

## Yeni Bir Eddy Akımı Ayırıştırıcısı ile Küçük Boyutlu Demirsiz Metallerin Ayırıştırılması

Ahmet FENERCİOĞLU\*<sup>1</sup>, Hamit BARUTÇU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Tokat

Geliş tarihi: 20.08.2016 Kabul tarihi: 30.09.2016

### Öz

Bu çalışmada 5 mm'den küçük granül haldeki demirsiz metallerin ayrıştırılarak geri kazanımı amacıyla tasarlanan yeni bir eddy akımı ayırıştırıcısı (EAA)'nın performansı incelenmiştir. Ayrıştırılacak malzemenin küçüklüğünden dolayı oluşan itme kuvveti ayrıştırmada yetersiz kalmaktadır. Bu kuvveti artırabilmek için mıknatıs tambur tasarımı, tambur hızı, kutup sayısı, hava aralığı, mıknatıs seçimi ve ana gövde tasarımında yapılacak iyileştirmeler ile yeni bir EAA geliştirilmiştir. Bu etkilerin deneyle incelenmesi mümkün olduğu için tambur pozisyonunun değişimi, tambur ve konveyör hızının etkileri test edilerek performansa etkileri belirlenmiştir. Bu sistem ile granül atık içerisinde bulunan değerli metallerin yüksek verimle geri dönüşümü ve ekonomiye kazandırılması mümkün olmaktadır. Granül atık halindeki güç kablolarının ayrıştırılması için yapılan deneylerde en az %96'nın üzerinde verim elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Eddy akımı ayırıştırıcısı, Değerli metal ayrıştırma, Demirsiz metal ayrıştırma

## Separation of Small Sized Non-Ferrous Metals with a Novel Eddy Current Separator

### Abstract

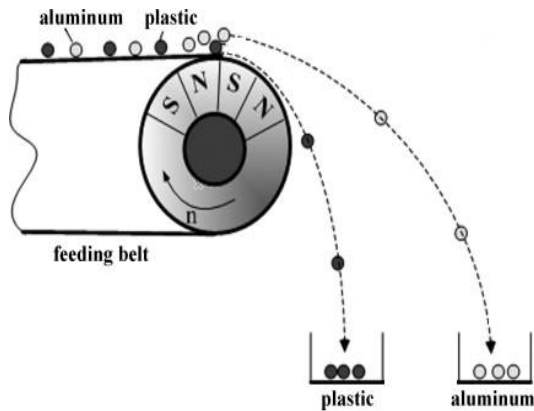
In this study; performance of novel eddy current separator (ECS) is designed for particle separation is examined for separation of non-ferrous metals smaller than 5 mm. The propulsion force in material is not sufficient due to small size for separation. Drum design and speed, number of magnet poles, airgap, magnet type and main frame design are improved to increase the propulsion force. Variations of drum position, drum and conveyor speed are examined by experiments for determination of performance effects. It is possible that recycling of granule nonferrous valuable metals, and obtaining economical value with high efficiency. In experiment of granule power cable wastes separation efficiency is higher than %96.

**Keywords :** Eddy current separator, valuable metal separation, Non-ferrous metal separation

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Ahmet FENERCİOĞLU, [ahmet.fenercioglu@gop.edu.tr](mailto:ahmet.fenercioglu@gop.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Ayırıştırma öncelikli işlem malzemeleri sınıflandırdıktan sonra ayrı ayrı parçalayarak geri kazanmaktır. Fakat değerli metallerin birada montaj halinde olduğu veya plastik kılıfla birlikte bulunduğu durumlarda bunları birbirinden ayırmak oldukça zordur ve yüksek işçilik maliyetleri gerektirir. Bu tür malzemeler kıyıcı makinelerde hepsi bir arada parçalanmaktadır. Parçalanmış atıklar granül olarak karışık halde bulunurlar. Öngörülen sistem ile bu karışım içerisinde değerli metalleri ayırıştırma mümkündür. Süreç içerisinde EAA ferromanyetik malzemeleri ayırıştırma kullanılmadığı için öncelikle atık içerisinde demir içeren metaller bir elektromıknatısla tutularak dışarı alınmalıdır. Kalan atıklar ise bant üzerinde taşınarak EAA yardımıyla ayırıştırılmaktadır. Ayırıştırma sonucunda değerli metaller bir bölmeye alınırken kalan diğer malzemeler başka bir bölmeye alınmaktadır. Şekil 1'de demirsiz metallerin ayırıştırılmasını gösteren EAA'nın prensip şeması verilmiştir [1-2]



a)



b)

