



**NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ ALAŞIMLI SABİT  
MIKNATISLI RULO TİPİ KURU MANYETİK AYIRICILARDA  
İŞLEM PARAMETRELERİ İLE AYIRIM PERFORMANSI  
ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN  
OPERATIONAL PARAMETERS AND SEPARATION  
PERFORMANCE IN RARE EARTH PERMANENT MAGNET  
ROLL TYPE DRY MAGNETIC SEPARATORS**

**HAKAN HASSOY**

Hacettepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetmeliğinin  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü  
DOKTORA TEZİ  
olarak hazırlanmıştır

2007

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI** 'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Cahit HIÇYILMAZ

Üye (Danışman) : Prof.Dr. Özcan Y.GÜLSOY

Üye : Prof.Dr. Ş.Levent ERGÜN

Üye : Prof.Dr. Zafir EKMEKÇİ

Üye : Doç.Dr. A.Hakan BENZER

ONAY

Bu tez ...../...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Ahmet R. ÖZDURAL  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

# NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ ALAŞIMLI SABİT MIKNATISLI RULO TİPİ KURU MANYETİK AYIRICILARDA İŞLEM PARAMETRELERİ İLE AYIRIM PERFORMANSI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ

Hakan HASSOY

## ÖZ

Yüksek alan şiddetli ve gradyanlı kalıcı mıknatıslığa sahip kuru manyetik ayırıcılarda ayırımda etkin olan parametreler ve ayırım performansı arasındaki ilişkileri ortaya koymak, bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Bu amaç doğrultusunda, rulo tipi kuru manyetik ayırıcılarda işlem parametreleri ile ayırım performansı arasındaki ilişkilerin incelenmesi için farklı geometrik şekillere, manyetik alınganlıklara ve tane boylarına sahip kaolin-manyetit karışımları hazırlanmış ve bu özşekilli taneler kullanılarak bir dizi laboratuvar ölçekli deney gerçekleştirilmiştir. Manyetik ayırıcıya bağlı parametrelerden rulo hızının ayırım üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bölücü bıçak konumu, deney düzeneğinde ölçülen mesafe değerlerine bağlı bir parametredir. Bu yüzden, ayrıca test edilen bir parametre değil, ölçüm sonuçlarına göre ayarlanması gereken bir değişken olarak değerlendirilmiştir.

Rulo tipi kuru manyetik ayırıcının bölücü bıçaklarını da taşımakta olan malzeme hazneleri sökülmüş, tanelerin içine düşebilecekleri ve düştükleri noktanın tespit edilebileceği bir kum havuzu ekipmanın altına yerleştirilmiştir. Taneler, manyetik rulo üzerine gelecek şekilde bandın üzerine elle bırakılmış ve düştükleri mesafeler ölçülmüştür.

Deneysel çalışma kapsamında tane hareketlerine olan etkileri incelenen malzeme ve ekipman parametrelerinin tümünün ayırım üzerinde belirgin etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. Farklı şekillere sahip taneleri tanımlamak için standart bir değer olarak Wadell Küresellik Faktörünün kullanımı faydalı olmakta ve şekil değişimi ile tane hareketlerinin değişimi ortaya koyulabilmektedir. Rulo tipi manyetik ayırıcılarda tane boyunun ayırım üzerindeki etkisinin azaltılması için dar

tane boyu aralıklarında besleme yapılması gerektiği görülmüştür. Farklı işlem koşulları için bölücü bıçak ve rulo hızı ayarlarının nasıl yapılması gerektiği değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** : manyetik ayırma, kalıcı mıknatıslık, rulo tipi kuru manyetik ayırıcı, ayırım performansı, küresellik faktörü

**Danışman** : Prof. Dr. Özcan Y. GÜLSOY

Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ABD

# **INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN OPERATIONAL PARAMETERS AND SEPARATION PERFORMANCE IN RARE EARTH PERMANENT MAGNET ROLL TYPE DRY MAGNETIC SEPARATORS**

## **ABSTRACT**

The aim of this study is to investigate the relation between separation efficiency and the parameters which affect the separation at dry magnetic separators with high gradient permanent magnets.

For this purpose, kaolin-magnetic mixtures with various geometric shapes, particle size fractions and magnetic susceptibility were prepared and a series of laboratory tests were conducted with these molded particles in order to investigate the relation between separation efficiency and process parameters at roll type magnetic separators. The effect of roll speed which is one of the parameters related to magnetic separator on the separation was investigated. Separator knife position is a parameter depends on measured distance value at experimental set-up. Therefore, it was evaluated as a parameter that should be adjusted according to measurement results rather than a parameter that should be tested.

The material reservoir that carries the separation knives of roll type dry magnetic separator was dismantled and a sand pool was placed under the equipment where the particles can fall down and the falling location can be determined. Particles were putt off on the magnetic roll via a belt conveyor with hand and distance that particles felt down was measured.

It was determined that all the parameters of material and equipment investigated have considerable effects on the separation efficiency. It is beneficial to use Wadell Sphericity Factor as a standard value for identifying the particles having different shapes, so that variance at particle movement with shape difference can be shown. It was seen that narrow particle size fractions should be fed in order to reduce the effect of particle shape on separation efficiency at roll type magnetic separators. It was evaluated how to adjust separator knife and roll speed for various process conditions.

**Key words:** magnetic separation, permanent magnet, roll type magnetic separator, separation efficiency, sphericity factor

**Advisor :** Prof. Özcan Y. GÜLSOY, Hacettepe University Mining Engineering Department, Division of Mineral Processing

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, fikirleri, öneri ve bilgisiyle yol gösteren danışmanım Sayın Prof.Dr. Özcan Y. GÜLSOY'a, tez çalışmalarımlın yönlendirilmesinde ve değerlendirmesinde önerileri ve yardımlarını esirgemeyen tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof.Dr. Ő.Levent ERGÜN ile Sayın Prof.Dr. Zafir EKMEKÇİ'ye, bölüm imkanlarından yararlanmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Prof.Dr. Erhan TERCAN'a teşekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZ

ABSTRACT

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ŞEKİLLER DİZİNİ

ÇİZELGELER DİZİNİ

SEMBOLLER DİZİNİ

<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MANYETİZMA VE MANYETİK AYIRMA İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....</b>	<b>3</b>
2.1. Manyetik Zenginleştirmenin Temelleri.....	4
2.1.1. Manyetik Birimler.....	4
2.1.2. Manyetik Ayırıcıdaki Kuvvetler.....	6
2.1.3. Minerallerin Manyetik Özellikleri.....	9
2.1.3.1. Diamanyetizma.....	9
2.1.3.2. Paramanyetizma.....	10
2.1.3.3. Ferromanyetizma.....	13
2.2. Kalıcı Miknatısların Genel Yapısı.....	18
2.3. Kalıcı Miknatıslı Rulo Tipi Manyetik Ayırıcı.....	21
2.4. Tane Morfolojisi ve Manyetik Ayırmadaki Önemi.....	44

### **3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....48**

#### 3.1. İncelenen İşlem Parametreleri.....48

##### 3.1.1. Malzemeye Ait İşlem Parametreleri.....48

##### 3.1.2. Ekipmana Bağlı Parametreler.....54

##### 3.1.3. Deney Düzeneği.....54

### **4. DENEYSEL SONUÇLAR.....58**

#### 4.1. Deneysel Sonuçların Her Şekil İçin Ayrı Ayrı İncelenmesi.....58

##### 4.1.1. Küre Şekilli Taneler.....61

##### 4.1.2. Küp Şekilli Taneler.....67

##### 4.1.3. Silindir Şekilli Taneler.....71

###### 4.1.3.1. Rulo eksenine paralel beslenen silindir şekilli taneler.71

###### 4.1.3.2. Rulo Eksenine Dik Beslenen Silindir Şekilli Taneler ..75

##### 4.1.4. Disk Şekilli Taneler.....80

#### 4.2. Tane Şekillerinin Tane Hareketi ve Ayırım Üzerine Etkisi.....85

##### 4.2.1. Manyetik Alınganlık ve Rulo Hızının Etkisi.....85

###### 4.2.1.1. Manyetit İçermeyen Taneler.....85

###### 4.2.1.2. %0,25 Manyetit İçeren Taneler.....87

4.2.1.3.%0,5 Manyetit İçeren Taneler.....	90
4.2.1.4.% 0,75 Manyetit İçeren Taneler.....	92
4.2.1.5.% 1 Manyetit İçeren Taneler.....	95
<b>5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>101</b>
5.1. Manyetik Alınganlığın Etkisi.....	101
5.2. Tane Boyunun Etkisi.....	101
5.3. Rulo Hızının Etkisi.....	102
5.4. Şeklin Etkisi.....	102
5.5. Bölücü Bıçak Konumunun Etkisi.....	102
5.5.1. Küre Şekilli Taneler.....	105
5.5.2. Silindir Şekilli Taneler.....	107
5.5.2.1. Rulo Eksenine Paralel Beslenen Taneler.....	107
5.5.2.2. Rulo Eksenine Dik Beslenen Taneler.....	108
5.5.3. Küp Şekilli Taneler.....	110
5.5.4. Disk Şekilli Taneler.....	112
5.6. Yörünge Hesaplamaları.....	114
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>141</b>

**KAYNAKLAR**

**EKLER**

## ŞEKİLLER DİZİNİ

## Sayfa

Şekil 2.1. Düzgün Ho manyetik alanı içerisindeki a yarıçaplı ferromanyetik tele temas eden b yarıçaplı küresel bir tanenin kesit görünümü (Oberteuffer, 1974 , Svoboda, 1987).....	8
Şekil 2.2. a- Manyetize olmayan demir; b- Kuvvetli manyetik (Jiles, 1991) .....	14
Şekil 2.3. Manyetik spin sıralanış şekilleri (Schieber, 1967) .....	16
Şekil 2.4. Farklı manyetik yapıların sıcaklığa bağlı alınganlıklarında meydana gelen değişimler (Svoboda, 1987) .....	17
Şekil 2.5. Değişik maddelerin manyetizasyon eğrileri (Svoboda, 1987).....	17
Şekil 2.6. Maddelerin manyetik alınganlık değerlerine göre sınıflandırılması (Jiles, 1991) .....	18
Şekil 2.7. Kalıcı mıknatısların gelişimi (Arnold, 2002) .....	20
Şekil 2.8. Endüstriyel ölçekli rulo tipi kuru manyetik ayırıcı (Bateman Permroll).22	
Şekil 2.9. Rulo tipi kuru manyetik ayırıcının temsili kesit görünümü.....	22
Şekil 2.10. Rulo tipi ayırıcının geometrisi. a- rulo kesiti ve taneye etki eden üç ivme vektörü. b- rulo kesiti, burada t hava boşluğu olarak kabullenilmiştir (Kopp, 1984).....	24
Şekil 2.11. İki manyezit numunesinin manyetik üründeki demir veriminin tane boyu ile değişimi .....	31
Şekil 2.12. Rulo hızının ve besleme miktarının ürün verimine etkisi (Arvidson ve Rademeyer, 1997), .....	34
Şekil 2.13. Farklı iki feldispat numunesinin 75 mm'lik rulo tipi manyetik ayırıcıda farklı rulo hızlarında ayırım performansı (Arvidson, 2000)....	35
Şekil 2.14. İz tanelerin manyetik alınganlıklarına bağlı olarak ayırım performansının değişimi (Ennis ve Dune, 2000) .....	36
Şekil 2.15. İz tanelerin şekilleri ve boyutları (Ennis ve Dune, 2000) .....	36
Şekil 2.16. Farklı dizilimlerde rulo yüzeyinde manyetik alanın ve manyetik alan gradyanlarının değişimi (Bayraktar vd., 2003, Gülsoy ve Orhan, 2004) .....	39
Şekil 2.17. Rulo yüzeyinden uzaklaştıkça manyetik alanın değişimi (Bayraktar vd.,2003) .....	40
Şekil 2.18. Yüzeyden uzaklaştıkça (a) ölçülen, (b) hesaplanan manyetik alan	

değerlerinde meydana gelen azalmanın manyetik rulo konfigürasyonuna bağlı değişimi (Gülsoy ve Orhan, 2004) .....	41
Şekil 2.19. Farklı mıknatıs-çelik konfigürasyonlarına bağlı olarak (a) konsantre Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içeriği, (b) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> uzaklaştırma verimindeki değişimler (Gülsoy ve Orhan, 2004) .....	42
Şekil 2.20. Tane morfolojisinin dört sınıfı: a) disk şekilli, b) kübik/küresel, c) bıçağımsı, d) kalemsi (Barret, 1980, Kaymakçı, 2001) .....	45
Şekil 2.21. Yuvarlaklık sınıfları (Powers, 1953, Kaymakçı, 2001) .....	45
Şekil 3.1. Karışımların manyetik alınganlıklarının ölçümünün yapıldığı MSB Mk 1 manyetik alınganlık ölçer ve ölçüm tüpleri .....	49
Şekil 3.2. Farklı kaolin-manyetit içeriğine sahip yapay karışımların manyetik alınganlıklarının sıcaklığa bağlı değişimi .....	50
Şekil 3.3. Kaolin-manyetit karışımlarından hazırlanan öz şekilli taneleri temsil eden şekiller ve geometrik bileşenleri ve Wadell Küresellik Faktörü Değerleri .....	51
Şekil 3.4. a) Küre şekilli ve farklı tane boyu aralıklarındaki deney numuneleri, b) Küp şekilli ve farklı tane boyu aralıklarındaki deney numuneleri, c) Silindir şekilli ve farklı tane boyu aralıklarındaki deney numuneleri, d) Disk şekilli ve farklı tane boyu aralıklarındaki deney numuneleri .....	52
Şekil 3.5. Test düzeneğinin geometrik ölçümleri .....	55
Şekil 3.6. Deney düzeneğinin önden görünümü .....	55
Şekil 3.7. Deney düzeneğinin yandan görünümü .....	56
Şekil 3.8. Rulodan ayrılan tanelerin üzerine düştüğü kum havuzu ve tanelerin katettikleri mesafe ölçümlerinin yapıldığı düzenek .....	56
Şekil 4.1. Farklı manyetit içeriklerine sahip küp şekilli tanelerin katettikleri mesafelerin tane ağırlığı ile değişimi .....	58
Şekil 4.2. Farklı tane boylarındaki küre şekilli tanelerin artan rulo hızına bağlı olarak katettikleri mesafelerin manyetit içeriği ile değişimi .....	61
Şekil 4.3. Küre şekilli tanelerin katettikleri mesafelerin rulo hızına bağlı değişimi .....	67
Şekil 4.4. Rulo eksenine paralel eksende beslenen farklı tane boylarına sahip silindir şekilli tanelerin katettikleri mesafelerin manyetit içeriğine bağlı değişimi.....	71
Şekil 4.5. Rulo eksenine dik beslenen silindir şekilli tanelerin katettikleri mesafelerin manyetit içeriğine bağlı değişimi .....	76

Şekil 4.6. Farklı tane boylarına sahip disk şekilli tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin manyetit içeriğine bağlı değişimi .....	80
Şekil 4.7. Manyetit içermeyen tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin tane şekline bağlı değişimi.....	85
Şekil 4.8. Manyetit içeriği %0,25 olan tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin tane şekline bağlı değişimi .....	87
Şekil 4.9. Manyetit içeriği %0,5 olan tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin tane şekline bağlı değişimi .....	90
Şekil 4.10. Manyetit içeriği %0,75 olan tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin tane şekline bağlı değişimi .....	92
Şekil 4.11. Manyetit içeriği % 1 olan tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin tane şekline bağlı değişimi .....	95
Şekil 5.1 Bölücü bıçak konumuna göre manyetik ve manyetik olmayan tanelerin ayırımını etkileyen vektör çizimleri.....	103

## ÇİZELGELER DİZİNİ

## Sayfa

Çizelge 2.1. Bazı diamanyetik minerallerin özgül manyetik alınganlık değerleri (Svoboda,1987).....	10
Çizelge 2.2. Bazı paramanyetik minerallerin özgül manyetik alınganlık değerleri (Svoboda,1987) .....	12
Çizelge 2.3. Manyetik malzemelerin görelî manyetik geçirgenliklerine göre sınıflandırılması (Jiles, 1991) .....	15
Çizelge 2.4. Bazı ticari mıknatısların teknik özellikleri (Svoboda, 1987) .....	20
Çizelge 2.5. a) -6 mm kuvars beslemesi ile yapılan test sonuçları .....	27
Çizelge 2.5. b) -0,425 +0,106 mm kuvars beslemesi ile yapılan test sonuçları..	27
Çizelge 2.6. a) -10 mm ocak artığı ile yapılan test sonuçları (Arvidson, 1990) ...	28
Çizelge 2.6. b) -2mm tesis artığı ile yapılan test sonuçları.....	28
Çizelge 2.6. c) -4 +2 mm tesis artığı ile yapılan test sonuçları.....	28
Çizelge 2.7 Farklı tane boylarına sahip demir cevheri için belirlenen optimum çalışma koşulları (Demirel ve Ekmekçi, 1990).....	31
Çizelge 2.8. Vermikülit zenginleştirme çalışması test sonuçları (Cuttle, 1994)....	33
Çizelge 2.9. Hazırlanan iz tanelerinin renkleri ve manyetik alınganlık değerleri ..	37
Çizelge 2.10 Tez çalışmasında hazırlanan öz şekilli tanelerin Wadell Küresellik Faktörü değerleri.....	46
Çizelge 3.1. Farklı kaolin-manyetit içeriğine sahip yapay karışımların manyetik alınganlıklarının sıcaklığa bağlı değişimi ve 100 °C de kurutma ile elde edilen manyetik alınganlık değerlerine sahip olan minerallere örnekler (Thompson ve Oldfield.,1986) .....	50
Çizelge 3.2. Kaolin-manyetit karışımlarından hazırlanan farklı şekilli tanelerin boyutları .....	53
Çizelge 4.1. Farklı şekilli tanelerin şekil ve ağırlıklarına göre dahil oldukları tane boyu aralıkları .....	60
Çizelge 5.1. Yatay atış eşitlikleri kullanılarak manyetik alınganlık göstermeyen taneler için hesaplanan mesafe değerleri .....	104
Çizelge 5.2. Küre şekilli tanelerin farklı bölücü bıçak konumlarında katettikleri mesafelerin değerlendirmesi.....	106



Çizelge 5.3. Rulo eksenine paralel beslenen silindir şekilli tanelerin farklı bölücü bıçak konumlarında katettikleri mesafelerin değerlendirilmesi.....	107
Çizelge 5.4. Rulo eksenine dik beslenen silindir şekilli tanelerin farklı bölücü bıçak konumlarında katettikleri mesafelerin değerlendirilmesi .....	109
Çizelge 5.5. Küp şekilli tanelerin farklı bölücü bıçak konumlarında katettikleri mesafelerin değerlendirilmesi .....	111
Çizelge 5.6. Disk şekilli tanelerin farklı bölücü bıçak konumlarında katettikleri mesafelerin değerlendirilmesi .....	112
Çizelge 5.7. Manyetit içermeyen küre şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri.....	115
Çizelge 5.8. %0,25 Manyetit içeren küre şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri.....	116
Çizelge 5.9. %0,5 Manyetit içeren küre şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri .....	117
Çizelge 5.10. %0,75 Manyetit içeren küre şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri .....	118
Çizelge 5.11. %1 Manyetit içeren küre şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri .....	119
Çizelge 5.12. Rulo eksenine paralel beslenen manyetit içermeyen silindir şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri.....	120
Çizelge 5.13. Rulo eksenine paralel beslenen %0,25 manyetit içeren silindir şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri.....	121
Çizelge 5.14. Rulo eksenine paralel beslenen %0,5 manyetit içeren silindir şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri .....	122
Çizelge 5.15. Rulo eksenine paralel beslenen %0,75 manyetit içeren silindir şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri .....	123
Çizelge 5.16. Rulo eksenine paralel beslenen %1 manyetit içeren silindir şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri .....	124
Çizelge 5.17. Rulo eksenine dik beslenen manyetit içermeyen silindir şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet	

değerleri .....	125
Çizelge 5.18. Rulo eksenine dik beslenen %0,25 manyetit içeren silindir şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri.....	126
Çizelge 5.19. Rulo eksenine dik beslenen %0,5 manyetit içeren silindir şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri .....	127
Çizelge 5.20. Rulo eksenine dik beslenen %0,75 manyetit içeren silindir şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri .....	128
Çizelge 5.21. Rulo eksenine dik beslenen %1 manyetit içeren silindir şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri .....	129
Çizelge 5.22. Manyetit içermeyen küp şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri .....	130
Çizelge 5.23. %0,25 Manyetit içeren küp şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri .....	131
Çizelge 5.24. %0,5 Manyetit içeren küp şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri .....	132
Çizelge 5.25. %0,75 Manyetit içeren küp şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri .....	133
Çizelge 5.26. %1 Manyetit içeren küp şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri .....	134
Çizelge 5.27. Manyetit içermeyen disk şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri .....	135
Çizelge 5.28. %0,25 Manyetit içeren disk şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri .....	136
Çizelge 5.29. %0,5 Manyetit içeren disk şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri .....	137
Çizelge 5.30. %0,75 Manyetit içeren disk şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri .....	138
Çizelge 5.31. %1 Manyetit içeren disk şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımday etkili kuvvet değerleri .....	139

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda mıknatıs teknolojisinde yeni alaşımların kullanılmasına bağlı olarak üretilen çok yüksek alan şiddetine ve gradyana sahip mıknatıslar etkin ayırım yapan ekonomik manyetik ayırıcıların üretimini mümkün kılmıştır. Bu manyetik ayırıcıların cevher hazırlama sektöründeki kullanım alanları ve sayıları sürekli artmaktadır.

Yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı farklı endüstriler için hammadde olarak üretilen çok çeşitli malzemelerin kuru olarak zenginleştirilmesini sağlayan etkin ve ekonomik bir ekipmandır. Ekipman, yüksek alınganlıklılı kalıcı mıknatıslığa sahip nadir toprak elementlerinden üretilmiş mıknatıs disklerin özel konfigürasyonu sayesinde çok düşük manyetik alınganlıığa sahip minerallerin bile manyetik çekim ile ayrılmasını sağlamaktadır. Ayırimda en önemli parametreler besleme tane boyu dağılımı, tane şekli, tanelerin manyetik alınganlıklılı gibi minerallere bağlı özellikler ile besleme hızı, rulo hızı, mıknatıs-çelik dizilimi, bant kalınlığı ve bölücü bıçak konumu gibi ekipmana ait parametrelerdir. İyi bir ayırımın yüksek verimle sağlanabilmesi için ayırimda etkili parametrelerin kontrolü çok önemlidir.

Rulo tipi kuru manyetik ayırıcı kullanılarak yürütölen çalışmalarda işlemler parametreleri ile bu parametrelerin ekipman performansı üzerindeki etkileri henüz yeterince tanımlanmamıştır. Manyetik ayırıcının karmaşık fiziksel yapısını inceleyen Kopp (1984), manyetik çekim kuvvetini ve tane hareketini gözeterek rulo yüzeyinden kopan tanenin kopma açısının belirlenmesini hedefleyen bir yaklaşım geliştirmiştir.

Rulo tipi kuru manyetik ayırıcıların performansının işlemler değişkenlerine bağlı değişimleri genellikle tesis uygulamaları ile yürütölmüş ve incelenen tesis ve cevhere özgü saptamalar yapılmıştır.

Ekmekçi (1990), demir cevheri kullanarak yaptığı çalışmada ayırımı etkileyen ekipman parametreleri ile tane boyundaki değişikliklerin etkilerini incelemiş, her bir çalışma koşulu için en uygun rulo konfigürasyonu, bant kalınlığı, rulo hızı ve bölücü bıçak konumlarını tespit etmiştir.

Ennis ve Dune (2000), yapay ve özçekilli taneler kullanarak işlem değişkenlerinin optimizasyonu için patentli bir yöntem geliştirmişlerdir. Küp ve oktahedral şekillere sahip farklı manyetik alınganlıkları değişik tane boylarında hazırladıkları malzemelerle yaptıkları deneylerde manyetik rulo alaşımı ve işlem koşullarını incelemişlerdir.

Bayraktar vd., (2003) ile Gülsoy ve Orhan, (2004)' in çalışmalarında farklı mıknatıs-çelik dizilimlerinde manyetik alan gradyanlarının değişimleri ve rulo yüzeyinden uzaklaştıkça çekim kuvvetinin azaldığı ortaya konmuştur. Gülsoy ve Orhan, (2004), mıknatıs-çelik konfigürasyonunun tane boyu değişimine göre değiştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Manyetik rulo yüzeyinde varolan kuvvetlerin tam olarak incelendiği ve rulodan kopan tanelerin yörüngelerini belirleyen çalışmalar literatürde mevcut değildir. Kopp (1984) tarafından önerilen kopma açısı eşitlikleri, manyetik kuvvet ve merkezkaç ivmenin hesabındaki problemler nedeniyle ihtiyaca cevap vermemiştir.

Tane şeklinin tanenin hareketine olan etkileri ile ayırım performansı üzerinde meydana getirdiği değişimler hiç incelenmemiştir. Tane şeklindeki farkları küresellik yaklaşımı ile açıklayan Wadell Küresellik Faktörü (Wadell, 1935), ayırım performansına tane şeklinin incelenmesi aşamasında faydalı bir değer olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan ölçümler ve değerlendirmeler ışığında rulo tipi manyetik ayırıcıda yapılacak zenginleştirme işlemlerinde ekipman parametreleri ve zenginleştirilecek cevherin fiziksel özellikleri arasındaki etkileşimler ve ayırımı olan etkileri belirlenmiştir.

## 2. MANYETİZMA VE MANYETİK AYIRMA İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Dünya genelinde teknolojiye gelişmeler ve artan rekabet koşullarına ek olarak hızla artan pazar talebi, cevher endüstrisinde daha kaliteli ürünlerin daha düşük maliyetle üretilmesini zorunlu kılmaktadır. Günümüzde başta endüstriyel hammaddelerin zenginleştirilmesi olmak üzere pek çok sanayi kolunda kullanılan manyetik ayırıcılar, yoğun olarak yürütülen çalışmalara bağlı olarak giderek daha yüksek verimlerle çalıştırılmakta ve giderek artan kullanım alanları bulmaktadır.

Manyetizma kavramı M.Ö. 2000 yıllarında Çinliler tarafından bilinmekteydi. Yaklaşık olarak M.Ö. dördüncü yüzyılda Manisa (eski adıyla Magnesia) halkı bazı taşların birbirini çektiğini farketmişler ve bu tarihi inanışa bağlı olarak yörenin ismi, manyetik etkileşimin adı olarak anılır olmuştur. Manyetik olaylarla elektriksel olaylar arasındaki ilişki, 1819 yılında H.C.Oersted tarafından, içinden akım geçen bir telin yanındaki pusulanın sapması gözlenerek farkedilmiştir. 1845 yılında Faraday, bir manyetik alan içerisindeki tüm maddelerin farklı alınganlıklara sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ball, Norton, Edison ve diğer araştırmacılar bu prensibi demir cevherinden gangi ayırmada kullanmışlardır. 1895'te Faraday manyetik olmadığı düşünülen malzemelerin de birbirleri arasında farklar bulunduğunu, bunun da manyetik alınganlık değerleri olduğunu ortaya koyduktan sonra Wetherill, yüksek manyetik alan sağlayan bir alet geliştirmiştir. Bu sayede manyetik olmadığı düşünülen iki bileşenin ayrılması sağlanabilecektir. Bunu takip eden yıllar içinde farklı tiplerde disk, tambur ve rulo tipi kuru manyetik ayırıcılar geliştirilmeye başlanmıştır. 1937 yılında Frantz demir bir solenoidi saran ferromanyetik çelik şeritlerden oluşan manyetik ayırıcıyı tasarlamış ve bu gelişme bugünün yüksek alınganlıkları ve yüksek gradyanlı manyetik ayırıcılarının geliştirilmesinde önemli bir kilometre taşı olmuştur (Svoboda,1987).

Yüksek alınganlıkları veya yüksek gradyanlı manyetik ayırıcılar, kimya, biyokimya, çevre, nükleer ve diğer endüstri kollarında da karmaşık problemlere çözümler getirebilmektedir. Bu kadar eski ve bu denli yaygın pratik kullanım alanı bulmuş yüksek alan şiddetli manyetik ayırma yönteminin fiziksel temellerinin, ayırmada etkili olan parametrelerin ve bu parametreler arasındaki ilişkilerin incelenmesi ise son yirmi senedir mümkün olmuştur.

Manyetik ayırma ile ilgili son yeniliklerden biri de kalıcı mıknatıslığa sahip yüksek alan şiddetli yüksek gradyanlı rulo tipi kuru manyetik ayırıcıların geliştirilmesi olmuştur. Bu ayırıcılar indüklenmiş tambur tipi ayırıcılara göre daha kuvvetli ve nisbeten iri taneler üzerindeki etkili kullanımları nedeniyle yaygın kullanım alanı bulmuş ve özellikle endüstriyel hammaddelerin zenginleştirmesinde tercih edilir olmuştur (Arvidson, 1988).

## 2.1. MANYETİK ZENGİNLEŞTİRMENİN TEMELLERİ

Manyetik zenginleştirme işleminde esas dış kuvvet manyetik kuvvettir. Bir mineralin diğerinden ayrılması manyetik kuvvet ve diğer etkili karşıt kuvvetlerin (yerçekimi, hidrodinamik, eylemsizlik, sürtünme ve merkezkaç kuvvetler) bileşimine bağlıdır. Manyetik kuvvetlerin değeri ve yönü alan konfigürasyonuna ve tanelerin manyetik özelliklerine bağlıdır. Kuru manyetik ayırma işleminde esas karşıt kuvvet, yerçekimi kuvvetidir (Peter ve diğ., 2001).

### 2.1.1. Manyetik Birimler

Bir manyetik alanda iki içerik tanımlanmaktadır; manyetik alan şiddeti H ve manyetik indüksiyon (veya akı yoğunluğu) B. B ve H yön ve büyüklüğe sahip vektör olmayıp, boşlukta aralarındaki ilişki;

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (1)$$

ile verilir. Burada  $\mu_0$ , boşluktaki manyetik geçirgenliği ifade eder. Rakamsal değeri  $4\pi \times 10^{-7}$  dir. Boyutu H/m olarak verilir. Manyetik malzemede B ve H arasındaki ilişki ise,

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2)$$

ile verilir. Burada  $\mu$ , malzemenin manyetik geçirgenliğini ifade etmektedir.

Manyetik indüksiyon B nin iki bileşeni manyetizasyon M (A/m) ve manyetik polarizasyon J (Tesla) dur. Bu nicelikler arasındaki ilişki ise,

$$\vec{J} = \mu_0 \vec{M} \quad (3)$$

şeklindedir. Manyetik indüksiyon, manyetik alan şiddeti ve polarizasyon arasındaki ilişki;

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{J} \quad (4)$$

Eşitlikler 3 ve 4 birleştirildiğinde polarizasyonun manyetik alan şiddeti veya manyetik indüksiyonun fonksiyonu olarak ifade edilebildiği eşitlik elde edilir;

$$\vec{J} = (\mu - \mu_0) \vec{H} = \left(1 - \frac{\mu_0}{\mu}\right) \vec{B} = \frac{\mu_r - 1}{\mu_r} \vec{B} \quad (5)$$

Eşitlikteki  $\mu_r = \mu/\mu_0$  dır ve görel geçirgenlik adını almaktadır.

Sommerfeld sisteminde (Svoboda, 1987) manyetik indüksiyon tanımı, eşitlik 4 ve eşitlik 5 e göre;

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \text{ dir.} \quad (6)$$

CGS sisteminde manyetik indüksiyon birimi Gauss, boşluğun geçirgenliği boyutsuzdur. Eşitlik 6' nın cgs sistemindeki karşılığı ise

$$\vec{B} = \vec{H} + 4\pi \vec{M} \quad (7)$$

ve manyetik alan şiddeti birimi olarak da Oersted kullanılır.

Doğrultusu boyunca manyetizasyonu M ve manyetik alan şiddeti H olan bir manyetik alandaki izotropik bir malzeme dengededir.

Basit şekilde,

$$\vec{M} = \kappa \vec{H} \quad (8)$$

veya benzer şekilde,

$$\vec{J} = \mu_0 \kappa \vec{H} \quad (9)$$

Burada  $\kappa$ , birim alandaki manyetizasyon veya hacim manyetik alınganlık değeridir.

Manyetik alınganlık, yoğunluğu  $\rho$  olan birim kütle için de tanımlanabilir:

$$\kappa = \rho\chi \quad (10)$$

Eşitlikte  $\chi$  değeri, kütle veya özgül manyetik alınganlık ifadesidir. SI sistemindeki birimi de  $\text{m}^3/\text{kg}$  dır.

### 2.1.2. Manyetik Ayırıcıdaki Kuvvetler

Vakum içindeki bir paramanyetik taneye etki eden çekim manyetik dipol kuvveti ;

$$\vec{F}_m = \nabla \int_V (\vec{J} \cdot \vec{H}) dV \quad (11)$$

J : Tanenin manyetik polarizasyonu (Tesla)

V : Tanenin hacmi ( $\text{m}^3$ )

H : Manyetik Alan Şiddeti (A/m)

$\nabla$  : Gradyan operatörü

$$\nabla\phi \equiv \text{grad}\phi = \vec{i} \frac{\partial\phi}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial\phi}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial\phi}{\partial z} \quad (12)$$

$\vec{i}$ ,  $\vec{j}$ ,  $\vec{k}$  : x, y ve z yönlerindeki birim vektörler

Tane hacmi üzerinden integral alınır. Manyetik alan içindeki bir tanenin çok küçük olması durumunda, nokta dipol momenti  $\vec{\mu}_m = \vec{J}V$  'ne indirgenir. Bu nokta dipoldeki kuvvet,

$$\vec{F}_m = (\vec{\mu}_m \cdot \nabla) \vec{H} \text{ olur.} \quad (13)$$

Paramanyetik veya diamanyetik küresel bir tanenin manyetik geçirgenliği;

$$\mu = (1 + \kappa)\mu_0 \quad (14)$$

$\kappa$ : hacim manyetik alınganlığı



$\mu_o$  : boşluğun geçirgenliğidir ( $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$ )

Böylece tanenin manyetik polarizasyonu,

$$\vec{J} = \frac{\mu_o \kappa \vec{H}}{1 + \frac{\kappa}{3}} (\vec{H} \nabla) \vec{H} \quad (15)$$

Eşitlik 11 ile eşitlik 15 birleştirildiğinde zayıf manyetikliğe sahip küçük bir taneye dıştan etkileyen bir manyetik alandaki kuvvet,

$$\vec{F}_m = \frac{\mu_o \kappa V}{1 + \frac{\kappa}{3}} (\vec{H} \nabla) \vec{H} \quad (16)$$

Veya  $\kappa \ll 1$  kabul edilerek basitleştirilirse,

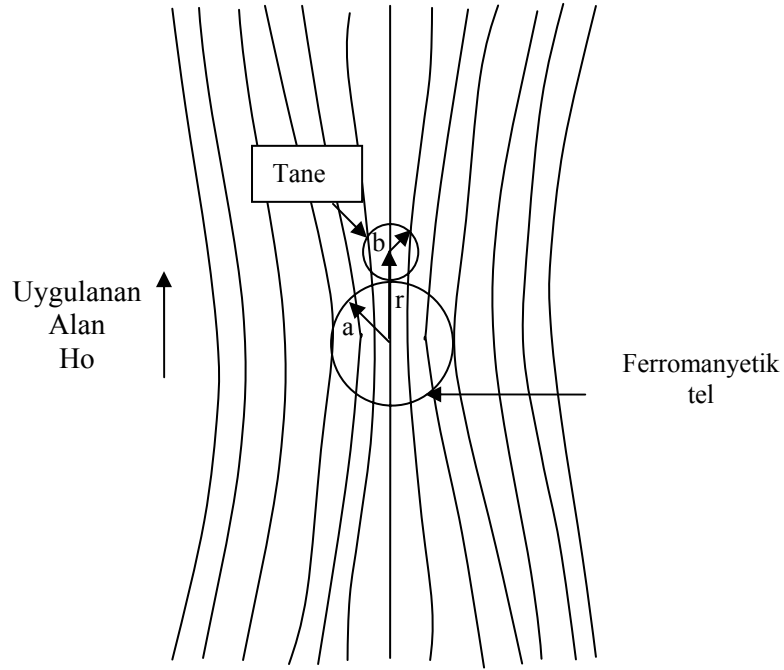
$$\vec{F}_m = \frac{1}{2} \mu_o \kappa V \nabla (H^2) \quad (17)$$

Pratik hesaplamalar için manyetik alan şiddeti yerine B manyetik indüksiyon terimi kullanıldığında eşitlik 16 aşağıdaki hale dönüşür ,

$$\vec{F}_m = \frac{\kappa}{\mu_o} V |B| \text{grad} |\vec{B}| \quad (18)$$

Eşitlik 18'e göre, manyetik kuvvetin büyüklüğü manyetik alan şiddeti ve manyetik alan gradyanı ile doğru orantılıdır. Bu kuvvet manyetik alan şiddetinin değil alan gradyanının yönündedir.

Manyetik alan H değerindeki artış manyetik kuvveti, tanelerin manyetizasyonunu ve bazı durumlarda manyetik alan gradyanını da artırmaktadır. Düzgün bir dış manyetik alan içerisindeki ferromanyetik bir telin küresel bir tane üzerinde oluşturduğu kuvvet, Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Düzgün  $H_o$  manyetik alanı içerisindeki  $a$  yarıçaplı ferromanyetik tele temas eden  $b$  yarıçaplı küresel bir tanenin kesit görünümü (Oberteuffer, 1974 , Svoboda, 1987).

Bu şekil basitçe, bir yüksek gradyanlı manyetik ayırıcıdaki koşulları göstermektedir.

Simetri eksenini boyunca ve dış manyetik alan  $H_o$  değerinin ferromanyetik telin doygunluk değeri  $H_s$  den düşük değerleri için manyetik alan şiddeti aşağıdaki eşitlik ile tanımlanmaktadır;

$$H = H_o \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right) \quad (20)$$

$a$ : telin yarıçapı

$r$ :  $H$  değerinin ölçüldüğü noktanın yarıçap vektörü

$H_o > H_s$  değerleri için  $H$  değerini veren eşitlik ise,

$$H = H_o + H_s \left( \frac{a^2}{r^2} \right) \quad (21)$$

$H_o < H_s$  değerleri için tanenin ekseni boyunca oluşan manyetik alan gradyanı (tanenin manyetizasyonu düşük olduğunda);

$$\frac{dH}{dx} = -2H_o \frac{a^2}{r^3} \quad (22)$$

Eşitlik 18 ve Eşitlik 22 birleştirildiğinde zayıf manyetik bir küresel taneye etkileyen manyetik kuvveti betimleyen bir eşitlik elde edilir;

$$F_m = -\frac{8}{3} \Pi \mu_o k b^3 \left( H_o + H_o \frac{a^2}{r^2} \right) H_o \frac{a^2}{r^3} \quad (23)$$

Bu eşitlik ayrıca manyetik kuvvetin tane yarıçapına bağlı olduğunu da göstermektedir (örneğin  $a=3b$  koşulu için) ve yeniden düzenlendiğinde;

$$F_m = -\frac{16}{27} \Pi \mu_o k b^2 H_o^2 \quad (24)$$

Örnek alınan koşul için manyetik kuvvetin tane yarıçapının karesi ile değiştiği görülmektedir.

### 2.1.3. Minerallerin Manyetik Özellikleri

Katıların manyetik özellikleri, dış yörüngelerindeki elektronların dönüş hareketleri ile atom ve elektronlardaki kalıcı manyetik momentlerden kaynaklanmaktadır.

Manyetik özelliklerine göre mineraller üç temel gruba ayrılırlar: ferromanyetik, paramanyetik ve diamanyetik.

#### 2.1.3.1. Diamanyetizma

Manyetik bir alana konulan katı maddede elektriksel değişim sonucu oluşan mıknatıslığa diamanyetizma denir. Merkezi elektrostatik alanda elektron çekirdek etrafında dönmektedir. Dıştan bir manyetik alan uygulandığında Lenz Yasasına göre, indüklemeye akımı uygulanan alana zıt yönde bir manyetik alan oluşturur. Akımdan kaynaklanan moment, diamanyetik momenttir. Monoatomik molekül için hacim manyetik alınganlık değeri, birim alandaki manyetik moment olarak ifade edilebilir;

$$\kappa = -\frac{\mu_0 N_a e^2 z \langle r^2 \rangle}{6m_0} \quad (25)$$

$N_a$ : birim hacimdeki atom sayısı

$e$  : elektronik yük

$z$  : atomdaki elektron sayısı

$m_0$  : elektron kütlesi

$\langle r^2 \rangle$  : elektronların çekirdekteki ortalama uzaklığının karesi

Eşitlik 25'e göre diamanyetizma tüm maddelerde mevcuttur. Spin veya dönme manyetik momenti olmayan maddelerde dahi bulunmaktadır. Diamanyetik maddelerin mıknatıslanmaları çok zayıf ve mıknatıslayıcı alanla zıt yönlüdür. Bu maddeler kuvvetli bir mıknatıs tarafından çok hafif itilirler. Bakır, gümüş, kurşun, antimon, bizmut vb. metaller, bütün yarımetaller ve organik maddelerin çoğu diamanyetikdir.

Bazı diamanyetik minerallerin özgül manyetik alınganlıkları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı diamanyetik minerallerin özgül manyetik alınganlık değerleri (Svoboda,1987).

Mineral	Kimyasal formül	X $-(m^3/kg) \times 10^{-9}$
Baddeleyit	ZrO <sub>2</sub>	-1.4
Barit	BaSO <sub>4</sub>	-3.8
Kalsit	CaCO <sub>3</sub>	-45.2
Florit	CaF <sub>2</sub>	-7.9
Manyezit	MgCO <sub>3</sub>	-6.4
Molibdenit	MoS <sub>2</sub>	-7.2
Kuvars	SiO <sub>2</sub>	-5.7
Sfalerit	ZnS	-3.3
Seruzit	PbCO <sub>2</sub>	-23.9
Apatit	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,Cl)	-3.27

### 2.1.3.2. Paramanyetizma

Paramanyetik maddelerin mıknatıslanmaları çok zayıf ve bu mıknatıslanmaları da mıknatıslayıcı alan yönündedir. Bu tür maddeler, kuvvetli bir mıknatıs tarafından hafifçe çekilirler. Bu maddeleri oluşturan atom ve iyonların büyük kısmında

elektronların spin ve açısal momentumundan kaynaklanan manyetik etkiler birbirini yok eder. N atomdan oluşan  $\mu$  manyetik momentleri, onları etkileyen dış alanın doğrultusuna göre yönelir, ve bireysel momentler tüm atomların toplam manyetik momentlerinin ( $N \mu$ ) değerinden oldukça düşük kalır. Çubuk halinde paramanyetik bir madde manyetik alan içine asılırsa çubuk, uzun eksenini manyetik alan doğrultusunda oluncaya kadar bir moment etkisinde kalır.

Atom veya molekül, tek sayıdaki elektronlardan, serbest atomlardan veya iç elektron seviyeleri kısmen dolu olan iyonlardan kaynaklanan bir manyetik momente sahip ise, manyetik alan altında manyetik moment alan ile aynı doğrultuda yönelir. Manyetik alan yoksa manyetik momentler gelişigüzel yönelir ve toplam manyetik moment sıfır olur.

Dıştan uygulanan bir manyetik alanın varlığında manyetizasyonu tanımlayan Langevin eşitliği (Svoboda, 1987),

$$M = N_a \frac{\mu_m}{\mu_0} L(x) \quad (26)$$

$\mu_m$  : atomun manyetik moment ve

L(x) : Langevin fonksiyonu

$$L(x) \equiv \cot x - \frac{1}{x} \quad (27)$$

Burada  $x = \frac{\mu_m H}{kT}$ , k : Boltzman sabiti ve T: mutlak sıcaklıktır.

