2011)
- Anonim, 2012a. Cogelme S.a.s., www.cogelme.it, (11.09.2012).
- Anonim, 2012b. Yerel yönetimler, www.cevko.org.tr (10.11.2012).
- Anonim, 2012c. Aksa Magnet, roll manyetik separatörler, www.aksamagnet.com.tr, (22.10.2012).
- Anonim, 2012d. Eddy current separator, www.eriez.com (08.10.2012).
- Anonim, 2012e. Ordu Belediyesi, Katı Atık Ayırıştırma Tesisi, www.ordu.bel.tr (12.10.2012)
- Anonim, 2012f. Eddy current separator, www.mastermagnets.com (08.10.2012).
- Dobney, S.J. 1993. Eddy Current Separators , IEE Colloquium on Permanent Magnet Machines and Drives, London.
- Fenercioğlu, A., Kurt Ü., Manyetik Olmayan İletken Malzemelerin Ayırıştırılmasında Eddy Akımı Yönteminin Kullanılması ve Alüminyumun Geri Kazanılması Örneği, UMES 2007, Kocaeli.
- Fletcher, D., Gerber, R., 1994. The small particle limit for electromagnetic separation Magnetics, IEEE Transactions on Magnetics, 30 (6), 4656-4658.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2011. Manyetik ayırmadaki son gelişmeler ve alternatif manyetik ayırıcı tiplerinin tanıtılması, İstanbul Yer Bilimleri Dergisi 24(1), 75-93.
- Kang, H, Y., Schoenung J.M. 2005. Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options, Resources Conversation & Recycling 45 (2005), 368-400.
- Lungu, M., Rem, P., 2003. Eddy-current separation of small nonferrous particles by a single-disk separator with permanent magnets, IEEE Transactions on Magnetics, 39 (4), 2062-2067.
- Mester, M., McIntire., P. 1998. Nondestructive Testing Handbook, Second Edition Volume 4, Electromagnetic Testing, USA.
- Özgür, S., 2006. Ambalaj ve Geri Dönüşüm Semineri, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Öztürk, M., 2005. Kullanılmış Alüminyumun Geri Kazanılması Raporu, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Rem, P., Beunder, E.M. ve Akker A.J 1998. Simulation of Eddy-current separators, IEEE Transaction on Magnetics, 34 (4), 2280-2286.
- Schloemann, E., 1977. Self-cleaning non-ferrous metal separator, IEEE Transactions on Magnetics, 13 (5), 1496-1498.
- Schloemann, E., 1978. Statistical theory of nonferrous metal separator performance Magnetics, IEEE Transactions on 14 (5), 395-397.
- Schloemann, E., Reiner, M., Pendley, A., 1979. High performance magnetic separator for removal of partially magnetic particles from shredded waste, IEEE Transactions on Magnetics, 15 (6), 1532-1534.
- Svoboda, J., 2004. Magnetic Techniques for the Treatment of Materials, Kluwer Academic Publishers, USA.
- Wang, Q., Zhao, Y., Jiao, H., Zhang, H., 2005. Effects of operation parameters of Eddy current, 7th World Congress on Recovery, Recycling and Re-integration, China.

- Zhang, S., Rem, P.C. ve Forssberg, E., 1999. Particle trajectory simulation of two-drum Eddy current separators, *Res. Conserv. Recycl.* 26 (1999), 71.
- Zhang, S., Rem, P.C. ve Forssberg, E., 1999. The investigation of separability of particles smaller than 5 mm by Eddy-current separation technology, Part I: Rotating type Eddy-current separators. *Magn. Electr. Separators*, 233.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ali KARTAL
Doğum Tarihi ve Yer : 20.01.1975
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
Telefon : 507 2430555
e-mail : alikartal5800@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi	1998
Lise	Sivas Merkez Endüstri Meslek Lisesi	1992

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012	Zile Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	Müdür Yardımcısı
2005	Zile Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	Atölye Şefi
1998	Zile Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	Motor Bölümü Öğretmeni