Şekil 1. EAA a) prensip şeması, b) prototip

Bu çalışmada granül haldeki değerli metallerin ayırıştırma amacıyla tasarlanan EAA'nın performansı için bazı parametreler incelenecektir. Ayırıştırılacak malzemenin küçüklüğünden dolayı oluşan itme kuvveti ayırıştırma yetersiz kalmaktadır. Bu kuvveti artırabilmek için mıknatıs tambur tasarımı, tambur hızı ve kutup sayısı, hava aralığı, mıknatıs seçimi ve ana gövde tasarımında iyileştirmeler ile yeni bir EAA tasarımı geliştirilmiş ve 213M551 nolu Tübitak destekli bir proje kapsamında prototip olarak imal edilmiştir.

Bu çalışmada tamburun X ve Y eksenlerindeki konumu, tambur hızı, tambur ile malzeme arasındaki hava aralığı ve malzemeyi tambur üzerine taşıyan bant hızının ayırıştırma verimine etkileri incelenmiştir. Bu sistem ile granül atık içerisinde bulunan değerli metallerin yüksek verimle geri dönüşümü sağlanarak hammaddeye dönüşümü ve ekonomiye kazandırılması mümkün olmaktadır. Geri dönüşümle kazanılan bu değerli metaller sayesinde bu madenlerin çıkarılması ve işlenmesi için harcanan işçilik ve enerji azalacaktır. Böylece doğal kaynaklar korunarak çevre daha az kirletilecektir. Ayrıca EAA'nın teknolojisi ve tasarımı konusunda yapılacak Ar-Ge çalışmaları sistemi üretmek isteyen makine-imalat firmalarına yön göstermesi ve ürünün ticarileştirilmesi hedeflenmektedir.

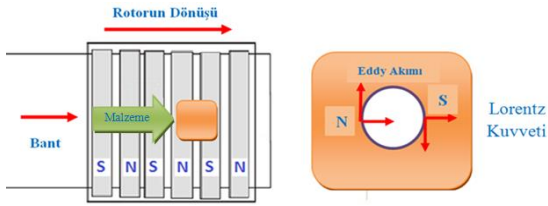
## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Genel anlamda uluslar arası düzeyde EAA'lar ile ilgili oldukça az yayın ve akademik çalışmaya rastlanmıştır. Yurtiçinde ise yok denecek kadar az sayıda yayın bulunmaktadır.

Yapılan çalışmaların çoğunluğu 5 mm den küçük boyutlu demirsiz metallerin ayırıştırılabilmesi için performans artırmayı hedefleyen çalışmalardır. Bu kapsamda tasarım değişiklikleri, tasarım doğrulama çalışmaları, EAA'nın simülasyonları ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri, deneysel çalışmalarla farklı metaller için performansın belirlenmesi, tambur ve konveyör bant hızlarının verime etkisi, ayırıştırılacak malzemenin özkütle, iletkenlik ve şekil faktörünün performansa etkileri konularında literatürde çalışmalar bulunmaktadır [3-11].

### 3. MATERYAL VE METHOD

Demir içermeyen değerli metallerin ayrıştırılması için, eddy akımı etkin bir yöntemdir. Eddy akımı prensibi; bir iletken malzeme değişken bir manyetik alan içerisine yerleştirildiğinde manyetik akı tarafından kesilerek Faraday kanununa göre malzemede bir elektrik yükü indüklenir. Kapalı devre olan malzemede Eddy akımı olarak adlandırılan girdap şeklinde akımlar geçer. Bu akıma girdap akımı da denilmektedir. Eddy akımların etkisi ile malzemede Ampere kanununa göre manyetik alan oluşmaktadır. Bu alan mıknatıs bloklarından oluşan tamburun manyetik alanından etkilenir. Her iki alanın etkisi ile Biot-Savart yasasına göre malzemede kuvvet oluşur. Bu itme kuvveti ile malzeme ürün akışından dışarıya atılır. Şekil 2’de döner tamburlu tip EAA üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 2. Döner tamburlu EAA'nın üstten görünüşü