$x \ll 1$  değerleri için  $L(x) = x/3$  olur ve manyetizasyon,

$$M \cong \frac{\mu_m^2 N_a H}{3 \mu_0 k T} \quad (28)$$

halini alır.

Paramanyetik bir malzemenin manyetizasyonunun alan şiddetine olan bağımlılığı bir doğru şeklindedir. Bu yüzden manyetik alınganlık alan şiddetine bağlı değildir

ve  $\frac{\mu_m H}{kT} \ll 1$  limitleri dahilinde aşağıdaki şekle dönüşür;

$$\kappa = \frac{M}{H} = \frac{\mu_m^2 N_a}{3\mu_0 kT} = \frac{C}{T} \quad (\text{Curie Yasası} - C: \text{Curie sabiti}) \quad (29)$$

Paramanyetik maddelerin mıknatıslanmasının bazı koşullarda alanla doğru, mutlak sıcaklıkla ters orantılı olduğu Pierre Curie tarafından bulunmuştur. Buna göre, mıknatıslanma artan alanla ve azalan sıcaklıkla artar. Çizelge 2.2'de bazı paramanyetik minerallerin özgül manyetik alınganlıkları listelenmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı paramanyetik minerallerin özgül manyetik alınganlık değerleri (Svoboda,1987)

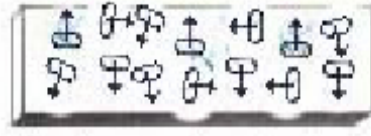
Mineral	Kimyasal Formül	X - (m <sup>3</sup> /kg)x10 <sup>-9</sup>
Anataz	TiO <sub>2</sub>	3.27
Asbest	Mg <sub>3</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH <sub>4</sub> )	155.8
Bornit	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	100.5
Kasiterit	SnO <sub>2</sub>	2136.3
Kalkopirit	CuFeS <sub>2</sub>	1595.9
Dolomit	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	15.1
Gotit	HFeO <sub>2</sub>	250-380
İlmenit	(Fe,Mg,Mn)TiO <sub>3</sub>	200-1500
Limonit	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	250-760
Hematit	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	500-3800
Malakit	Cu <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	100-200
Rutil	TiO <sub>2</sub>	12-50
Siderit	FeCO <sub>3</sub>	380-1500
Volframit	(MnFe)WO <sub>4</sub>	380-1200

### 2.1.3.3. Ferromanyetizma

Ferromanyetik maddeler zayıf bir manyetik alan içinde bile birbirlerine paralel olarak yönelmeye çalışan atomik manyetik dipollere sahiptir. Bu manyetik dipoller bir kere paralel hale getirildikten sonra dış alan ortamdaki kaldırılabilir bile madde mıknatıslanmış olarak kalır. Bu sürekli yönelme komşu manyetik momentler arasındaki kuvvetli etkileşimden kaynaklanır. Bu etkileşimin anlaşılabilmesi kuantum mekaniği ifadeleri ile mümkündür.

Bu tür maddeler bir manyetik alan içinde alan yönünde ve çok şiddetli olarak mıknatıslanırlar. Ferromanyetik maddeler bir mıknatısca kuvvetli olarak çekilirler ve çubuk şeklinde iseler asıldıklarında, çubuğun uzun eksenini alan doğrultusuna paralel oluncaya kadar bir moment etkisinde kalırlar. Bu maddelerin manyetik momentleri, termik etkilere rağmen dış manyetik alanla üst üste gelirler. Eğer maddenin sıcaklığı, Curie sıcaklığı adı verilen değerden daha yüksek ise bu üst üste geliş hali bozulur ve madde ferromanyetik halden diamanyetik hale döner. Demir için Curie sıcaklığı 770 °C'dir. Ferromanyetizma atom ve iyonların kendine özgü bir özelliği değil, komşu atom ve iyonların yapısal kurgu içinde etkileşim biçimlerinden kaynaklanır. Ferromanyetik bir madde bir solenoidin veya bir halka sarımının içine sokularak, bunların içinde ferromanyetik madde yokkenki halinden çok daha büyük B değerleri elde edilir. Ferromanyetik maddelerde yaklaşık  $B=4.4 \times 10^{-3}$  T'lık bir dış alan onların dipollerinin yaklaşık %75'ini aynı doğrultuya getirebilir. Ancak bu alanın değeri 1 T olursa bu kez dipollerin %95'i aynı doğrultuya gelir.

Ferromanyetik maddelerde birbirine komşu atomlar arası ilişkiler öylesine güçlüdür ki, termal hareketlerin düzeni bozan etkisine karşın tüm atomların manyetik momentleri birbirine paralel şekilde sıralanırlar (Şekil 2.2). Bu güçlü ilişkiler moleküler veya Weiss alanları olarak adlandırılan içsel etkileri oluştururlar. Weiss, manyetizasyon ile orantılı bir manyetik alan olduğunu ve bu alanın komşu atomların manyetik momentlerini paralel hale soktuğunu varsaymıştır. Weiss hipotezi Curie noktasından düşük sıcaklıklarda termal karışma moleküler alanın etkisini engelleyeceği için herhangi bir alan içerisinde bulunmayan maddenin kendiliğinden manyetize olduğunu öngörmektedir (Svoboda, 1987).



a



b

Şekil 2.2. a- Manyetize olmayan demir; dipoller gelişigüzel sıralanmaktadır.  
b- Kuvvetli manyetik (Jiles, 1991)

Ferromanyetik maddelerin manyetik alınganlığı manyetik alan şiddeti ve sıcaklığın kompleks bir fonksiyonudur. Ferromanyetik maddelerin manyetik alınganlığının sıcaklığa bağlı değişimi Curie-Weiss Yasası ile açıklanır;

$$\kappa = \frac{\mu_m^2}{3R} \frac{N_a^2}{\mu_0(T - T_c)} \quad (30)$$

T<sub>c</sub>: Curie sıcaklığı  
R: gaz sabiti

#### a) Ferrimanyetizma

Ferrimanyetik maddelerde atomik momentler antiparalel yönlenirler, ancak momentlerin bir yöndeki toplamı diğer yöndeki toplamdan daha düşüktür (Şekil 2.3-d). Neel tarafından ferritlerin manyetikliğini açıklamak için önerilen bu terime en uygun mineral de manyetittir. Ferromanyetik ve ferrimanyetik maddelerin manyetik özellikleri genellikle benzerdir.

#### b) Süperparamanyetizma

Süperparamanyetizma izole paramanyetik atomlar ve ferromanyetik maddeler arasında bir durumdur. Manyetik momenti  $\mu_m$  olan bir tane termal yönlenmelere tabi kalırken, manyetik alan içerisine girdiğinde tıpkı bir paramanyetik madde gibi, Boltzman faktörüne bağlı bir yönelim gösterir. Doğal davranımları paramanyetik özellikler gösterdiği halde, bir manyetik alan içinde yönelimler çok daha güçlü olur, örneğin alınganlıkları çok yükselir. Süperparamanyetizma terimi iki temele dayanır;



ilk olarak manyetizasyon eğrisi tersinirlik göstermez, ikincisi izotropik bir madde için manyetizasyon eğrisi sıcaklıktan bağımsızdır.

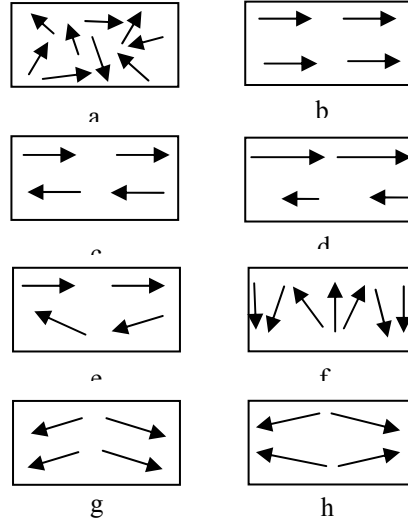
### c) Antiferromanyetizma

Antiferromanyetik maddelerde yönelimler negatif veya pozitif olabilir. Neel'e göre, bazı maddelerde komşu atomların momentleri anti paralel yönelir (Şekil 2.3-c). Antiferromanyetik maddelerin manyetik özellikleri paramanyetik maddelerden bazı farklılıklar gösterir. Ancak, ferromanyetik maddeler gibi, antiferromanyetik özellik artan sıcaklıkla birlikte azalır ve termal enerjinin antiferromanyetik değişim enerjisine eşit olduğu kritik sıcaklık değerinde yok olur. Bu sıcaklık değeri Neel noktası olarak bilinir. Neel noktası üzerinde madde sıradan bir paramanyetik madde gibi davranırken, Neel noktasında manyetik alınganlık, sıcaklık azaldıkça düşer. Neel noktasından düşük sıcaklıklarda alınganlık manyetik alan yönünde spin yönelimine bağlıdır. Antiferromanyetik maddelerin alınganlığı çok düşük ( $10^{-9} - 10^{-10} \text{ m}^3/\text{kg}$ ) ve pozitif değerlerdedir (Svoboda, 1987 , Jiles, 1991) .

Malzemelerin manyetik özelliklerine göre sınıflandırılması Çizelge 2.3.de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Manyetik malzemelerin görelî manyetik geçirgenliklerine göre sınıflandırılması (Jiles, 1991)

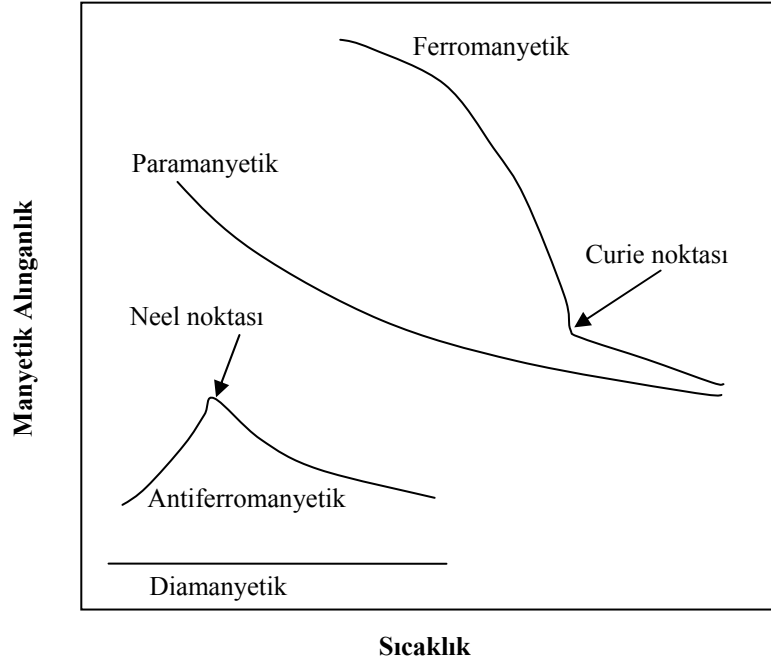
Manyetik Maddenin Türü	Manyetik Geçirgenlik ( $\chi/\mu_0$ )	Örnek
Ferromanyetik	100 - 107	Ni, Fe, Co, NiFe, NdFeB
Ferrimanyetik	10 - 104	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , Ferritler, Garnetler
Antiferromanyetik	Küçük	MnF <sub>2</sub> , MnO, NiO, FeCO <sub>3</sub>
Paramanyetik	$10^{-3} - 10^{-6}$	Al, Cr, Mn, Pt, Ta, Ti, W
Diamanyetik	$-10^{-3} - -10^{-6}$	Ag, Au, C, H, Cu, Si, Zn



Şekil 2.3. Manyetik spin sıralanış şekilleri (Schieber, 1967)

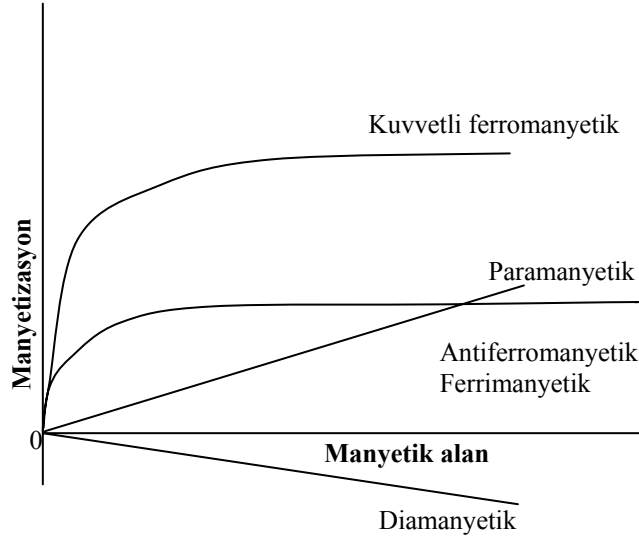
- a. Düzensiz paramanyetik durum
- b. Paralel spin - ferromanyetizma
- c. Antiparalel spinler : Neel tipi antiferromanyetizma
- d. Eşdeğer olmayan antiparalel spinler : Neel tipi ferrimanyetizma
- e. Açısız antiparalel spinler: Yafet-Kittel tipi ferrimanyetizma
- f. Sarmal spiral yapılar: eşdeğer antiferromanyetik veya eşdeğer olmayan ferrimanyetik
- g. Eğimli spinler - Dzyaloshinskii tipi zayıf antiferromanyetizma
- h. Eğimli spinler, eşdeğer antiferromanyetik yapı

Şekil 2.4'te maddelerin manyetik özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimi gösterilmiştir. Sıcaklığın manyetik alınganlık değerleri üzerinde gösterdiği etki özellikle ferromanyetik ve antiferromanyetik malzemelerde belirgindir. Ferromanyetik karakterin değiştiği kritik sıcaklık değeri "Curie noktası", antiferromanyetik özelliğin değiştiği kritik sıcaklık değeri de "Neel noktası" olarak ifade edilmektedir. Sıcaklık artışı paramanyetik maddelerde manyetik alınganlıkta azalma meydana getirirken diamanyetik maddeler üzerinde etkisi bulunmamaktadır. (Svoboda, 1987).



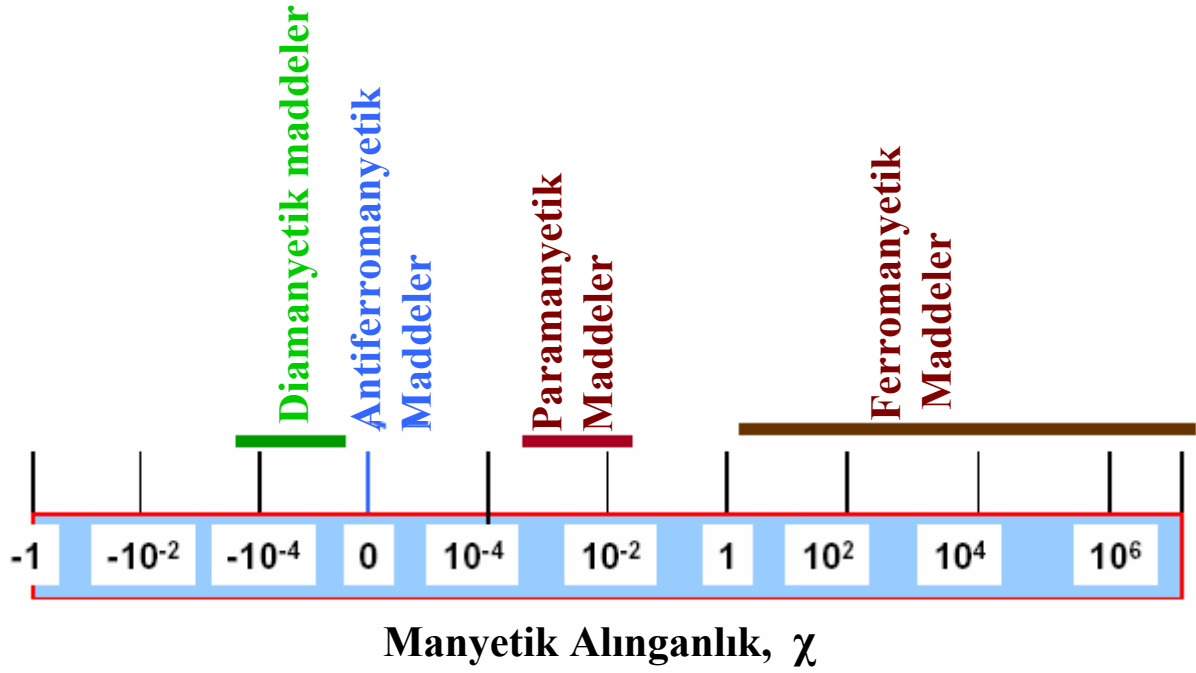
Şekil 2.4. Farklı manyetik yapıların sıcaklığa bağlı alınganlıklarında meydana gelen değişimler (ölçeksizdir) (Svoboda, 1987)

Şekil 2.5'te manyetik alan-manyetizasyon ilişkisinin farklı malzemelerin manyetik özelliklerine olan etkileri gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Değişik maddelerin manyetizasyon eğrileri (ölçeksizdir) (Svoboda, 1987).

Şekil 2.6'da manyetik alınganlık değerlerine göre malzemeler sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.6. Maddelerin manyetik alınganlık değerlerine göre sınıflandırılması (Jiles, 1991)

## 2.2. KALICI MIKNATISLARIN GENEL YAPISI

Bir manyetik ayırıcının kullanılma amacı, manyetik alınganlıkları ferromanyetiklerden diamanyetiklere kadar geniş bir aralıkta yer alan ve boyutları milimetrelerden mikrometrelere kadar değişebilen taneleri kazanmak veya uzaklaştırmaktır. Bunun yanında, cevher hazırlamada manyetik alınganlıkları arasında fazla bir fark olmayan ancak aralarında geniş bir boyut farkı bulunan çok farklı minerallerin de zenginleştirilmesi gerekebilmektedir. Bu tür tanelerin kazanımı için farklı şekillerde oluşturulan ve bir uygulamadan diğerine etkin olarak uyarlanabilen manyetik alan şiddetine gereksinim duyulmaktadır.

Eşitlik 18'den de anlaşılacağı gibi, manyetik bir taneyi ayırabilmek için gereken manyetik kuvvet sadece mineralin fiziksel özellikleri ve manyetik indüsiyona değil, manyetik alan gradyanının büyüklüğüne de bağlıdır. Bu yüzden yüksek seçicilikte

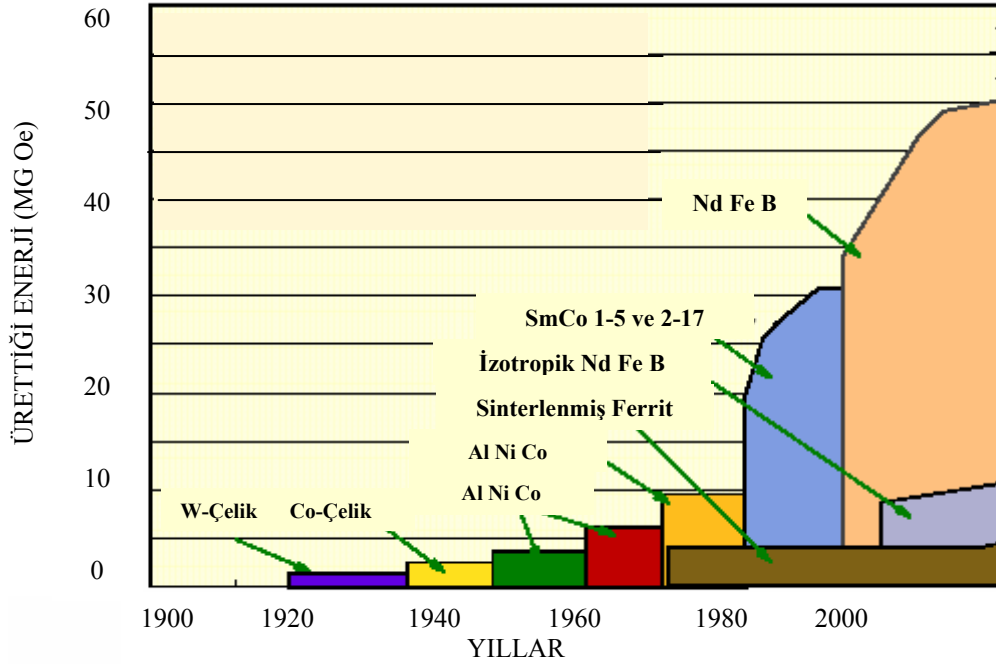
bir ayırım yapabilmek için manyetik indüksiyon ve alan gradyanının titizlikle belirlenmesi ve uygun şekilde ayarlanması teknik ve ekonomik bir zorunluluktur.

Yirminci yüzyılda özellikle demir cevherlerinin zenginleştirilmesiyle artan manyetik ayırıcıların kullanımı, özellikle yüzyılın ikinci yarısında düşük alınganlıkları cevherlerin zenginleştirilmesi ve düşük alınganlıkları gang minerallerinin cevherlerden uzaklaştırılabilmesi gibi zorunluluklara yüksek alınganlıkları ve yüksek gradyanlı ayırıcıların geliştirilmesiyle ivme kazanmıştır. Yüksek alan şiddetli yüksek gradyanlı rulo tip kuru manyetik ayırıcılar, mıknatıs teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak bir çok sektörde tercih edilir olmuştur.

Kalıcı mıknatıslar malzeme bilimi ve teknolojiye paralel olarak 1970'lerden bu yana cevher zenginleştirmede kullanılmaktadır (Şekil 2.7). Bununla birlikte, nisbeten yüksek maliyeti, düşük manyetik alan ve/veya indüksiyon seviyeleri nedeniyle ALNICOS ve kobalt-samaryum (Co-Sm) dan imal edilen kalıcı mıknatıslar sınırlı kullanım alanları bulmuştur. 1980'lerin ortalarında neodmiyum-demir-bor (Nd-Fe-B) alaşımlı kalıcı mıknatısların üretilmesi ile zayıf paramanyetik minerallerin (mika mineralleri, hornblend vb.) ayrılması mümkün olmuştur. Bu gelişme ile Nd-Fe-B mıknatısları endüstriyel hammaddeler endüstrisine nisbeten düşük yatırım ve işletme maliyetleri ile yüksek manyetik alan sağlamıştır. Bu sayede 1990'lardan bu yana endüstriyel hammaddelerin (feldispat, manyezit vb.) zenginleştirilmesinde başarı ile kullanılmaktadır (Gülsoy ve Orhan, 2004, Gülsoy vd., 2005).