Şekil 2’de görülen döner tamburlu Eddy akım ayrıştırıcısında, döner mıknatıslı tamburun değişken manyetik alanının yol açtığı itici kuvveti Eşitlik 1 ve 2 ile sade biçimde ifade edilmiştir [8].

$$F_r = H^2 f \times \frac{m\sigma}{\delta s} \quad (1)$$

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

Burada  $F_r$  fırlatma kuvvetini,  $H$  manyetik alan şiddetini,  $f$  manyetik alan frekansını,  $n$  mıknatıs tamburun hızını,  $p$  manyetik kutup sayısını,  $m$  kütleyi  $\sigma$  iletkenlik oranını,  $\rho$  malzemenin şekil ve yoğunluk faktörünü ifade etmektedir. Farklı malzemeler için, bileşik kuvvet malzeme özellikleri ile ilgilidir ve iletkenliğin yoğunluğa oranı ( $\sigma/\rho$ ) kuvvetin boyutunu ve ayrıştırma zorluğunun derecesi belirlemektedir. Bu oranın büyük olduğu malzemelerde ayrıştırma başarısı daha yüksektir [4,8,9].

Bu malzemeler yaklaşık 2 mm çapında 5 mm uzunluğundadır. Bu deneyler için belirli miktarda malzeme seçilmiş ve farklı parametrelerin belirlenen malzemelerin ne kadarını ayrıştırdığı tespit edilerek ayrıştırma verimi belirlenmiştir (Şekil 3). Malzeme olarak 70 g alüminyum ve 180 g bakır seçilmiştir [4].



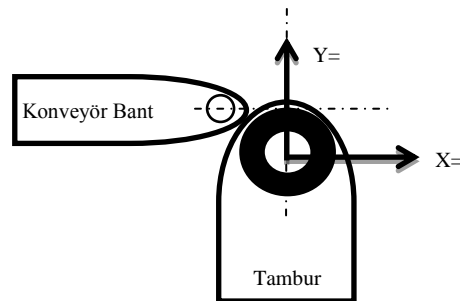
Şekil 3. Ayrıştırma verimi deneylerinde kullanılan malzemeler

Tasarlanan EAA’da malzemelerin düşeceği kap bölmelerine iki adet kutu yerleştirilmiş ve ayrıştırma işleminden sonra bu kapların içindeki malzeme miktarları yine hassas terazi ile ölçülmüş ve ayrıştırma verimi belirlenmiştir. Bu deneylerde tambur hızı, tambur konumu, malzeme cinsi ve bant hızı gibi parametrelerin ayrıştırma verimine etkisi belirlenmiştir. Tambur konumunun etkisi X ve Y koordinatları için ayrı ayrı olarak belirlenmiştir.

### 4. BULGULAR

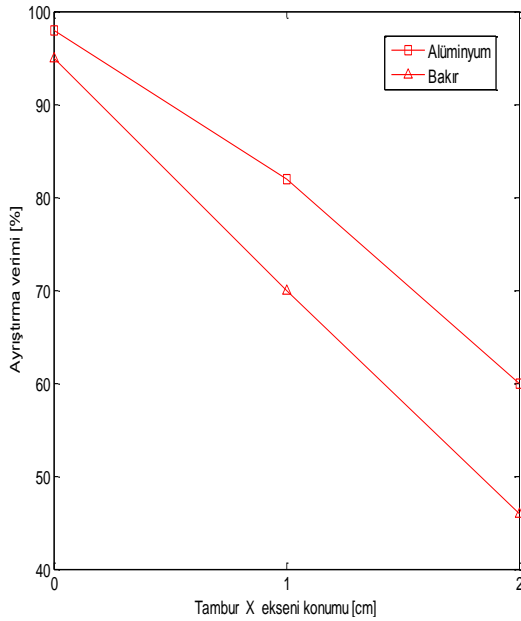
#### 4.1. Tambur Pozisyonunun Verime Etkisi