Yüksek enerjili kalıcı mıknatıs alaşımları üretmeye yönelik ilk önemli gelişmeler 1940'lı yılların başında Al, Ni, Co, Fe ve Cu alaşımlı ALNICOS kalıcı mıknatıslarının üretilmesiyle gerçekleşmiştir. Ancak, yüksek üretim maliyetlerinden ötürü ALNICOS kalıcı mıknatıslarının yerine 1960'lı yıllarda üretilen düşük enerjili ve daha ucuz ferrit alaşımlı kalıcı mıknatıslar endüstride tercih edilmiştir (Israelson, 1978). 1950-1960 yılları arasında nadir toprak elementlerinden kalıcı mıknatıs üretimi konusunda yoğunlaşan araştırmalar sonucunda 1984 yılında Nd-Fe-B alaşımlı yüksek enerjili kalıcı mıknatıslar üretilmiştir. Nadir toprak elementleri alaşımlı manyetik ayırıcılar ilk kalıcı mıknatıslı manyetik ayırıcılardan neredeyse 4-5 kat daha yüksek enerji sağlamışlardır (Arvidson, 1985, Marinescu vd., 1989,

Davy, 1988, Ekmekçi, 1990). Şekil 2.7'de kalıcı mıknatısların tarihsel gelişimi ve Çizelge 2.4'de bazı ticari mıknatısların teknik özellikleri verilmektedir.



Şekil 2.7. Kalıcı mıknatısların gelişimi (Arnold, 2002)

Çizelge 2.4. Bazı ticari mıknatısların teknik özellikleri (Svoboda, 1987)

Malzeme	Kalıcı İndüksiyon BR(T)	Zorlayıcı Kuvvet Hc	Ürettiği maksimum Enerji (BH)max
		(kOe)	(MGOe)
Karbon çelik - Fe <sub>98</sub> CMn	1.0	0.05	0.2
Alnico 5 - Fe <sub>50</sub> Ni <sub>15</sub> Al <sub>8</sub> Co <sub>24</sub> Cu <sub>3</sub>	1.31	0.7	6.5
Alnico 8 - Fe <sub>36</sub> Ni <sub>15</sub> Al <sub>7</sub> Co <sub>36</sub> Ti <sub>6</sub>	0.85	1.6	5.1
Ferritler - ör; BaO.6Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.39	2.0	3.5
SmCo <sub>5</sub>	0.85	16	18-22
Cu-Ni-Fe - Cu <sub>60</sub> Ni <sub>20</sub> Fe <sub>20</sub>	0.57	0.59	1.85
Nd <sub>15</sub> Fe <sub>77</sub> B <sub>8</sub>	1.40	12	35-45
Au-Fe-Ni	0.53	0.5	1.1
Au-Fe-Co	0.34	1.0	1.1
(Sm,Pr,Nd)-Co	1.05	15	27

$Nd_{16}Fe_{66}Co_{11}B_7$	1.32	8	42
$Nd_{15}Fe_{62.5}B_{5.5}Co_{16}Al$	1.32	11	41

Sagawa vd.(1984) tarafından geliştirilen  $Nd_2Fe_{14}B$  alaşımlı malzeme teorik limit olan 64 MGOe lik enerjisi ile dikkatleri nadir toprak alaşımlarından üretilen mıknatıslara çekmiştir. Bu bileşik temel alınarak toz metalürjisi teknolojisi kullanılarak  $Nd_{15}Fe_{77}B_8$  bileşimli mıknatıs geliştirilmiş ve 45 MGOe lik enerji elde edilmiştir. Başta yüksek üretim maliyetleri olmak üzere Sm-Co alaşımlarından %50 daha fazla enerji sağlamaları ve neodyumun samaryumdan daha kolay elde edilebilen bir nadir toprak elementi olması nedeniyle kolayca yerini almıştır. Birçok avantaj sağlaması nedeniyle de ALNICO mıknatıslarının yerini de alabilecek potansiyel taşımaktadır (Street, 1984).

### 2.3. KALICI MIKNATISLI RULO TİPİ MANYETİK AYIRICI

Manyetik alanı sağlayan rulo, bir seri Nd-Fe-B alaşımlı mıknatıs ve çelik disk diziliminden meydana gelmektedir. Ekipmana hareketi sağlayan motor, manyetik ruloyu hareket ettirir. Düzenekte manyetik olmayan ikinci bir rulo mevcuttur. Her iki ruloyu kaplayan kevlerden mamul ince ve dayanıklı bir bant ise hareketi ilettiği gibi, titreşimli bir besleyiciden dökülen malzemenin manyetik rulo üzerine taşınmasını sağlar. Başta manyetik kuvvet, merkezkaç kuvvet ve yerçekimi kuvvetinin bileşkesine göre yörüngesi belirlenen taneler manyetik ruloyu terk ettikten sonra konumu ayarlanabilen bir bölücü bıçak marifetiyle manyetik ürün, ara ürün ve manyetik olmayan ürün bölmelerinden birinde toplanırlar.

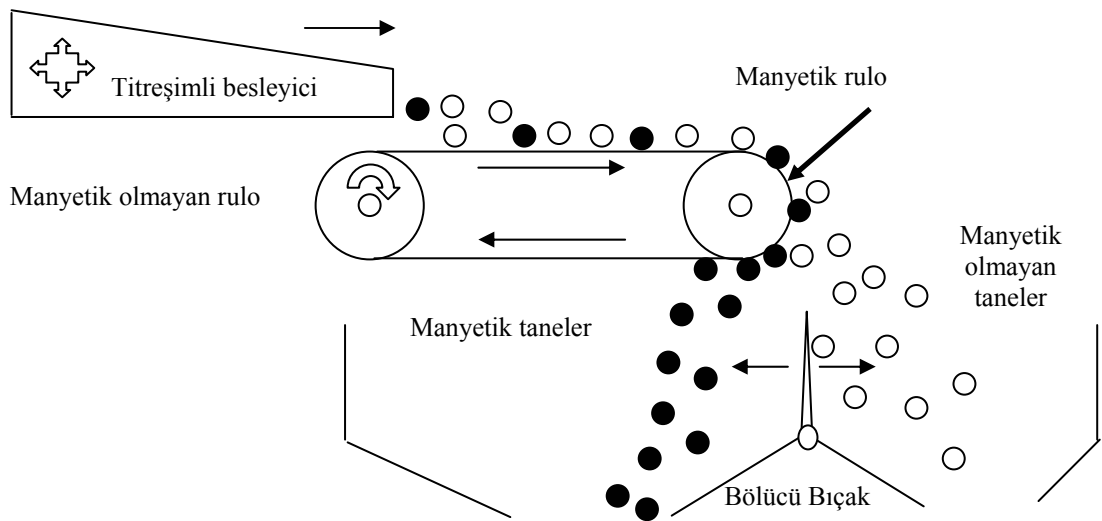
Şekil 2.8'de endüstriyel ölçekli bir rulo tipi yüksek alınganlıklılı manyetik ayırıcı ve Şekil 2.9'da bu ayırıcının kesit şekli gösterilmiştir.

Manyetik rulolar, kalınlıkları 3 ile 12 mm arasında değişen Nd-Fe-B alaşımlı kalıcı mıknatıs disklerin yumuşak çelikten yapılmış diskler arasında dilimler şeklinde birleştirilmesiyle yapılırlar. Bu dizilim 1,7 Tesla civarında bir manyetik alan şiddeti sağlar (Arvidson, 1985). Curie sıcaklığı 300°C civarında olduğu için malzemenin 150 °C den düşük sıcaklıklarda beslenmesine de toleranslıdır (Rodewald, 1985). Nd-Fe-B alaşımlı mıknatıslar diğer mıknatıs malzemelerinden daha yüksek dayanıma sahiptir. Ancak, neodyumun hızla oksitlenmesi nedeniyle uygun boya

veya kaplama yöntemleriyle korunması gerekmektedir. Diğer yandan, yapılan çalışmalarda kobalt ve alüminyum gibi elementlerin Nd-Fe-B bileşimlerine eklenmesinin mıknatısların manyetik ve sıcaklık özelliklerinin gelişmesinde ve oksitlenme problemlerinin önüne geçmede faydalı olacağı bulunmuştur (Mizoguchi vd., 1986).



Şekil 2.8. Endüstriyel ölçekli rulo tipi kuru manyetik ayırıcı (Bateman Permroll)





## Şekil 2.9. Rulo tipi kuru manyetik ayırıcının temsili kesit görünümü

Manyetik alan gradyanı çok yüksek ve manyetik alan doygunluk seviyesine (yaklaşık 2 Tesla) ulaşabildiği için tanelere etkiyen manyetik kuvvet de büyüktür. Besleme hızı ve seçimliliği indüklenmiş manyetik rulo ve çapraz bantlı manyetik ayırıcılara göre daha yüksektir. Tanelerin yörüngesini etkileyecek hava boşluğu gibi kısıtlamalar mevcut olmadığı için taneler banttan aldıkları yeterli ivme sayesinde düzgün şekilde hızlanabilirler. Ayırım koşulları iyi kontrol edilebilen bu ayırıcılarda elektrostatik kuvvetlerin etkisi de düşüktür. Herhangi bir ısı üretimi (eddy akımları) olmadığı için havalandırmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Etkin bir toz koruması sağlamak için ayırıcının üzeri kapatılmaktadır (Arvidson, 1990).

Rulo tipi manyetik ayırıcı üzerindeki çalışmalarında tanelerin hareketlerini inceleyen Kopp (1984) çelik diskleri hava boşluğu kabul ederek ayırma neden olan kuvvetleri ve mekanizmayı açıklamaya çalışmıştır. Kopp'a göre, manyetik özelliğe sahip bir tane üzerine etkiyen üç kuvvet mevcuttur:

- a - Yönü rulo merkezine doğru olan manyetik kuvvet,
- b - Yönü rulo merkezinden dışa doğru olan merkezkaç kuvvet
- c - Yönü rulo merkezinin izdüşümü olan yerçekimi kuvveti

Bileşke kuvvetin yönü ve büyüklüğü tanenin bandı hangi noktadan (veya açı değeri olarak) terkedeceğini belirlemektedir.

B manyetik alanında ve  $\nabla B$  alan gradyanındaki manyetik kuvvet eşitliği;

$$F_m = \mu_0 m \chi B \nabla B \quad (31)$$

olarak verilmiştir. Burada m tanenin kütlesi (kg),  $\chi$  manyetik alınganlık değeri ( $m^3/kg$ ) ve  $\mu_0$  havanın geçirgenliği olup birimi Henry/m ve değeri de  $4\pi \times 10^{-7}$  dir.

Bu temel eşitlik Kopp tarafından rulo tipi ayırıcılar için aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir;

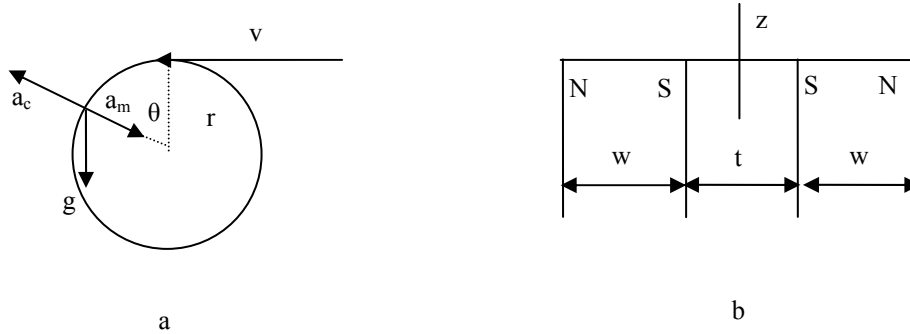
$$B = B_0 \exp(-z / t) \quad (32)$$

$$B \nabla B = (H_o^2 / t) \exp(-2z / t) \quad (33)$$

Bu eşitlikte  $B_0$  mıknatısın kenar noktasındaki manyetik alanı,  $z$  tanenin mıknatıs yüzeyinden uzaklığını ve  $t$  de mıknatıs diskler arasındaki çelik diskin kalınlığını ifade etmektedir.

Bu eşitliğe göre manyetik kuvvet terimi  $B \nabla B$  en yüksek değerini  $z = t/2$  yani, mıknatıs yüzeyinden olan uzaklığın çelik disk kalınlığının yarısı olduğu koşulda sağladığı anlaşılmaktadır. Buna göre tane boyunun bu değerle uyumlu olması veya ayırımın yapılacağı koşullara bağlı olarak ayırıcının tasarlanması gerektiği anlaşılmaktadır (Gülsoy ve Orhan, 2004).

Şekil 2.10- da ayırıcının geometrik parametreleri şematik olarak sunulmuştur.



Şekil 2.10. Rulo tipi ayırıcının geometrisi. a- rulo kesiti ve taneye etki eden üç ivme vektörü. b- rulo kesiti, burada  $t$  hava boşluğu olarak kabullenilmiştir (Kopp, 1984)

Bandın hareket etmediği koşulda manyetik olmayan bir tanenin  $\theta_s$  kayma açısı ile rulodan düşmesi için

$$f_s = \tan \theta_s \quad (34)$$

koşulu gereklidir. Eşitlikte  $f_s$ , bant ile tane arasındaki sürtünme katsayısıdır.

Bandın v hızı ile döndüğü düşünülerek merkezkaç ivmesi olarak tanımlanan  $a_c$  ifadesi;

$$a_c = v^2/r \quad (35)$$

ile verilmiştir.

Manyetik çekim kuvvetinden doğan manyetik ivme ifadesi  $a_m$  de;

$$a_m = \mu_0 \chi B \nabla B \quad (36)$$

şeklindedir. Manyetik ivme ( $a_m$ ) değeri yerçekimi ivmesi g'den çok küçükse manyetik kuvvet etkisiz kalmaktadır. Manyetik ivme değeri yerçekimi ivmesi g'den çok büyükse tane tamamen manyetik çekim kuvveti etkisinde kalmaktadır.

Banttın ayrılan tanenin bandı terkettiği noktadaki kuvvetler dengesi şu şekildedir;

$$g \sin\theta = f_s(a_m - a_c + g \cos\theta) \quad (37)$$

veya

$$\frac{\Delta a}{g} = \frac{\sin\theta}{f_s} - \cos\theta \quad (38)$$

Bu eşitlikteki  $\Delta a$  net ivme farkıdır ( $a_m - a_c$ ).

Bu eşitlik  $f_s=1$  için çözüldüğünde kopma açısı olarak tanımlanan açı değeri elde edilir;

$$\sin 2\theta = 1 - \left(\frac{\Delta a}{g}\right)^2 \quad (39)$$

Açı değeri 135 dereceden büyük ise tanenin manyetik bölgeyi terk edinceye kadar ruloyu terketmeyeceği anlaşır (Kopp, 1984).

Nadir toprak elementleri alaşımılı yüksek alan şiddetli yüksek gradyanlı rulo tipi kuru manyetik ayırıcıların geliştirilmesini takip eden sürede bu ayırıcıların kullanım alanlarının belirlenmesi, diğer kuru manyetik ayırıcılarla karşılaştırılmaları ve sağlayacakları avantajların araştırıldığı çalışmaların sonuçları 1984'ten itibaren alınmaya başlanmıştır.

Arvidson (1984), farklı tane boylarındaki çeşitli cevherlerdeki zenginleştirme test sonuçlarını manyetik tamburla karşılaştırdığı çalışmasında rulo tipi ayırıcıyı yeni, daha etkili ve ucuz bir ekipman olarak tanıtmıştır. İri boydaki refrakter hammaddelerden andaluzit (+4,75 mm), kalsine edilmiş boksit, şamot (-6 mm) ve Yunanistan – Yugoslavya orijinli manyezit (25-125 mm) numunelerinin iki aşamalı zenginleştirme ile manyetik tamburlara göre dört kat daha etkin şekilde zenginleştirildiğini belirtmiştir. Ocak çıkışı vollastonit cevherinin -10 mm'ye ufalandıktan sonra neredeyse yarısının temiz manyetik artık olarak ayrılabilirdiği, yine aynı boydaki hematit için çok etkin bir ayırmanın sağlandığını kaydetmiştir. Bir kuvars tesisinde 3-4 mm'de zenginleştirilen cevherin 6 mm'nin üzerinde zenginleştirildiğini, böylece öğütme giderlerinin azaltıldığını, benzer sonuçların kimberlit için de elde edildiğini belirtmiştir. Daha ince tane boylarındaki endüstriyel uygulamalarda çok temiz malzemelerin üretiminde (kavrulmuş ilmenitten kuvars, monazit ve zirkonun ayrılması), diatomit ve asbest cevherlerinin temizlenmesinde etkili sonuçlar alındığını ve daha ince tane boylarındaki (-75 mikron) tanelerin tamburlarla zenginleştirilmesinde karşılaşılan bir takım problemlerin (ayırım etkinliğini azaltan elektrostatik kuvvetlerin varlığı ve ekonomikliğı etkileyen düşük besleme hızları) rulo tipi ayırıcılarla azaltılabileceğini belirtmiştir.

Adı geçen cevherlerin zenginleştirildiğı değişik tesislerde ticari ismi Permroll ® olan ayırıcının ağır ortam, martiks tipi elektromanyetik ayırıcılar ve manyetik tambur ile karşılaştırıldığı çalışmaların sonuçları bu tespitleri ve öngörülerini doğrulamıştır. Farklı tane boylarında yapılan beslemenin kuvars zenginleştirme test sonuçlarına etkisi Çizelge 2.5'de verilmiştir (Arvidson, 1985).

Çizelge 2.5. a) -6 mm kuvars beslemesi ile yapılan test sonuçları (Arvidson, 1985)

ÜRÜN İSMİ	Besleme Miktarı (t/s)	Ağırlıkça oranı (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
Besleme	5,6	100	0,0006	0,052
Manyetik		3	0,0170	1,53
Manyetik Olmayan		97	<0,0001	0,006

Çizelge 2.5. b) -0,425 +0,106 mm kuvars beslemesi ile yapılan test sonuçları

ÜRÜN İSMİ	Besleme Miktarı (t/s)	Ağırlıkça oranı (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
Besleme	3,8	100,0	0,0005	0,052
Manyetik		3,1	0,0116	1,07
Manyetik Olmayan		96,9	<0,0001	0,005

Bu test sonuçlarına göre, safsızlıkların uzaklaştırılması amacıyla yapılan öğütme işleminden, Permroll kullanılması sayesinde vazgeçilebileceği, daha yüksek besleme hızlarında daha iyi ayırım performansı sağlanabileceği anlaşılmıştır.

Kümaş Kütahya Manyezit İşletmeleri'nde yapılan çalışmalarda rulo tipi ayırıcının farklı tane boylarındaki tesis ve ocak artıklarının kazanılmasında kullanılabildiğini, tesiste üretilen düşük kalitedeki ürünlerin de rulo tipi ayırıcı kullanılarak kalitelerinin artırılabilirdiği gösterilmiştir (Arvidson, 1988).

Manyetik tambur ile rulo tipi manyetik ayırıcıların (Permroll® ticari ismi ile kullanılmıştır) teknik özelliklerinin ve kullanım alanlarının karşılaştırıldığı çalışmada yürütülen bazı test çalışmalarının sonuçları da sunulmuştur (Arvidson, 1990). İri boyutlu cevher olarak Türk manyezitlerinin kullanıldığı testlerde -10 mm'lik ocak artığı olarak numunelerden yüksek verimle manyetik olmayan kısım ayrılabilmiştir.

Tesis artıklarının zenginleştirme testleri de -2 mm ve -4+2 mm fraksiyonlarına indirilen numunelere uygulanmış, iri boydaki fraksiyonda daha yüksek verimle olmak üzere manyetik olmayan ürün kazanımı sağlanabileceği belirlenmiştir. Bu çalışmaların sonuçları Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. a) -10 mm ocak artığı ile yapılan test sonuçları (Arvidson, 1990)

ÜRÜN	% Ağırlık	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Besleme	100.0	11.22	2.23
Manyetik	40.0	23.86	4.56
Manyetik Olmayan	60.0	2.80	0.68

Çizelge 2.6. b) -2mm tesis artığı ile yapılan test sonuçları

ÜRÜN	% Ağırlık	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Besleme	100.0	6.24	1.42
Manyetik	51.9	11.54	2.40
Manyetik Olmayan	48.1	0.52	0.36

Çizelge 2.6. c) -4 +2 mm tesis artığı ile yapılan test sonuçları

ÜRÜN	% Ağırlık	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Besleme	100.0	5.22	1.19
Manyetik	19.5	23.80	4.96
Manyetik Olmayan	80.5	0.72	0.28

Bu çalışmada ayırıcının optimizasyonu esnasında 10 ila 70 mm boyutlarındaki manyezit cevherlerinin de etkili bir şekilde ayrılabilirdiği belirtilmiştir. İnce tane boylarındaki uygulamaların Avrupa'da ilk olarak ferrosilikon üretimi için kuvars temizlemek amacı ile 1983'te Norveç'te başladığı, tesisin 3-4 mm'lik besleme ve manyetik tambur kullanımına uygun tasarlanmasından dolayı Permroll™ kullanımı ile ince öğütme gerekmeyeceği ve yüksek kapasite ile çok iyi zenginleştirme sonuçları verdiği için tesise uygulandığı kaydedilmiştir. Feldispat ayırma amacıyla test edilen rulo tipi ayırıcı, manyetik tamburlara göre çok daha seçimli ayırım sağlamıştır. Benzer üstün sonuçların değişik manyetik ayırıcıların kullanıldığı farklı

tesislerde cam kumu, zirkon ve rutil/ilmenit zenginleştirme testlerinde de elde edildiği belirtilmiştir (Arvidson, 1990).