Tambur pozisyonunun X eksenindeki değişiminin ayrıştırma verimine etkisini gözlemlemek için tambur Y ekseninde -3 cm’de, tambur hızı 2000 rpm’de sabit tutulmuştur. Bant hızı ise 0,3 m/sn olarak belirlenmiştir. Tamburun x ve y eksenindeki konumunu Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Tamburun X ve Y eksenine göre konumu

Tamburun X eksenindeki 0,1 ve 2 cm konumları için ne kadar malzemenin ayrıştığı tespit edilmiştir. İlk olarak alüminyum daha sonra bakır malzeme kullanılarak deney tamamlanmıştır. Bakır ve alüminyum malzeme için tamburun X eksenindeki konumuna göre ayırıştırma verimi Şekil 5’de gösterilmiştir.

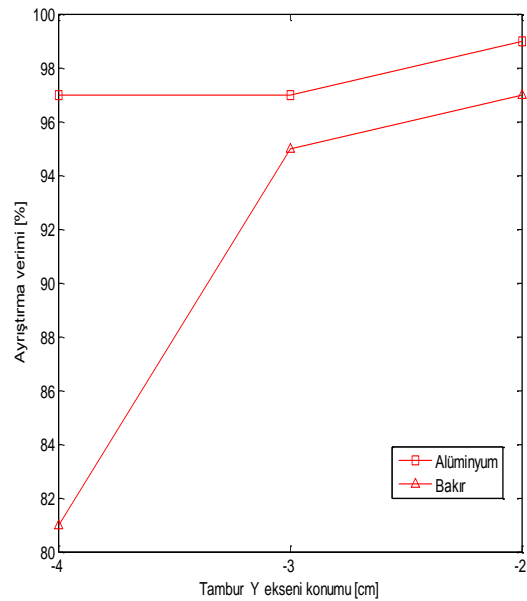


Şekil 5. Ayırıştırma veriminin tamburun X eksenindeki konumuna göre değişimi

Sonuçlara bakıldığında her iki malzeme için de tamburun X eksenindeki konumu arttırıldığında yani tambur ve bant birbirinden uzaklaştığında ayırıştırma verimi düşmektedir. Bunun sebebi tambur banttın uzaklaştığında daha az malzemenin tambur üstüne gelmesidir. Böylece ayırıştırma veriminin tamburun X=0 konumu için en yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir.

Tamburun Y eksenindeki konumu için ayırıştırma verimi incelenmiştir. Tambur X=0 konumunda sabit tutulmuştur. Tambur hızı 2000 rpm’de bant hızı ise 0,3 m/s olarak sabit tutulmuştur. Tamburun Y eksenindeki -2, -3 ve -4 cm’deki konumları için ayırıştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve verimler incelenmiştir. Tamburun Y eksenindeki konumu için ayırıştırma verimi Şekil 6’da verilmiştir.

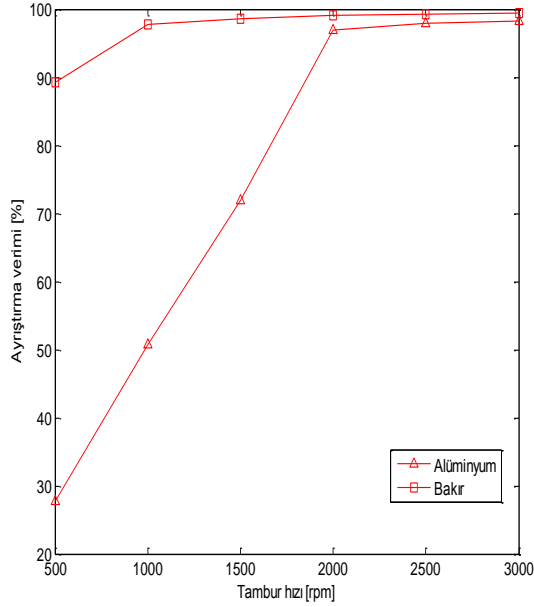
Deney sonuçları incelendiğinde tamburun Y ekseninde banttın uzaklaştığında verimin düştüğü görülmüştür. Tambur bant seviyesinden ne kadar aşağıda olursa malzeme banttın düştüğünde daha fazla potansiyel enerjiye sahip olacaktır. Dolayısıyla tamburun manyetik alanının oluşturduğu kuvvet malzeme ile birlikte bu potansiyel enerjisini de karşılamaya yetmeyecektir. Ayırıştırma verimi Y=-2 konumu için en yüksek değerine sahiptir.



Şekil 6. Ayırıştırma veriminin tamburun Y eksenindeki konumuna göre değişimi

#### 4.2. Tambur Hızının Ayırıştırma Verimine Etkisi

Tamburun X-Y eksenlerinde ayırıştırma veriminin en yüksek olduğu konumları belirlenmiştir. Bu deney de ise tambur hızının ayırıştırma verimine etkisi incelenmiştir. Tambur X=0 ve Y=-2 konumunda, bant hızı ise 0,3 m/sn’de sabit tutulmuştur. Yine 70 g alüminyum granül malzeme besleme ünitesine konulmuş ve ayırıştırma işlemi tambur hızının 500 ile 3000 rpm arasındaki hız değerleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Alüminyum ve bakır için deney sonuçları grafik olarak Şekil 7’de verilmiştir.



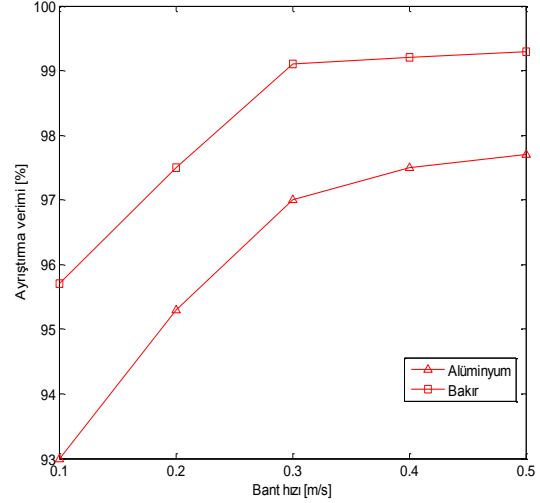
Şekil 7. Tamburun hızına göre verimin değişimi

Bu deney sonuçlarını incelediğimizde hız arttıkça ayrışan malzeme miktarı yükselmiştir. Öyleki 3000 rpm'de 70 g alüminyum malzemenin %99'dan fazlası 180 g bakır malzemenin %98'den fazlası ayrıştırılmıştır.

#### 4.3. Bant Hızının Ayrıştırma Verimine Etkisi

Bu deneyde ise bant hızının ayrıştırma verimine etkisinin gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Deneyde tambur hızı 2000 rpm'de sabit tutulmuştur. Tambur X=0 ve Y=-2 konumunda iken bant hızının 0,1 ile 0,5 m/sn arasındaki değerler için ayrıştırma işlemi yapılmıştır ve sonuçlar Şekil 8'deki grafikte karşılaştırılmıştır.

Deney sonuçları incelendiğinde bant hızının artması ile ayrıştırma veriminin de arttığı görülmüştür. Bant hızı arttığında bant malzemeyi bitiş noktasında daha fazla ötelemektedir. Bundan dolayı mıknatıs tamburun manyetik alanı malzemeye daha fazla kuvvet uygulamaktadır. Fakat bant hızını belirli bir değerden fazla artırıldığında pvc atıkların da eylemsizlikten dolayı ayrıştırılan metal içerisine düşebilmektedir. Bu nedenle 0,3 m/s optimum bant hızı olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. Bant hızına göre verimin değişimi

## 5. SONUÇ

Ayrıştırma verimi deneylerinde, mıknatıslı tamburun dönüş hızının, mıknatıslı tamburun konumunun, bant hızının ve malzeme cinsinin ayrıştırılan malzeme miktarına etkisi olduğu tespit edilmiştir. Prototipin mıknatıslı tamburu 500 rpm hızda çalıştığında alüminyum malzeme için yaklaşık %90 ayrıştırma verime, bakır malzeme için %25 sahip iken, 3000 rpm'de alüminyum malzemede yaklaşık %99, bakır malzeme için %98 ayrıştırma verimine sahiptir.