Ekmekçi (1990), Yüksek Mühendislik Tezi çalışmasında Karakuz demir cevherinin rulo tipi manyetik ayırıcı ile zenginleştirilmesini etkileyen parametreleri incelemiştir. Çalışma parametreleri, rulo dönüş hızı, bölücü bıçak ayarı, mıknatis konfigürasyonu, bant kalınlığı, besleme hızı ve aşama sayısıdır. -10+2 mm ve -2+0.074 mm lik iki farklı tane boyundaki cevher ile üç farklı rulo hızı, 90<sup>0</sup>, 103<sup>0</sup> ve 114<sup>0</sup> bölücü bıçak ayarlarında, üç mıknatis konfigürasyonunda, 0.5 mm ve 0.25 mm'lik iki bant kullanılarak 0.5, 1.7 ve 5.5 t/s/m'lik üç farklı besleme hızında 1, 2 ve 3 aşamalı deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda optimum ayırma koşulları belirlenmiştir.

Rulo dönüş hızının artışı ile elde edilen manyetik ürünün demir içeriğinde azalma tespit edilmiştir. Bölücü bıçak konumunun optimizasyonu deneylerinde -10+2mm lik taneler için 90<sup>0</sup> olarak belirlenen bölücü bıçak konumunun, rulo hızı arttığında 103<sup>0</sup>'ye yükseltilmesi gerektiği belirlenmiştir. Deney sonuçlarının incelenmesi ile tane boyunun manyetik ayırmaya etkisi açıkça görülmüştür. Besleme tane boyu azaldıkça, tanelere etkiyen merkezkaç kuvvetin azalacağı, buna karşın manyetik çekim kuvvetinin sabit kaldığı, bunun sonucunda manyetik özelliği zayıf ve serbestleşmemiş tanelerin de manyetik kısma çekilebildiği belirtilmiştir. Bu nedenle manyetik ürün tenörünü artırmak için rulo dönüş hızının artırılması ve bölücü bıçak ayarının kapatılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Manyetik rulo konfigürasyonunun incelendiği deneylerin sonucuna göre, tane boyu irileştikçe daha kalın mıknatis diziliminin tercih edilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Bant kalınlığının optimizasyonu için de yüksek rulo hızlarında ince, düşük rulo hızlarında daha kalın bant seçilmiştir. Besleme miktarının tespiti için farklı hızlarda yapılan malzeme beslemesi sonucunda malzemenin tek tabaka halinde beslenmesinin gerekliliği ortaya konmuş, bunu sağlayacak besleme hızı tespit edilmiştir. Her iki fraksiyon için optimum aşama sayısı ise tek aşama olarak belirlenmiştir.

Demirel ve Ekmekçi (1990), rulo tipi ayırıcının çalışma parametrelerinin optimize edildiği çalışmalarda farklı rulo hızlarında, üç farklı bölücü bıçak pozisyonunda

üç farklı mıknatıs konfigürasyonu ve iki farklı bant kalınlığında üç farklı besleme hızı uygulamışlardır. Elde edilen ürünlerin ağırlıkça oranları ve demir içeriklerinin yanında “Ayırım Etkinliği” (Schulz, 1970) değerleri de hesaplanmış ve değerlendirmeye esas alınmıştır.

$$E=R-Rg \quad (40)$$

Burada;

E : Ayırım Etkinliği

R : Konsantredeki değerli mineral verimi

Rg : Konsantrede olan gang verimidir.

Ayırım etkinliği parametresi, tenör ve verim cinsinden aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir:

$$E = R ( 1 - ( f ( c_m - c ) / c ( c_m - f ) ) ) \quad (41)$$

f : Besleme tenörü (%)

c : Konsantre tenörü (%)

c<sub>m</sub> : Maksimum konsantre tenörü (%)

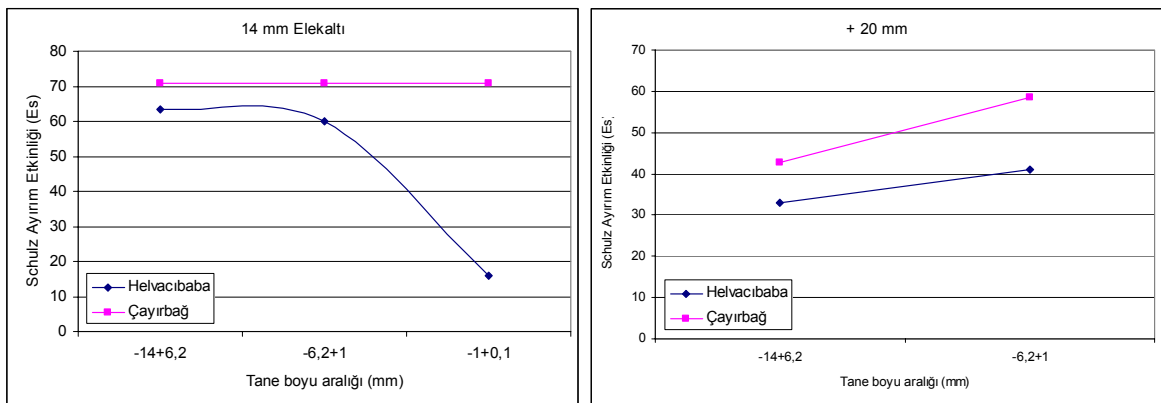
Buna göre, iri tane boylarında elde edilen manyetik ürün miktarı düşükse de tenör ve ayırım etkinliği değerleri yüksektir. Tane boyu küçüldükçe ürün miktarı artmakta ancak demir tenörü ve ayırım etkinliği azalmaktadır. Tane boyu büyüdükçe rulo hızı düşürülmüştür. Divriği C plaseri hematitli demir cevheri için belirlenen optimum çalışma koşulları Çizelge 2.7’de sunulmuştur.



Çizelge 2.7 Farklı tane boylarına sahip demir cevheri için belirlenen optimum çalışma koşulları (Demirel ve Ekmekçi, 1990)

Tane Boyu Aralıkları		
	-10+0.88 mm	-0.88+0.147 mm
Rulo hızı	500 devir/dk	600 devir/dk
Bölücü bıçak pozisyonu	114 <sup>0</sup>	103 <sup>0</sup>
Disk konfigürasyonu	12 mm mıknatıs / 3 mm çelik	12 mm mıknatıs / 3 mm çelik
Bant kalınlığı	0.5 mm	0.25 mm
Besleme hızı	1.7 t/s/m	5.5 t/s/m
Aşama sayısı	3	1

Ersayın vd. (1991) pilot ölçekli Permroll® manyetik ayırıcısı kullanarak manyezit triyaj artıkları ve -14 mm fraksiyonundaki malzemenin ayrılabilirliğini incelemişlerdir. Bu çalışmada özellikle farklı tane boylarındaki malzemelerden çok iri ve çok ince tane boylarındaki ayırımdan daha iyi ayırım değerlerinin bu iki fraksiyonun arasındaki tane boylarında elde edildiği anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar, uygun rulo konfigürasyonu ve çalışma parametrelerinin seçiminin ve özellikle sınıflandırılmış beslemenin ayırım üzerindeki etkisini göstermektedir. Çalışmada elde edilen deney sonuçları ele alınıp demir ayırma verimi incelendiğinde ayırım etkinliğinin kullanılması gerektiği görülmektedir. Schulz ayırım etkinliği demir için hesaplandıktan sonra, farklı tane boyları için demir ayırma verimi Şekil 2.11'deki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 2.11. İki manyezit numunesinin manyetik ürünlerdeki demir veriminin tane boyu ile değişimi

Helvacıbaşa ve Çayırbağ manyezit numunelerinin manyetik ürünleri incelendiğinde iri tane boylarında daha iyi ayırım sağlandığı, özellikle +20 mm'lik triyaj artıkları gözönüne alındığında -6,2+1 mm fraksiyonundaki demir kazanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Demirel vd. (1992), Kütahya bölgesinden alınan üç farklı cevher için minimum kayıpla gerçekleştirilecek zenginleştirme şartları belirlenmişlerdir. Bünye silisi düşük olan bu cevherlerden I.cevher +25 mm, -25+19mm, -19+10 mm, -10+1 mm ve -1 mm'lik fraksiyonlara ayrılmıştır. II. ve III. cevherler ise -10+4 mm ve -4+1 mm'lik fraksiyonlara ayrılmıştır. Her fraksiyona farklı rulo dönüş hızı ve bölücü bıçak ayarlarında manyetik ayırma deneyleri uygulanmıştır. -1 mm'lik fraksiyon manyetik ayırmaya deneylerine dahil edilmemiştir. Farklı çalışma parametrelerinin uygulanması neticesinde özellikle dar sınıflandırılmış tane boylarında daha iyi ayırım sağlanabildiği, boyut küçültme ve manyetik ayırma işlemlerinin koordineli bir şekilde ayarlanmasının etkin ayırımın şartı olduğu ortaya konmuştur.

Cuttle (1994), Fort St.James (British Columbia) alanındaki jeolojik incelemelerde alınan numunelerle yapılan çalışmalarda bir vermikülit yatağını incelemiştir. Paramanyetik vermikülitin manyetik gang minerallerinden ayrılabilirliğinin incelenmesi için numuneler kırılmış, elenmiş, permroll ve jig kullanılarak zenginleştirilmeye çalışılmıştır. Permroll kullanılan çalışmaların sonuçları Çizelge 2.8' de sunulmuştur. Her bir fraksiyon için farklı rulo hızlarında çalışıldığı, ayırımın gözle kararlaştırıldığı belirtilmiştir. Manyetik olmayan artığın kuvars ve çok az miktarda vermikülitte olduğu, vermikülit konsantrasyonunun ise yüksek oranda hornblend, manyetit ve serbestleşmemiş manyetit-kuvars taneleri de içerdiği saptanmıştır. En ince fraksiyon olan 0,3 mm'den daha ince tanelerde dahi serbestleşmenin sağlanamadığı da ifade edilmiştir. Permroll ile manyetik olmayan kısım ayrıldıktan sonra rulo hızı artırılarak vermikülitin diğer paramanyetik bileşenlerden ayrılmasına çalışılmış, fraksiyonlar arasında vermikülit kazanımı açısından farklar oluşsa da yüksek kalitede vermikülit kazanılamadığı belirlenmiştir.

Çizelge 2.8. Vermikülit zenginleştirme çalışması test sonuçları (Cuttle, 1994),

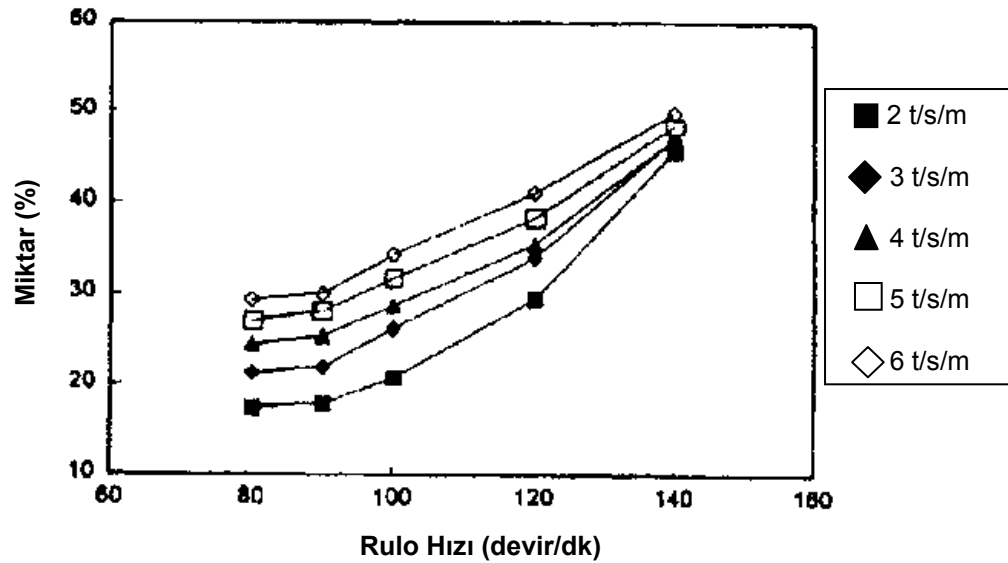
ÜRÜN	RULO HIZI (devir/dk)	AĞIRLIK (%)
-3,36+1,68 mm		
Manyetik olmayanlar	-150	25,1
Paramanyetik 1	-225+150	37,7
Paramanyetik 2	-300+225	27,3
Paramanyetik 3	+300	10,0
Toplam		100,1
-1,68+1,41 mm		
Manyetik olmayanlar	-175	36,2
Paramanyetik 1	-250+175	33,3
Paramanyetik 2	-325+250	23,5
Paramanyetik 3	+325	7,0
Toplam		100,0
-1,41+0,5 mm		
Manyetik olmayanlar	-200	64,5
Paramanyetik 1	-300+200	25,8
Paramanyetik 2	+300	9,7
Toplam		100,0
-0,5+0,3 mm		
Manyetik olmayanlar	-200	47,3
Paramanyetik 1	-300+200	25,3
Paramanyetik 2	+300	27,4
Toplam		100,0

Çizelge 2.8 deki veriler incelendiğinde en iri boyut olan 3,36 mm'lik fraksiyondan 0,5 mm'lik fraksiyona kadar tane boyu inceldikçe manyetik olmayan artık yüzdesinin arttığı, en ince fraksiyonda bu değer düşüğü görülmektedir. Azalan tane boyuna bağlı olarak manyetik olmayan kısımların ayrıldığı rulo hızları 150

devir/dk'dan 200 devir/dk'ya kadar artırılmıştır. Serbestleşme derecesindeki artışa bağlı olarak en yüksek malzeme kazanımı en ince fraksiyonda elde edilmiştir.

Şensöğüt (1996), Yüksek Mühendislik tez çalışmasında Konya Krom Magnezit Tuğla Sanayii T.A.Ş.'ne ait zenginleştirme tesisinin triyaj ve manyetik ayırıcı atıklarının değerlendirilmesi amacıyla Permroll yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı ile zenginleştirme çalışmaları yapmıştır. Bu çalışmalar kapsamında, besleme ve bant hızındaki değişikliklerin, konsantredeki MgO verimi ve SiO<sub>2</sub> içerikleri üzerinde etkileri olduğunu tespit etmiştir. Özellikle bant ve besleme hızları azaltıldığında başarılı bir manyezit-serpantin ayırımı sağlanmıştır.

Arvidson ve Rademeyer (1997), Güney Afrika'daki zirkon zenginleştirme çalışmalarını işledikleri çalışmalarında farklı besleme miktarlarında rulo hızının etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları Şekil 2.12'de verilmiştir.



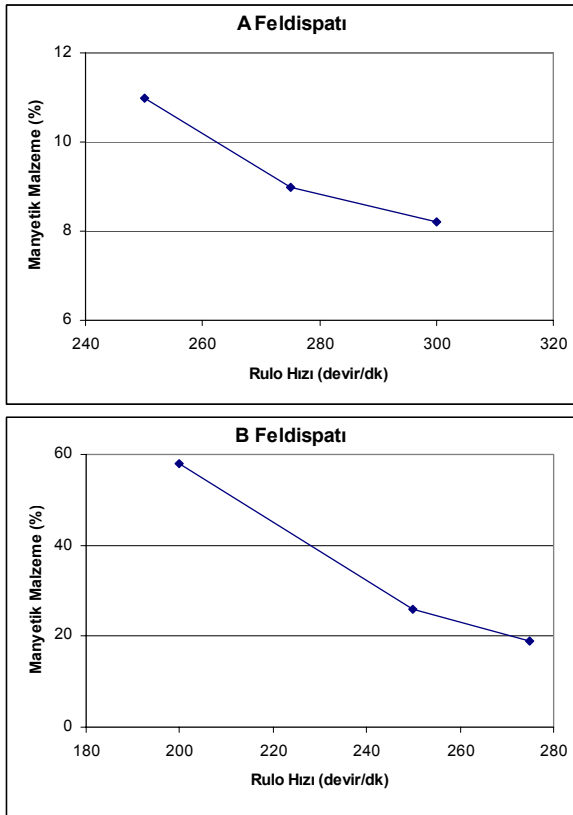
Şekil 2.12. Rulo hızının ve besleme miktarının ürün miktarına etkisi (Arvidson ve Rademeyer, 1997),

Bu sonuçlara göre, rulo hızındaki artış, elde edilen manyetik olmayan ürün miktarında artış sağlamaktadır. Besleme miktarı arttıkça manyetik olmayan ürün miktarı da artmıştır.

Arvidson ve Henderson (1997), nadir toprak elementleri alaşımları üzerinde yürütülen başarılı çalışmalara bağlı olarak manyetik ayırıcıların potansiyel kullanım

alanlarının arttığını belirtmişlerdir. Bazı olası uygulamalar arasında borat cevheri artıklarının değerlendirilmesi, iri boydaki demir ve manyezit cevherlerinin ön zenginleştirilmesi, altın konsantrelerinin temizlenmesi ve yüksek saflıktaki kuvars ve ağır metal konsantresi üretimi bulunmaktadır. Yeni Nd-Fe-B alaşımlarının kullanıldığı “Permos” ve “Yüksek-Kuvvet” manyetik ayırıcılarının güncel alaşımlı mıknatısların kullanıldığı rulo tipi manyetik ayırıcı ile karşılaştırıldığı çalışmada ilmenit ve hematit gibi aralarında düşük alınganlık farkları bulunan manyetik maddelerin uygun konfigürasyonlar kullanılarak ayrılabilceğini belirtmişlerdir.

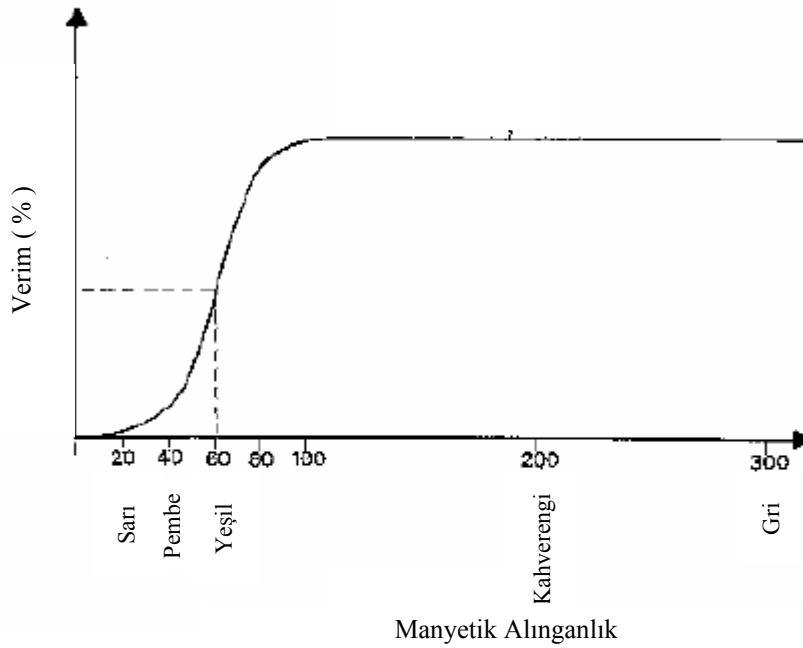
Arvidson (2000), farklı özellikteki iki feldispat numunesi üzerinde bir seri çalışma yürüttükleri çalışmalarında farklı manyetik ayırıcıların ayırım performanslarını incelemişlerdir. A Feldispatı çok zayıf manyetik taneler (muskovit) içermektedir, B Feldispatı ise daha az miktarda biyotit ve diğer gangları barındırmaktadır. Bu iki cevher 75 mm çapındaki rulo tipi ayırıcıda farklı rulo hızlarında ayrılmış ve test sonuçları Şekil 2.13.'de özetlenmiştir.



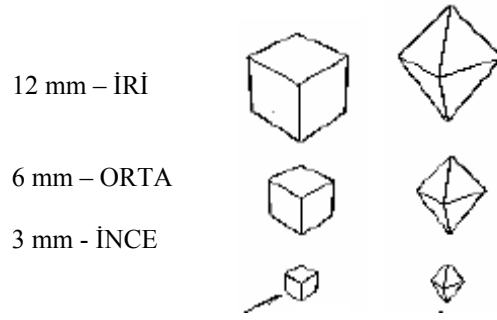
Şekil 2.13. Farklı iki feldispat numunesinin 75mm'lik rulo tipi manyetik ayırıcıda farklı rulo hızlarında ayırım performansı (Arvidson, 2000),

Her iki feldispat numunesinde rulo hızı azaldıkça daha iyi bir ayırım sağlandığı görülmektedir. Çalışmada ayrıca, farklı alaşımlara sahip yeni mıknatısların daha iyi ayırım performanslarına sahip oldukları ve tambur tipi manyetik ayırıcılara göre avantajlarının her geçen yıl daha da arttığı belirtilmiştir.

Ennis ve Dune (2000), WO0064588 numaralı patentlerinde elmas, elmas ile bağlı haldeki taneler ve artık olarak ifade edilen ürünleri temsil eden kübik ve oktahedral öz şekilli örnekler hazırlamışlar, bunları farklı manyetik alınganlık ve renklere göre ayıracak bölücü bıçak konumlarını belirlemişlerdir. Farklı manyetik alınganlık değerleri (Şekil 2.14) elde etmek için manyetit ilave edilen malzemeler, farklı renkler verilerek iz taneleri elde edilmiştir (Şekil 2.15).



Şekil 2.14. İz tanelerin manyetik alınganlıklarına bağlı olarak ayırım performansının değişimi (Ennis ve Dune, 2000)



Şekil 2.15. İz tanelerin şekilleri ve boyutları (Ennis ve Dune, 2000)

Hazırlanan tanelerin manyetik alınganlık değerleri ve bunları ayırt etmek için verilen renk özellikleri Çizelge 2.9’ da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Hazırlanan iz tanelerinin renkleri ve manyetik alınganlık değerleri (Ennis ve Dune, 2000)

RENK	Manyetik Alınganlık ( $\times 10^{-6} \text{cm}^3/\text{g}$ )	
	NdFeB Alaşımılı Rulo KÜBİK TANELER	BaFe Alaşımılı Rulo OKTAHEDRAL TANELER
Sarı	20	400
Pembe	40	500
Yeşil	60	600
Eflatun	80	700
Portakal	100	1000
Kahverengi	200	2000
Gri	300	4000

İlk grup taneler, yüksek alan şiddetli NdFeB alaşımılı rulo kullanılarak, ikinci grup taneler de daha zayıf BaFe alaşımılı rulo kullanılarak ayırma tabi tutulmuşlardır. Tanelere, manyetik alan hesaplamalarının şekil faktöründen etkilenmemesi için sabit şekiller verilmiştir. Her renk için 25 adet olmak üzere 1050 adet tane hazırlanmıştır.