Bant hızının da ayrıştırma verimine etki ettiği görülmüş ve bant hızının ayrışan malzeme miktarını değiştirdiği tespit edilmiştir. Bant 0,1 m/s hızda çalışırken alüminyum malzeme kullanıldığında ayrıştırma verimi %96, bakır malzeme için verim %93 olmuştur. Bant hızı 0,5 m/sn olduğunda alüminyum malzeme için verim %99 ve bakır malzeme için verim yaklaşık %98 olmuştur. Bu deneylerde alüminyum ve bakır malzemeler için ayrıştırma veriminin farklı olduğu görülmüş ve malzeme cinsinin de ayrışma verimini etkilediği gözlemlenmiştir. Bakırın iletkenliği daha yüksek olduğu için malzemede indüklenen kuvvet daha yüksektir. Fakat özgül ağırlığı yüksek olduğu için oluşan kuvvet yeterli düzeyde malzemeyi fırlatmadığı için bakırdaki verim daha düşüktür.

Öngörülen ayırıştırıcı ile değerli metallerin birarada montaj halinde olduğu veya plastik ile birlikte bulunduğu durumlarda bunları birbirinden ayırmak mümkün olacaktır ve yüksek işçilik maliyetlerine gerek kalmayacaktır. Parçalanmış atıklar granül olarak karışık halde bulunduğundan öngörülen sistem ile bu karışım içerisinde değerli metalleri ayırıştırmak mümkün olmuştur. Süreç içerisinde EAA demir içeren malzemeleri ayırıştırmada kullanılmadığı için öncelikle atık içerisindeki bu metaller bir elektromıknatısla tutularak dışarı alınmalıdır. Kalan atıklar ise bant üzerinde taşınarak EAA yardımıyla ayırıştırlmaktadır. Ayırıştırma sonucunda alüminyum, bakır, pirinç gibi değerli metallerin ayırıştırlarak hammadde üretimine geri dönüşümü sağlanabilir.

Bu ayırıştırma işleminin etkin olarak yapılması sonucunda; önemli miktarda ekonomik fayda ve enerji tasarrufu sağlanacak, insan sağlığını olumsuz etkileyen unsurlar kısmen giderilecek, çevrenin korunmasına katkı sağlanmış olacaktır.

## 6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 213M551 nolu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## 7. KAYNAKLAR

1. Dobney, S.J., 1993. Eddy Current Separators, IEE Colloquium on Permanent Magnet Machines and Drives, London, 9, pp: 1-3.
2. Fenercioğlu, A., Kurt, Ü., 2007. Manyetik Olmayan İletken Malzemelerin Ayırıştırlmasında Eddy Akımı Yönteminin Kullanılması ve Alüminyumun Geri Kazanılması Örneği, UMES 2007, Kocaeli 2, pp: 712-715.
3. Fenercioğlu, A., Barutçu, H., 2015. Finite Element Analysis of Separation Force on Non-Ferrous Metals Induced by Eddy Current Separator, PIERS 2015, 6-9 July, 2015, Prague, Czech Republic.
4. Fenercioğlu, A., Barutçu, H., 2015. Separation of Granule Non-Ferrous Metals in Shredded Cable Waste with Eddy Current Separator, Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Mechanics and Industrial Engineering, 20-21 July, 2015, Barcelona, Spain.
5. Kang, H.Y., Schoenung J.M., 2005. Electronic Waste Recycling: A Review of U.S. Infrastructure and Technology Options, Resources Conversation Recycling 45, pp: 368-400.
6. 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), pp: 2062-2067.
7. Lungu, M., 2005. Separation of Small Nonferrous Particles using an Angular Rotary Drum Eddy-current Separator with Permanent Magnets, International Journal of Mineral Processing, 78, pp: 22-30.
8. Wang, Q., Zhao, Y., Jiao, H., Zhang, H., 2005. Effects of Operation Parameters of Eddy Current, 7<sup>th</sup> World Congress on Recovery, Recycling and Re-integration, China.
9. Zhang, S., Rem, P.C., Forssberg, E., 1999. Particle Trajectory Simulation of Two-drum Eddy Current Separators, Res. Conserv. Recycl. 26, pp: 71-90.
10. Zhang, S., Rem, P.C., 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, pp: 233-251.
11. Zhang, S., Forssberg, E., Arvidson, B., Moss, W., 1999. Separation Mechanisms and Criteria of a Rotating Eddy Current Separator Operation, Resources, Conservation and Recycling 25, pp: 215-232.