Yürütülen çalışmalar sonucunda bölücü bıçak konumunun belirleneceği manyetik alınganlık değerleri belirlenmiştir. Kırılmış cevherdeki yüksek manyetik alınganlığa sahip olan yantaşın elmas içeren bileşenlerden BaFe alaşımlı permroll ile ayrılacağı optimum değer, pembe oktahedral tanelere karşılık gelen  $500 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$  olarak belirlenmiştir. Gangdan ayrılan düşük manyetik alınganlığa sahip olan değerli kısmın NdFeB alaşımlı permroll ile zenginleştirileceği manyetik alınganlık değeri de yeşil kübik tanelere karşılık gelen  $60 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$  olarak belirlenmiştir.

Koca vd. (2000), Kütahya Seyitömer linyitleri üzerine yaptıkları çalışmada 1.7 mm'den küçük üç fraksiyon halindeki numunelere 400, 450, 500, 550 ve 700°C'lik piroliz işlemleri uygulamışlar, bu numuneler için optimum ayırma koşullarını sağlamak üzere laboratuvar ölçekli rulo tipi manyetik ayırıcının besleme hızı, rulo hızı ve bölücü bıçak konumu üzerinde değişiklikler yapmışlardır. İşlem parametreleri olarak 30-40-50 devir/dk rulo hızı, 50-150-250 gr/dk besleme hızı ve 90-96-100-110°'lik bölücü bıçak ayarı değerleri belirlenmiş, testler sonucunda sülfür içeriğinde yüksek derecede azalmanın sağlandığı en iyi koşulların da 40 devir/dk rulo hızı, 50 gr/dk besleme hızı ve iri fraksiyon (-1.7+1.0 mm) için 100°'lik, diğer fraksiyonlar için (-1.0+0.5 ve -0.5+0.25mm) ise 96°'lik bölücü bıçak konumunda elde edildiği belirtilmiştir.

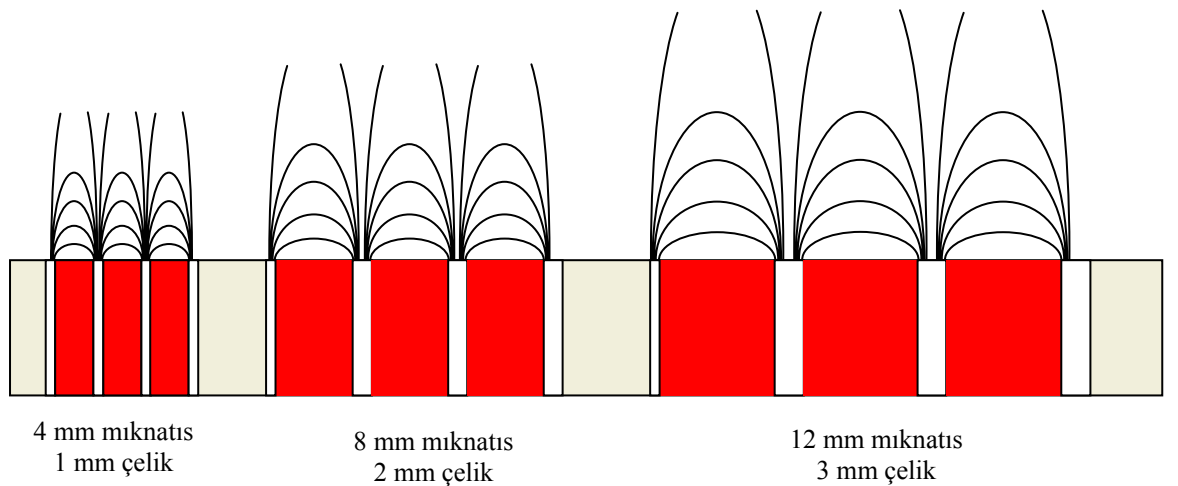
Morten ve diğ. (2003), WO03018237 numaralı patentli yöntemlerinde organoklorosilan ve klorosilan üretiminde akışkan yataklarda kullanılan silis bazlı katkılarda oluşan bakır, demir ve klor bileşiklerinin temizlenmesi amacıyla rulo tipi ayırıcıları kullanmışlardır. Ore Sorters Ltd. den temin edilen laboratuvar ölçekli Permroll®, 0,25 mm'lik bant ile kullanılmış ve 17000 Gauss'luk manyetik alan sağlandığı ifade edilmiştir. Çalışma hakkında detay verilmemişse de reaktörden alınan artık numunesinin % 46,8'inin manyetik ürün olarak kazanıldığı, demir, alüminyum, kalsiyum ve eser elementlerin klor bileşikleri halindeki istenmeyen ürünlerin manyetik olmayan üründen başarı ile uzaklaştırıldığı belirtilmiştir. Bu sonuçlarla da yöntemin, elementel silisin geri kazanımı için çok uygun olduğu ifade edilmiştir.

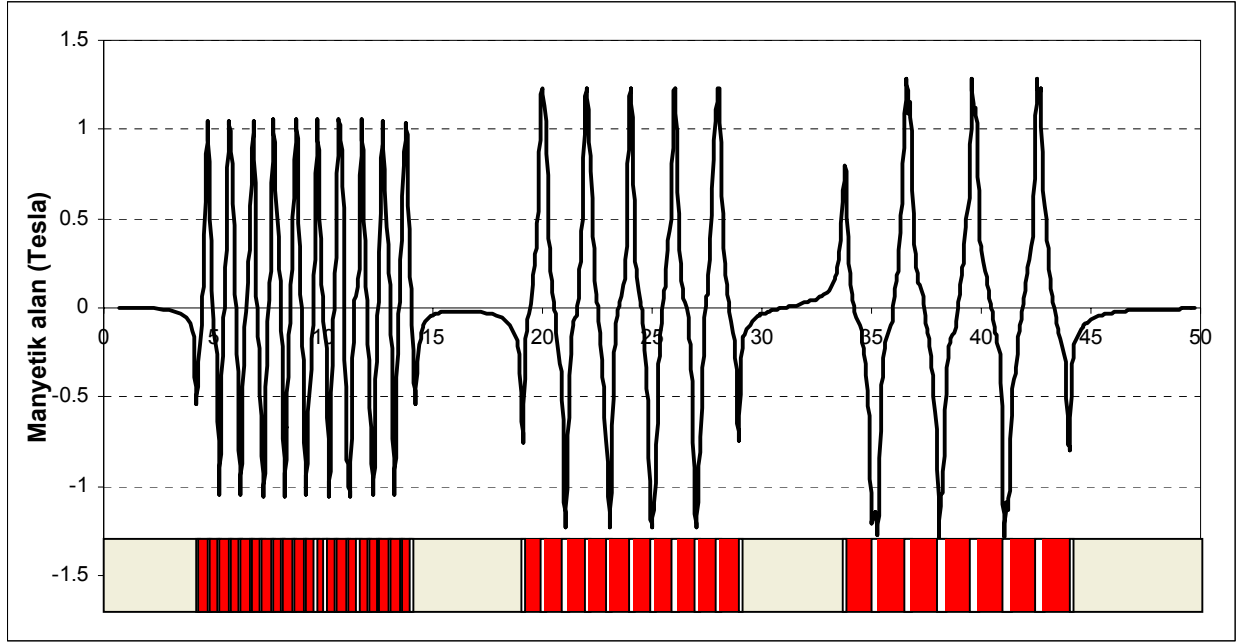


Saklar ve Oktay (2003), Yozgat bölgesi granitleri üzerine yürüttükleri çalışmalarında demir içeriğini azaltmak amacıyla rulo tipi manyetik ayırıcı kullanarak manyetik ayırma deneyleri yapmışlardır. Deneylerde 600 µm'dan ince boya ufalanan numuneler manyetik ayırıcıdan iki defa geçirilmiştir. Deneyler sonucunda demir içeriğinin %0.2'ye kadar düşürüldüğü, bu değerlerin daha da düşürülebilmesi amacıyla flotasyon deneyleri de yapıldığı belirtilmiştir.

Gülsoy vd. (2003), Kırşehir masifinden alınan altere granit numunelerinden yüksek potasyumlu feldispat üretimi çalışmalarında yüksek Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriklerini düşürmek amacıyla manyetik ayırmaya tabi tutmuşlardır. Manyetik ayırma ile %11 ve daha yüksek K<sub>2</sub>O içeren, bazı bölgelerde Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği %0.18'e kadar düşebilen ve genellikle de %0.01 TiO<sub>2</sub> içeriğine sahip konsantreler üretmenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

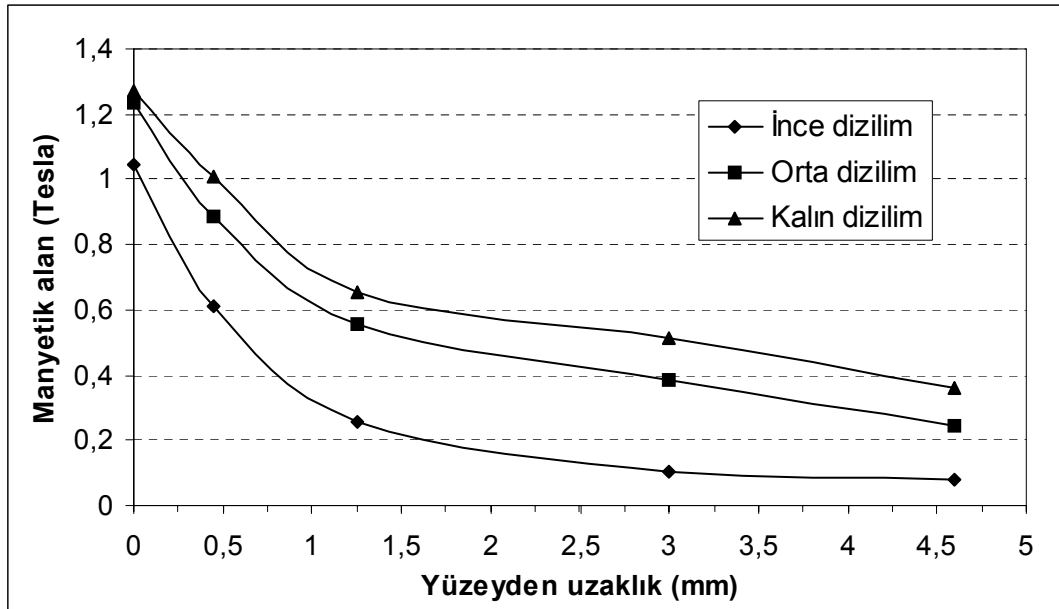
Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarında kullanılan rulo tipi ayırıcı üzerinde yapılan ölçümlere göre rulo yüzeyindeki manyetik alan ve alan gradyanlarının değişiminin farklı rulo konfigürasyonlarına bağlı değişimi ortaya konmuştur (Bayraktar vd., 2003, Gülsoy ve Orhan, 2004). Bu ölçüm sonuçları Şekil 2.16'da sunulmuştur.





Şekil 2.16. Farklı dizimlerde rulo yüzeyinde manyetik alanın ve manyetik alan gradyanlarının değişimi (Bayraktar vd., 2003, Gülsoy ve Orhan, 2004).

Şekil 2.17’de değişik dizimlerdeki rulo yüzeylerinden uzaklaştıkça, manyetik alan şiddetinin düşüşü açıkça görülmektedir.

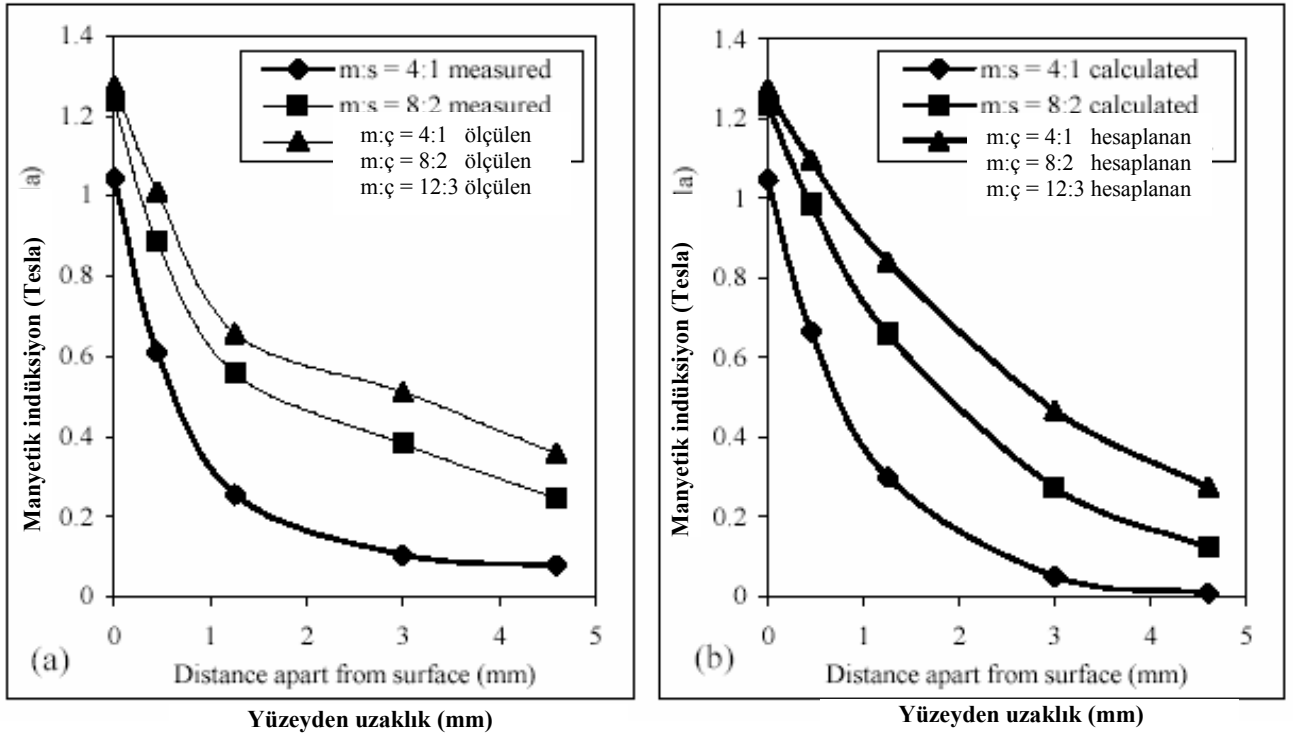


Şekil 2.17. Rulo yüzeyinden uzaklaştıkça manyetik alanın değişimi (Bayraktar vd.,2003)

Bu çalışmada kuru manyetik ayırmada en önemli noktanın ince fraksiyonun (-75  $\mu$ m) çok iyi ayrılması gerektiği, aksi takdirde ince tanelerin statik elektriklenme

yalıyla iri tanelere, rulo ve banta yapıştığı, ayırımın başarısı ve sürekliliğinin de olumsuz etkilendiği belirtilmiştir. Aynı zamanda, bu ince tanelerin bant ile rulo arasına girip bantın rulo yüzeyinden uzaklaşması, bant yüzeyindeki alanın ve gradyanın düşmesine neden olduğundan, bant altında hava üflemeyle pozitif bir basınç yaratmak ince tane ayırımlarında çok yararlı olduğu, diğer olumsuz bir noktanın da tane boyu inceldikçe kapasitenin önemli oranda düşmesi olduğu kaydedilmiştir (Bayraktar vd., 2003).

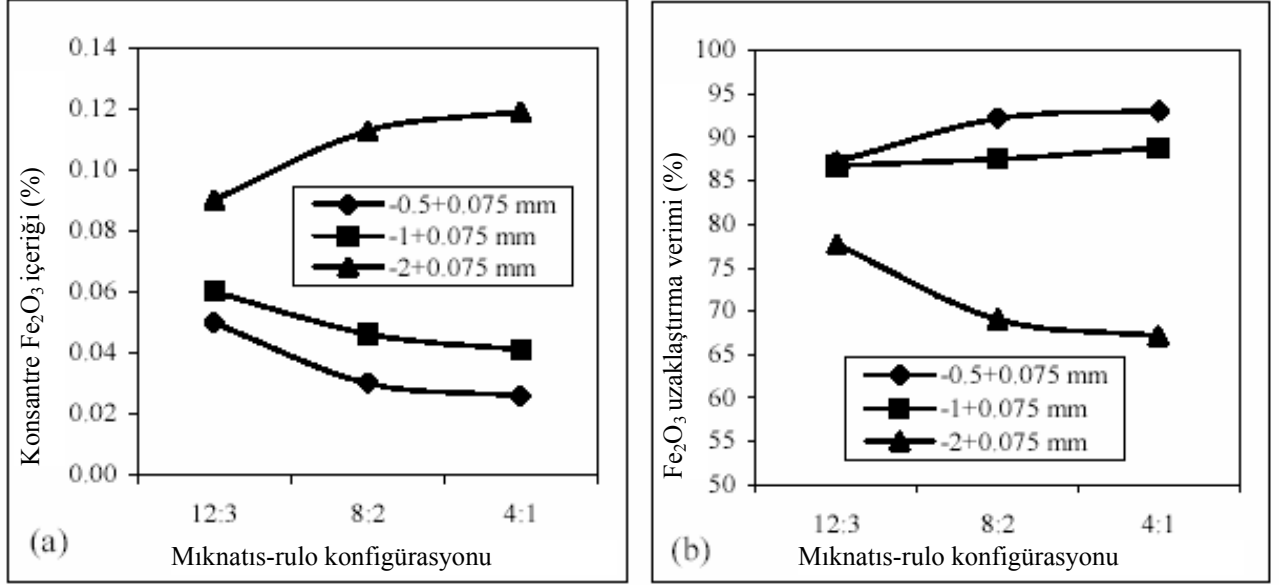
Gülsoy ve Orhan (2004), manyetik rulo konfigürasyonu seçiminin feldispat zenginleştirme işlemlerinde demirli bileşenlerin ayırımına olan etkilerini inceledikleri çalışmalarında manyetik rulo yüzeyinden uzaklaştıkça manyetik alandaki değişimlerin etkilerini de ortaya koymuşlardır (Şekil 2.18 a ve b).



Şekil 2.18. Yüzeyden uzaklaştıkça (a) ölçülen, (b) hesaplanan manyetik alan değerlerinde meydana gelen azalmanın manyetik rulo konfigürasyonuna bağlı değişimi (Gülsoy ve Orhan, 2004)

Yüzeyde ve yüzeyden uzaklaştıkça yapılan ölçümler ile eşitlik 33'e göre yapılan hesaplamalar sonucunda mıknaıtis:çelik oranı 12:3 olan konfigürasyonun yüzeyden tüm mesafelerde en yüksek manyetik indüksiyon değerlerini sağladığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada farklı tane boylarındaki feldispat numuneleri üç farklı

rulo konfigürasyonunda zenginleştirmeye tabi tutulmuş konsantredeki demir, titan ve biyotin miktarında yüksek miktarda azalma sağlanmıştır. Mıknatis-çelik konfigürasyonuna ve besleme tane boyuna bağlı olarak  $Fe_2O_3$  içeriği ve  $Fe_2O_3$  uzaklaştırma verimindeki değişimler Şekil 2.19'da sunulmuştur.



Şekil 2.19. Farklı mıknatis-çelik konfigürasyonlarına bağlı olarak (a) konsantre  $Fe_2O_3$  içeriği, (b)  $Fe_2O_3$  uzaklaştırma verimindeki değişimler (Gülsoy ve Orhan, 2004)

Şekil 2.19'daki davranımların tane boyuna bağlı olarak serbestleşme, besleme içerikleri ve verim değerleri farklı olduğu için kendi aralarında karşılaştırılmasının yanlış olacağı belirtilmiştir. Ancak farklı tane boyları için elde edilen eğrilerin şekli önemlidir. Konsantre  $Fe_2O_3$  değerleri -1+0.075 mm ve -0.5+0.075 mm boyutları için 12:3>8:2>4:1 rulo konfigürasyonu sıralaması şeklinde azalma göstermektedir. Buna zıt şekilde -2+0.075 mm'lik fraksiyonun  $Fe_2O_3$  içeriği serbestleşmeye bağlı olarak 12:3<8:2<4:1 konfigürasyon sıralaması şeklinde azalmaktadır. Benzer ilişki bunun tersi şekilde sıralama halinde  $Fe_2O_3$  uzaklaştırma verimi değerlerinde de görülmüştür. Buna göre en düşük  $Fe_2O_3$  içeriği ve en yüksek  $Fe_2O_3$  uzaklaştırma verimi -1+0.075 mm ve -0.5+0.075 mm fraksiyonları için 4:1 ve -2+0.075 mm'lik fraksiyon için 12:3 lik rulo konfigürasyonunda elde edilmiştir. Bu sonuçlar, uygun mıknatis-rulo konfigürasyonunun belirlenmesinin önemini ve en yüksek  $B_{max}$  değerlerinde tüm boylar için en iyi ayırımın sağlanamayabileceğini göstermektedir. Eşitlik 33, ortalama tane boyunun ayırıcıda kullanılan çelik dilim kalınlığının yarısı

kadar olması gerektiğini önerdiği halde, çoğunlukla bir boyut dağılımının ortalama tane boyunu belirlemek mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte, besleme tane boyu irileştikçe daha yüksek indüksiyon ve mıknatıs:rulo konfigürasyonu değerleri gerekeceği açıktır.

Gülsoy vd. (2004), Bursa-Orhaneli siyenitlerinden kaliteli feldispat konsantresi elde edilebilirliğini araştırdıkları çalışmalarında renk verici safsızlıkların ayrılması amacıyla -300 µm tane boyutunda yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırmadan yararlanmışlardır. Kuru manyetik ayırma işlemlerinde ince tane boyutunda hava akımı etkisi, tane-tane ve tane-bant arasında ortaya çıkan elektrostatik etkileşimlerin işlemin ayırım verimini düşürmesi sebebiyle -53 µm'luk fraksiyon elenerek ayrılmıştır. -300+53 µm'luk numune dört kademe ayırma tabi tutulmuştur. Testler sonucunda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> içeriği düşük, kaliteli bir konsantre elde edilmiş, ancak konsantrede ağırlık verimi % 11.55 gibi düşük bir değerde kalmıştır. Bu sonuçlar, cevher içinde renk verici, manyetik özellik gösteren minerallerin çok ince tane boyutlarında serbestleşebilir yapıda olmalarından kaynaklanmıştır.

Phan ve Raman (2005), WO2005082524 numaralı patentte, termik santral uçucu küllerinden civanın arıtılması amacıyla kullanılan manyetik aktive karbonun geri kazanımı amacıyla rulo tipi manyetik ayırıcıyı kullanmışlar ve Mazyck (2004) tarafından WO2004064078 numaralı patentli yöntemde kullanılan döner tamburlu manyetik ayırıcıdan çok daha yüksek geri kazanım sağlamışlardır. Yöntemlerinde 400 devir/dk hızında çalıştırılan kuru manyetik ayırıcıya 4,08 kg/dk hızla numune beslemesi yapılmıştır. Bünyesinde diğer manyetik özellik gösteren içerik de bulunduran kül numunesinde ağırlıkça %1 oranında bulunan manyetik aktive karbon, germanyum oksit iz elementi ile tesbit edilmiştir. Ağırlıkça % 6,8 manyetik kısım kazanılmış, bu ürünün % 15,8 inin de manyetik aktive karbon olduğu belirlenmiştir. Mazyck (2004) tarafından yöntemin verileri hakkında bilgi verilmediği, sadece sonuçlara göre bu yöntemin çok daha iyi sonuç verdiği ve çok daha ucuza mal olduğu ifade edilmiştir.

Orhan vd. (2006), kalıcı mıknatıslı rulo tipi kuru manyetik ayırıcılarda iki boyulu tane hareketini ayırık elemanlar yöntemi ile hesaplamışlardır. Bu amaçla yerçekimi, merkezkaç ve manyetik kuvvet etkisi altındaki bir tanenin hareketini hesaplayan

bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Literatürdeki manyetik kuvvet eşitliklerinin yetersizliğinden dolayı deneysel veriler kullanılarak tane boyu ve manyetik alınganlığa bağlı ampirik bir kuvvet eşitliği türetilmiştir. Kopp (1984) eşitliği (33), %0,25, %0,5, %0,75 ve %1 manyetit içeren kaolin hamurlarından yapılmış küp şekilli taneler kullanılarak elde edilen deneysel veriler kullanılarak ampirik bir katsayı ile uyarlanmıştır. Bu sonuçlara göre, ampirik katsayı (c), manyetit içeriğindeki artışla doğru orantılı olarak artan manyetik alınganlık değerinin katları şeklinde artış göstermektedir. Bir seri doğrusal olmayan regresyon işlemi yapılarak Eş.33 aşağıdaki şekle kavuşturulmuştur.

$$F_m = a.e^{d(b-c)}.m.B_0^2.e^{-2.z/t}/\mu_0.t \quad (42)$$

Burada,

$$a = 1.379 \times 10^{-7}$$

$$b = 936.2$$

$$c = 1.867 \times 10^{-4} / \chi$$

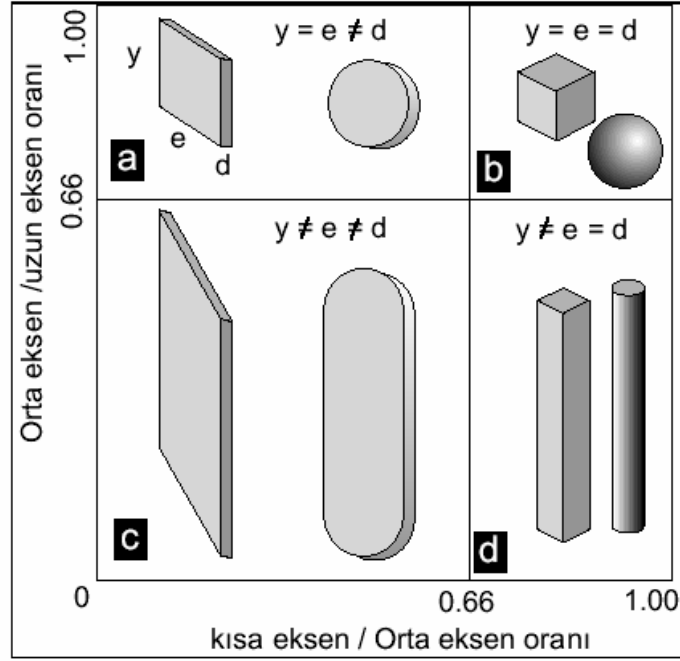
$$d = \text{tane boyu (m)}$$

$$\chi = \text{kütle manyetik alınganlığı (m}^3/\text{kg)}$$

Bu eşitlik, -6,7+4,75 mm boyut aralığındaki manyezit cevheri kullanılarak yapılan testlerle sınanmıştır. Farklı rulo hızlarında çalıştırılan simülatör ile deneysel verilere en az %95 uyum gösteren sonuçlar elde edilmiştir.

#### **2.4. TANE MORFOLOJİSİ VE MANYETİK AYIRMADAKİ ÖNEMİ**

Tane morfolojisi tane şekli, küresellik ve yuvarlaklığı ifade eder (Şekil 2.20). Tane şekli tanenin uzun, orta ve kısa eksenleri arasındaki orana göre belirlenir. Bu oranlara göre dört sınıf tane şekli bulunur, bunlar; disk şekilli, eş eksenli; kübik veya küresel, bıçağımsı ve kalemsi olarak adlandırılırlar. Küresellik, bir tanenin küreye olan benzerliğinin oranıdır. Yuvarlaklık ise altı kategoride sınıflandırılır (Şekil 2.21) ve bir tanenin köşeli olup olmadığı veya köşelerinin ne kadar yuvarlaklaştığının ölçüsüdür (Kaymakçı, 2001).



Şekil 2.20. Tane morfolojisinin dört sınıfı: a) disk şekilli, b) kübik/küresel, c) bıçağımsı, d) kalemsi (Barret, 1980, Kaymakçı, 2001)



Şekil 2.21. Yuvarlaklık sınıfları (Powers, 1953, Kaymakçı, 2001)

Tane morfolojisi pek çok değişkene bağlıdır. Bunların başlıcaları mineralojisi, kaynak kayacın doğası, alterasyon gibi dış faktörler ve üretim aşamalarına gelindiğinde ise madencilik işlemleridir. Cevher zenginleştirme tesisinde kırma ve öğütme yanında su ve sıcaklık gibi faktörler de tanenin şeklini etkileyen değişkenlerdir.

Tane şeklini eksenler ele alınarak tanımlamanın yanı sıra sayısal olarak ifade etmenin gerekliliği üzerine yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Bunlardan uygulamaya aktarımı kolay olan eşitliklerden biri, Wadell küresellik faktörüdür. Wadell (1935)'e göre, küresellik, değerlendirilen tane ile aynı hacme sahip kürenin yüzey alanının, o tanenin yüzey alanına oranı olarak ifade edilmiştir;

$$\Psi_w = (d_v/d_s)^2 \quad (43)$$

$\Psi_w$  = Wadell küresellik faktörü,

$d_v$  = tane ile aynı hacme sahip bir kürenin yüzey alanı,

$d_s$  = tanenin yüzey alanı

Eşitlik 42 ele alınarak küre, küp, disk ve silindir şekilleri için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen küresellik faktörü değerleri Çizelge 2.10 da sunulmuştur.

Çizelge 2.10 Tez çalışmasında hazırlanan öz şekilli tanelerin Wadell Küresellik Faktörü değerleri

ŞEKİL	Wadell Küresellik Faktörü
Küre	1
Silindir	0,74
Küp	0,65
Disk	0,35

Farklı şekil faktörü eşitlikleri incelendiğinde küre ve küp için aynı değer elde edildiği ve bu iki şekil arasındaki farkların ortaya konması amacıyla kullanılmayacağı için yapılacak değerlendirmelerde Wadell Küresellik Faktörü kullanılacaktır.

Manyetik ayırıcılar incelenirken ayrılacak olan tanelerin kendi aralarında olan etkileşimlerin tane şekillerinin ayırımında etkili olan kuvvetlere, manyetik momentlere ve tanelere etkiyen tork üzerinde olan etkilerinin de incelenmesi gerekmektedir. Eski çalışmalarda (Oberteuffer, 1974) tane şekilleri küresel ve küresel olmayanlar şeklinde iki kategoride ele alınmıştır.

Lileg ve Schnizer (1989) homojen bir statik manyetik alan içerisindeki eliptik ve küresel taneler üzerinde yaptıkları ölçümler ve teorik hesaplamalarla tane şeklinin ve tanenin manyetik alan içindeki yönelmesinin etkilerini incelemiştir. Bunun



için eliptik tanenin manyetik moment oranını aynı hacim ve manyetik alınganlığa sahip küresel bir tanenin moment oranı ile karşılaştırmışlar ve tork değerlerini hesaplamışlardır. Bu çalışmanın sonucunda akışkan içindeki ( $\chi = 0$ ) düşük manyetik alınganlık değerine sahip ( $\chi < 0.1$ ) paramanyetik eliptik bir tane ile aynı hacme ve manyetik alınganlığa sahip küresel bir tanenin manyetik momentlerinin çok düşük oranda değiştiği, buna bağlı olarak da tork farkının düşük olduğu, aradaki farkın manyetik alınganlık arttıkça belirgin hale geldiği belirlenmiştir. Ancak, çalışma ferromanyetik maddeleri kapsamadığı için doğrusal olmayan davranış gösteren malzemeler hakkında bir yorum yapılmamıştır.

Kalıcı mıknatıslı rulo tipi kuru manyetik ayırıcılarda tane şeklinin önemi yapılan incelemelerde ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bu önemli parametrenin ayırma olan etkileri de inceleme kapsamına alınmıştır.

### **3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Bu tez kapsamında, nadir toprak elementleri alaşımlı sabit mıknatıslı yüksek alan şiddetli yüksek gradyanlı rulo tipi kuru manyetik ayırıcılarda işlem parametreleri ile ayırım performansı arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla özel olarak hazırlanmış farklı geometrik şekillere ve fiziksel özelliklere sahip taneler kullanılarak bir dizi laboratuvar ölçekli deney gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde, detayları bölüm 3.3.1'de verilen deney düzeneği kullanılarak elde hazırlanmış farklı fiziksel özelliklere sahip tanelerin manyetik ayırıcıyı terk ettikten sonra izledikleri yörüngeler ve bunun sonucunda katettikleri mesafeler incelenmiştir.

Tez kapsamında sürdürülmüş olan deneysel çalışmalarla ilgili ayrıntılı bilgi alt başlıklarda sunulmuştur.

#### **3.1. İncelenen İşlem Parametreleri**

Rulo tipi kuru manyetik ayırıcılarla yürütülen çalışmalarda ayırım performansını etkileyen başlıca işlem parametreleri malzemeye ait parametreler ve manyetik ayırıcıya bağlı parametrelerdir. Bu çalışma kapsamında malzemeye yani manyetik ayırıcıda ayrılacak tanelere ait parametrelerden manyetik alınganlık, tane boyu ve tane şekli ele alınmıştır. Manyetik ayırıcıya bağlı parametrelerden rulo hızının ayırım üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bölücü bıçak konumu, bu deney sisteminde yörüngeye bağlı olarak ölçülen mesafe değerlerine bağlı bir parametre olduğundan, ayrıca test edilen bir parametre değil sonuçlara göre olması gereken durum olarak değerlendirilmiştir. Rulo konfigürasyonu, alan gradyanlarının en yoğun elde edilebildiği ve en küçük numunelerin de etkin bir şekilde ayrılabilirdiği 4 mm mıknatıs: 1 mm -çelik diziliminde gerçekleştirilmiştir.

### 3.1.1. Malzemeye Ait İşlem Parametreleri

Tez çalışması kapsamında malzemeye bağlı işlem parametreleri olarak tanelerin şekli, boyutları ve manyetik alınganlıklarının ayırım performansına etkileri incelenmiştir.

Bu amaçla, Matel A.Ş.'den temin edilen kaolin ve Türkiye Demir Çelik İşletmeleri A.Ş.'den temin edilen manyetit numuneleri kullanılarak yapay kaolin-manyetit karışımları hazırlanmıştır. Kaolin ve istenen manyetik alınganlığın elde edilebileceği miktarda manyetit kuru olarak karıştırılarak homojen hale getirilmiş, bu karışımlar su eklenerek deney numunelerinin hazırlanacağı çamurlar elde edilmiştir.

Ön çalışmalar kapsamında manyetit içeriği ağırlıkça % 0,1 ile % 20 arasında değişen oranlarda manyetit içeren kaolin hamurları elle kontrol edilerek istenen plastikliğe geldikleri anlaşıldıktan sonra kurutma sıcaklığının belirlenmesi ve manyetik alınganlıklarının ölçülebilmesi için numuneler alınmıştır. Elde hazırlanan karışımların manyetik alınganlıkları Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Analiz Laboratuvarında bulunan MSB Mk I model manyetik alınganlık ölçer (Sherwood Scientific Ltd.) kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.1).



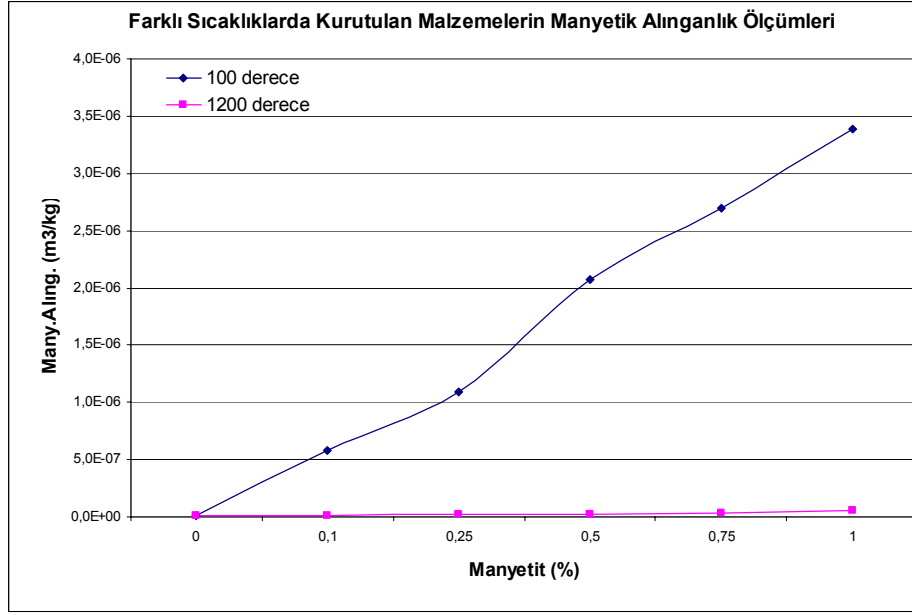
Şekil 3.1. Karışımların manyetik alınganlıklarının ölçümünün yapıldığı MSB Mk 1 manyetik alınganlık ölçer ve ölçüm tüpleri

Elde hazırlanacak tanelerin düşme ve çarpmadan etkilenip kolayca kırılmamaları için kurutma sıcaklığının belirlenmesi amacıyla kaolin-manyetit çamurlarından hazırlanmış bazı öz şekilli ve öz şekilsiz tanelere 100 °C’de kurutma ve 1200 °C’de pişirme işlemi yapılmıştır. Her bir karışımı temsil eden numuneler kurutulduktan sonra porselen havanda öğütülmüş ve manyetik alınganlıkları ölçülmüştür.

Manyetik alınganlık ölçümlerinden elde edilen değerler Çizelge 3.1’ de ve Şekil 3.2’de sunulmuştur. Elde edilen manyetik alınganlık değerlerinin karşılık geldiği bazı örnek mineraller Çizelge 3.1’e eklenmiştir. Manyetik alınganlık ölçümlerinde % 1’den daha yüksek manyetit içeriğine sahip taneler için sürekli aynı değerler okunduğundan, bu değer üst sınır olarak alınmıştır.

Çizelge 3.1. Farklı kaolin-manyetit içeriğine sahip yapay karışımların manyetik alınganlıklarının sıcaklığa bağlı değişimi ve 100 °C de kurutma ile elde edilen manyetik alınganlık değerlerine sahip olan minerallere örnekler (Thompson ve Oldfield.,1986)

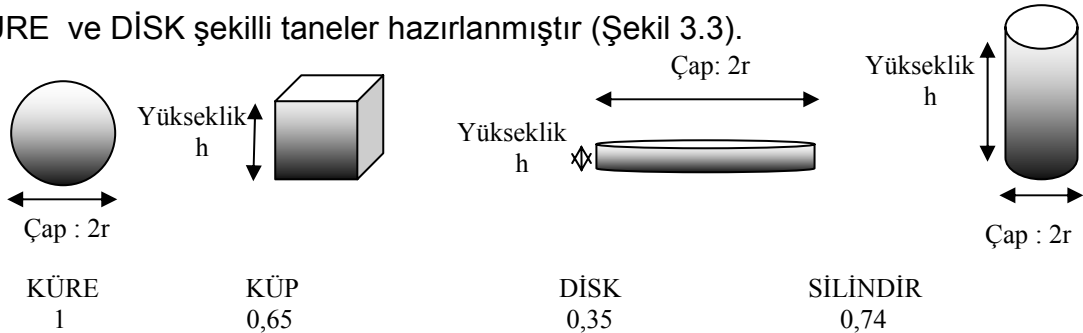
Manyetit İçeriği	Kütle Manyetik Alınganlığı (*10 <sup>-8</sup> m <sup>3</sup> /kg)		100 °C de kurutma ile elde edilen manyetik alınganlık değerlerine sahip olan örnek mineraller
	1200 °C	100 °C	
%0	1,40	1,21	Kaolin, Kalsit
%0,1	1,57	39,5	Limonit
%0,25	1,69	109	Siderit
%0,5	2,24	187	Götit
%0,75	3,44	288	Hematit
%1	5,90	345	İlmenit



Şekil 3.2. Farklı kaolin-manyetit içeriğine sahip yapay karışımların manyetik alınganlıklarının sıcaklığa bağlı değişimi

Hazırlanan tanelere çarpmaya karşı dayanım kazandırmayı amaçlayan yüksek sıcaklıklarda pişirme işlemi, tanelerin manyetik alınganlıklarını çok etkilemiştir. Her bir tane 1200 °C'de çok yüksek dayanım kazanmışlardır. Ancak, çok yüksek sıcaklıkta Curie Yasası uyarınca manyetikliklerini kaybettikleri için kullanılmamışlardır. 100 °C de kuruyan tanelerin dayanımı 1200 °C de bekletilen taneler kadar yüksek olmamasına rağmen, deneyler sırasında kırılıncaya kadar tekrar kullanıldıklarında bile, ağırlıklarının değişmediği belirlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında farklı şekillerde ve farklı büyüklüklerde hazırlanan tanelerin tamamının 100 °C de kurutulması kararlaştırılmıştır.

Kaolin-manyetit karışımlarından oluşan hamurlar kullanılarak KÜP – SİLİNDİR – KÜRE ve DİSK şekilli taneler hazırlanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Kaolin-manyetit karışımlarından hazırlanan öz şekilli taneleri temsil eden şekiller ve geometrik bileşenleri ve Wadell Küresellik Faktörü Değerleri

Farklı şekillere sahip deney numunelerinden bazılarının resimleri Şekil 3.4'de sunulmuştur.



Şekil 3.4. a) Küre şeklinli ve farklı tane boyu aralıklarındaki deney numuneleri



Şekil 3.4. b) Küp şeklinli ve farklı tane boyu aralıklarındaki deney numuneleri



Şekil 3.4. c) Silindirik şeklinli ve farklı tane boyu aralıklarındaki deney numuneleri



Şekil 3.4. d) Disk şeklinli ve farklı tane boyu aralıklarındaki deney numuneleri

Farklı manyetit içeriğine ve şekle sahip tanelerin boyutları yaklaşık 0,02 cm ile 4,5 cm (nominal çap) arasında değişmekte, boyuta bağlı olarak da ağırlıkları 0,01 gr ile 6,5 gr arasında değişmektedir. Hazırlanan tanelerin boyutları Çizelge 3.2.'de listelenmiştir. Çizelge 3.2 'de boyutları verilen her bir tanenin ağırlık ve geometrik ölçülerine göre dahil oldukları tane boyu aralıkları belirlenmiştir. Bunun için, her bir tane boyu aralığının geometrik ortalaması bir kürenin çapı olarak alınmıştır. Yoğunluğu ve çapı belli olan kürelerin ağırlıkları hesaplanmış ve bu değerler, diğer şekillerin de ağırlıkları olarak alınmıştır. Ağırlığı ve yoğunluğu belirlenen tüm tanelerin hacimleri ve buna göre geometrik ölçüleri, hacim ve yüzey alanı eşitliklerinden hesaplanmıştır.

Çizelge 3.2. Kaolin-manyetit karışımlarından hazırlanan farklı şekilli tanelerin boyutları

FARKLI ŞEKİLLERDEKİ TANELERİN BOYUTLARI						
Tane Boyu (mm)	KÜRE		DİSK		SİLİNDİR	
	Çap (mm)	Küp Kenar uz.(mm)	Çap(mm)	Yükseklik(mm)	Çap (mm)	Yükseklik(mm)
22,4	20,63	16,6	32,7	5,5	15,7	23,6
19,0	17,43	14,1	27,7	4,6	13,3	20,0
16,0	14,53	11,7	23,1	3,8	11,1	16,6
13,2	12,84	10,4	20,4	3,4	9,8	14,7
12,5	11,83	9,5	18,8	3,1	9,0	13,5
11,2	10,31	8,3	16,4	2,7	7,9	11,8
9,5	8,71	7,0	13,8	2,3	6,7	10,0
8,0	7,32	5,9	11,6	1,9	5,6	8,4
6,7	6,49	5,2	10,3	1,7	5,0	7,4
6,3	5,93	4,8	9,4	1,6	4,6	6,8
5,6	5,15	4,2	8,2	1,4	3,9	5,9
4,75	4,35	3,5	6,9	1,2	3,3	5,0
4,0	3,66	3,0	5,8	1,0	2,8	4,2
3,35	3,06	2,5	4,9	0,8	0,23	3,5
2,8	2,57	2,1	4,1	0,7	2,0	2,9
2,36	2,17	1,8	3,4	0,6	1,7	2,5
2,0	1,84	1,5	2,9	0,5	1,4	2,1
1,7	1,54	1,2	2,4	0,4	1,2	1,8
1,4	1,28	1,0	2,0	0,3	1,0	1,5
1,18	1,08	0,9	1,7	0,3	0,8	1,2

Bu karışımlardan elde farklı şekillere sahip, farklı tane boylarında taneler hazırlanmış ve belirlenen şartlarda manyetik ayırıcıdan ayrıldıktan sonra katettikleri mesafeler ölçülmüştür.

### 3.1.2. Ekipmana Bağlı Parametreler

Manyetik ayırıcının performansına etki eden parametrelerden bant kalınlığı ve rulo konfigürasyonu sabit tutulmuştur. Çalışma kapsamında, farklı manyetik alınganlık, şekil ve boyutlardaki tanelerin rulo hızı değiştirilerek manyetik ayırıcıdan ayrılmaları hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre de bölücü bıçak konumu da değerlendirilmiş olacaktır.

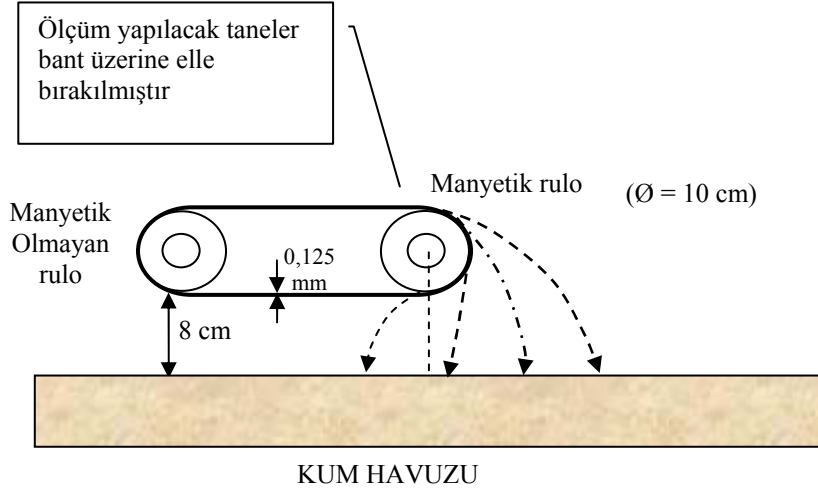
Her bir tane ince mıknatıs diziliminde bant üzerine bırakılmış ve farklı rulo hızlarında (45 – 90 – 135 – 185 – 215 devir/dk) katettikleri mesafeler tekrarlı olarak ölçülmüştür. Ölçümlerde tekrar sayıları, tanelerin menzillerinin değişiklikler göstermesine ve ölçümler sırasında tanelerin kırılmasına bağlı olarak 3 ila 12 arasında değişmiştir. Tüm tekrarlı sonuçlar kaydedilmiş, değerlendirmede ise tanenin katettiği ortalama değerler kullanılmıştır. Tekrar sayısının artırılması gerektiği halde, ölçüm yapılan tane birkaç ölçümde kırıldıysa ya ona en yakın ağırlığa sahip yedek bir tane kullanılmış, yedek tane yoksa da elde edilen deneysel verilerin yeterliliği gözetilerek elde edilen ölçümler kabul edilmiştir.

### 3.1.3. Deney Düzeneği

Tez çalışması kapsamında yürütülen deneysel çalışmalar için Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarı'nda bulunan rulo tipi kuru manyetik ayırıcı (Permroll®) kullanılmıştır. Ekipmanın bölücü bıçaklarını da taşımakta olan malzeme hazneleri sökülmüş, tanelerin içine düşebilecekleri ve düştükleri noktanın tespit edilebileceği bir kum havuzu ekipmanın altına yerleştirilmiştir.

Şekil 3.5.' de çalışma düzeneği ve düzenek üzerinde yapılan geometrik ölçümler gösterilmiştir.





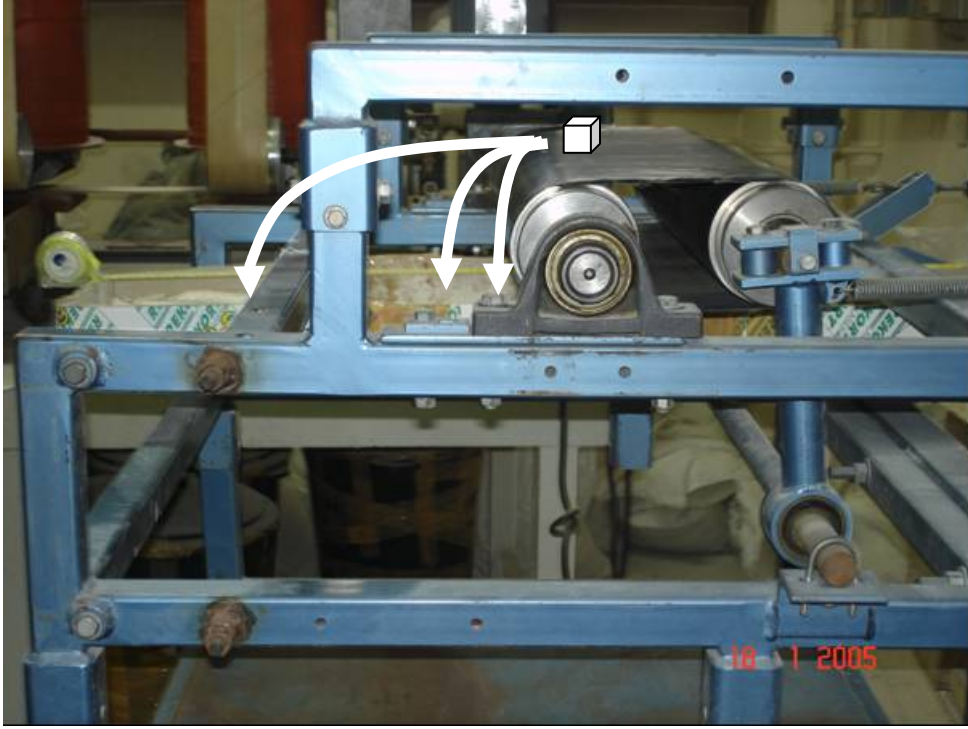
Şekil 3.5. Test düzeneğinin geometrik ölçümleri

Bu ölçümler, tanelerin yörüngelerinin ve kopma açılarının belirlenmesi çalışmalarında kullanılmıştır.

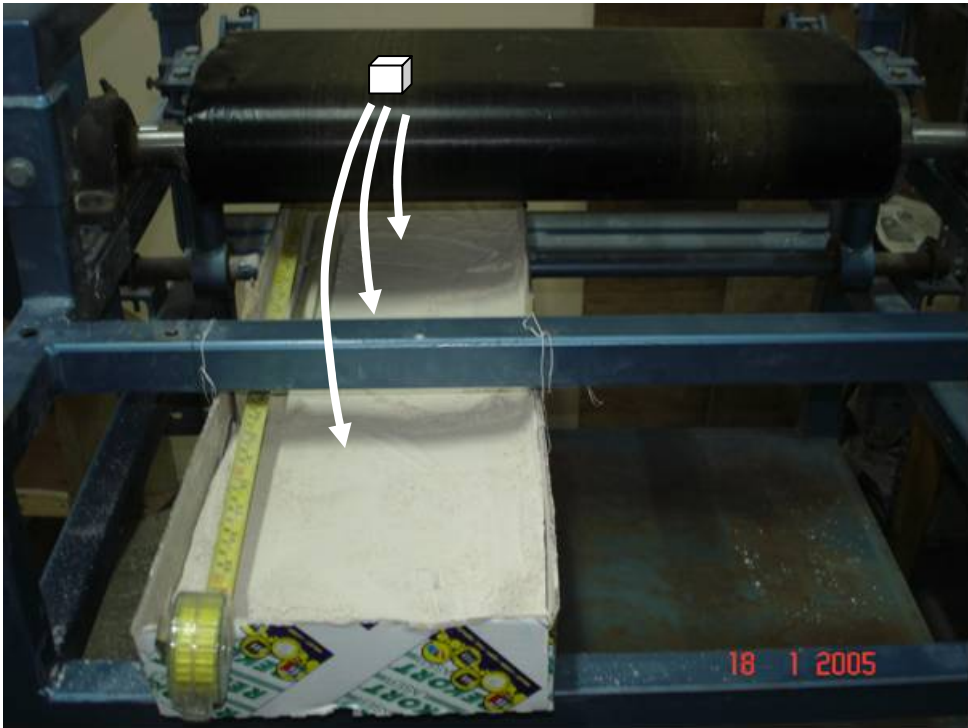
Şekil 3.6 'da da çalışma düzeneği ve ekipmanın fotoğrafları sunulmuştur.



Şekil 3.6. Deney düzeneğinin önden görünümü



Şekil 3.7. Deney düzeneğinin yandan görünümü



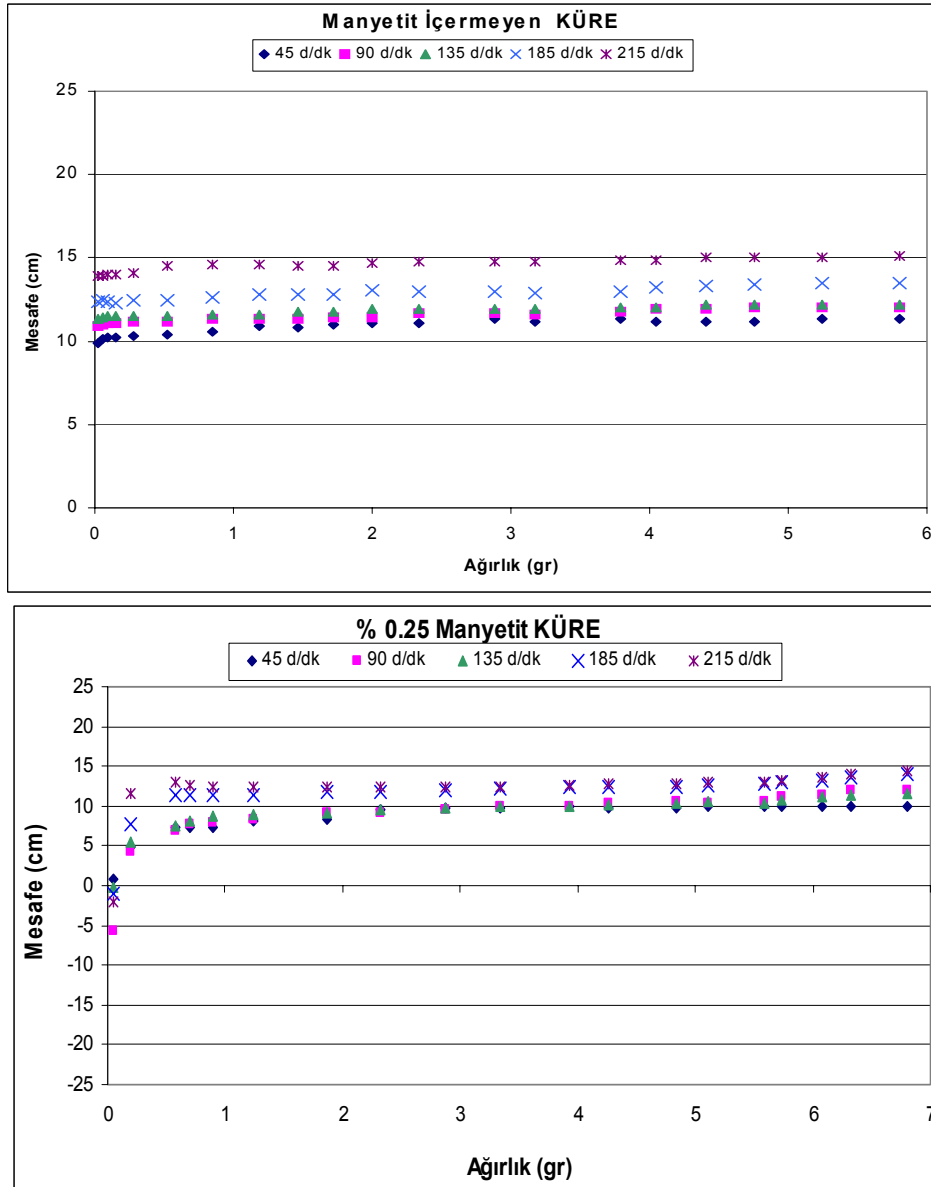
Şekil 3.8. Rulodan ayrılan tanelerin üzerine düştüğü kum havuzu ve tanelerin katettikleri mesafe ölçümlerinin yapıldığı düzenek

Taneler, manyetitsiz (% 100 kaolin) ve iri tane boylarından başlanarak 4 mm mıknatıs : 1 mm çelik dizilimli rulo üzerine gelecek şekilde bandın üzerine elle bırakılmış ve sıkıştırılmış silis kumunun yüzeyine düştükleri noktanın uzaklığı tekrarlı olarak ölçülmüştür. Tanelerin kattetikleri mesafeler, rulo merkezinin izdüşümü sıfır noktası olacak şekilde, rulodan uzağa fırlatılan taneler için pozitif ve manyetik ürün kısmına düşen taneler için de negatif mesafe değerleri olarak kaydedilmiştir. Küp, küre ve disk şekilli tanelerden farklı olarak silindir şekilli taneler hem manyetik rulo eksenine paralel, hem de rulo eksenine dik ekseninde hareket edecek şekilde bant üzerine bırakılmışlardır. Bu sayede mıknatıs-rulo dizilimine bağlı olarak silindir şekilli tanelerin manyetik alan gradyanlarına farklı yönlerde maruz kalmalarının kattetikleri mesafeler üzerindeki etkileri incelenebilmiştir.

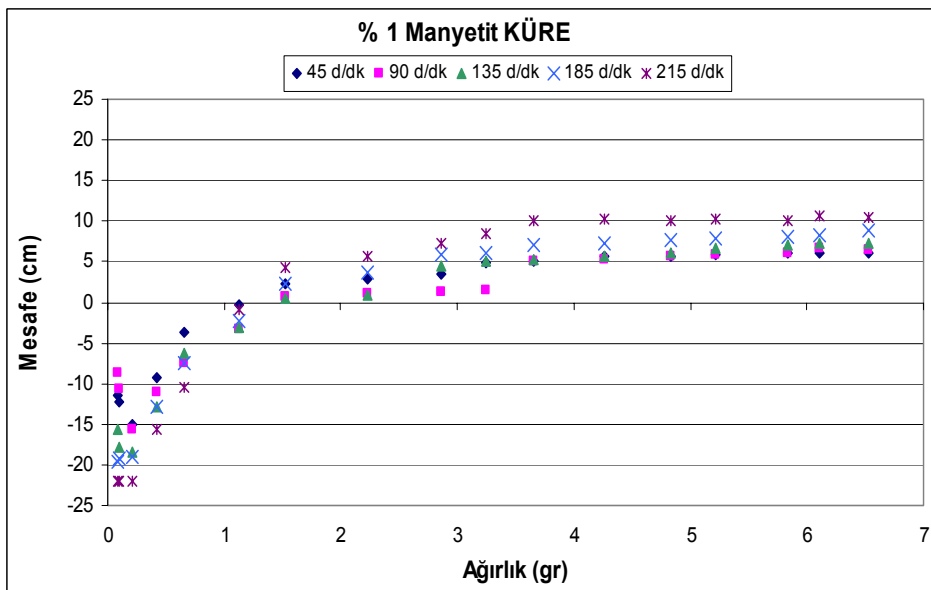
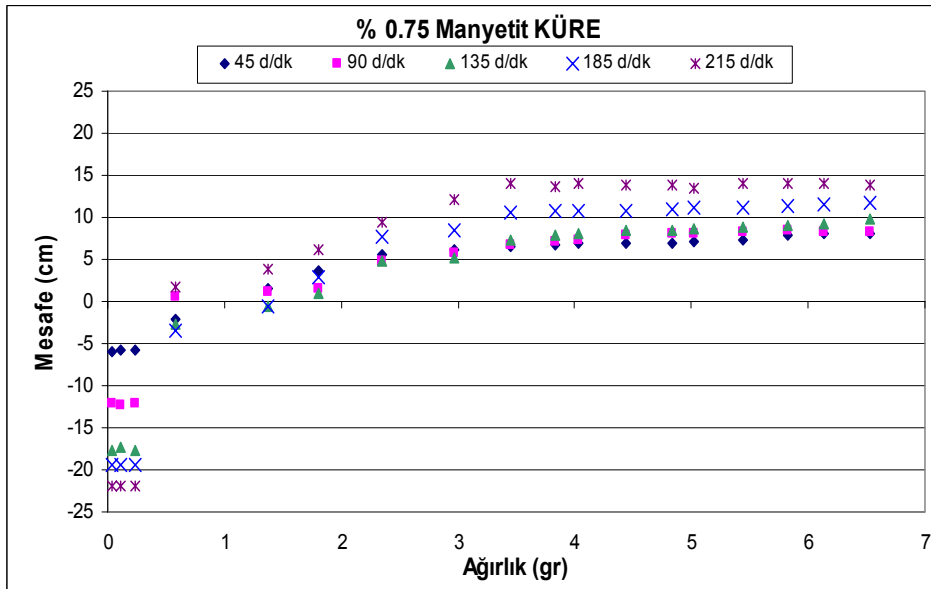
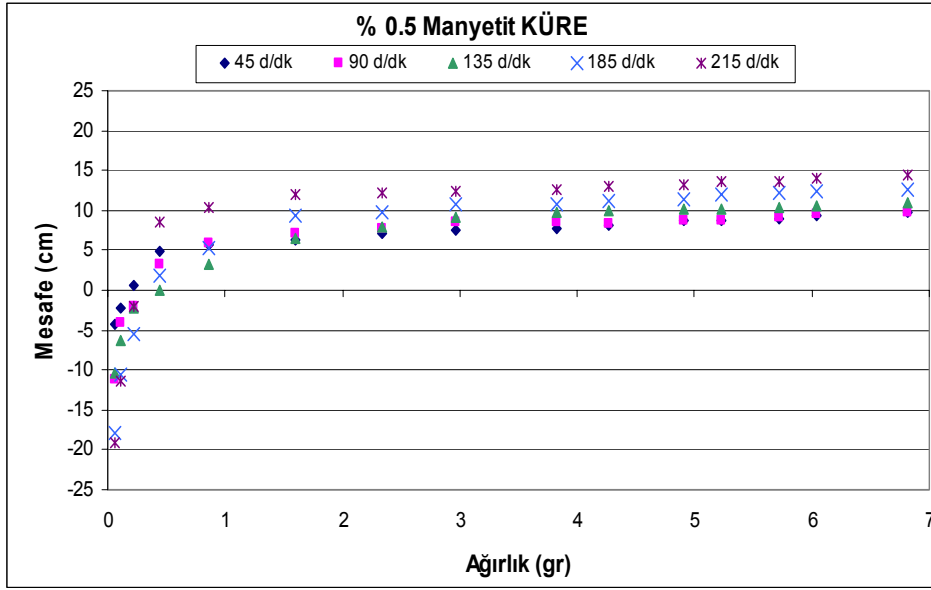
## 4. DENEYSEL SONUÇLAR

### 4.1. Deneysel Sonuçların Her Şekil İçin Ayrı Ayrı İncelenmesi

Çalışma kapsamında elde edilen ham verilerin değerlendirilmesi sırasında ilk olarak tanelerin ağırlıkları temel alınmıştır. Tanelerin katettikleri mesafeler manyetik alınganlık-şekil-rulo hızı ve ağırlıklardaki değişimlere göre Şekil 4.1'deki grafiklerde değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı manyetit içeriklerine sahip küre şekilli tanelerin katettikleri mesafelerin tane ağırlığı ile değişimi



Şekil 4.1. Devam ediyor

Deneyisel verilerin ilk değerlendirmesinde özellikle farklı ağırlıktaki tanelerin işlem değişkenlerine bağlı olarak savrulma sonucunda hemen hemen aynı noktalara dūřtükleri belirlenmiştir. Bu nedenle birbirine yakın ağırlığa sahip olan ve banttandırıldıktan sonra benzer yörünge izleyen tanelerin tek bir boyut grubu içinde değerlendirilmesine karar verilmiştir. Böylece, ayırım performansına tane şeklinin etkisinin incelenmesi için tane ağırlığının yerine değerlendirmeler tane boyu esas alınarak yapılmıştır. Bu sayede farklı fiziksel özelliklere sahip tanelerin ve incelenen işlem değişkenlerine bağlı olarak katettikleri mesafelerin standart bir şekilde karşılaştırılabilmesi ve ileride yürütülecek modelleme çalışmalarına tane ağırlığı yerine tane boyunun temel teşkil edeceği dūřünülmüřtür.

Bu amaçla, Çizelge 3.2 'de boyutları verilen her bir tanenin ağırlık ve geometrik ölçülerine göre dahil oldukları tane boyu aralıkları belirlenmiştir. Bunun için, her bir tane boyu aralığının geometrik ortalaması bir kürenin çapı olarak alınmıştır. Yoğunluğu ve çapı belli olan kürelerin ağırlıkları hesaplanmış ve bu değerler diğer tane şekillerinin de ağırlıkları olarak alınmıştır. Ağırlığı ve yoğunluğu belirlenen tüm tanelerin hacimleri ve buna göre geometrik ölçüleri hesaplanmıştır. Buna göre tanelerin sahip oldukları ağırlıklar ve ait oldukları tane boyu aralıkları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

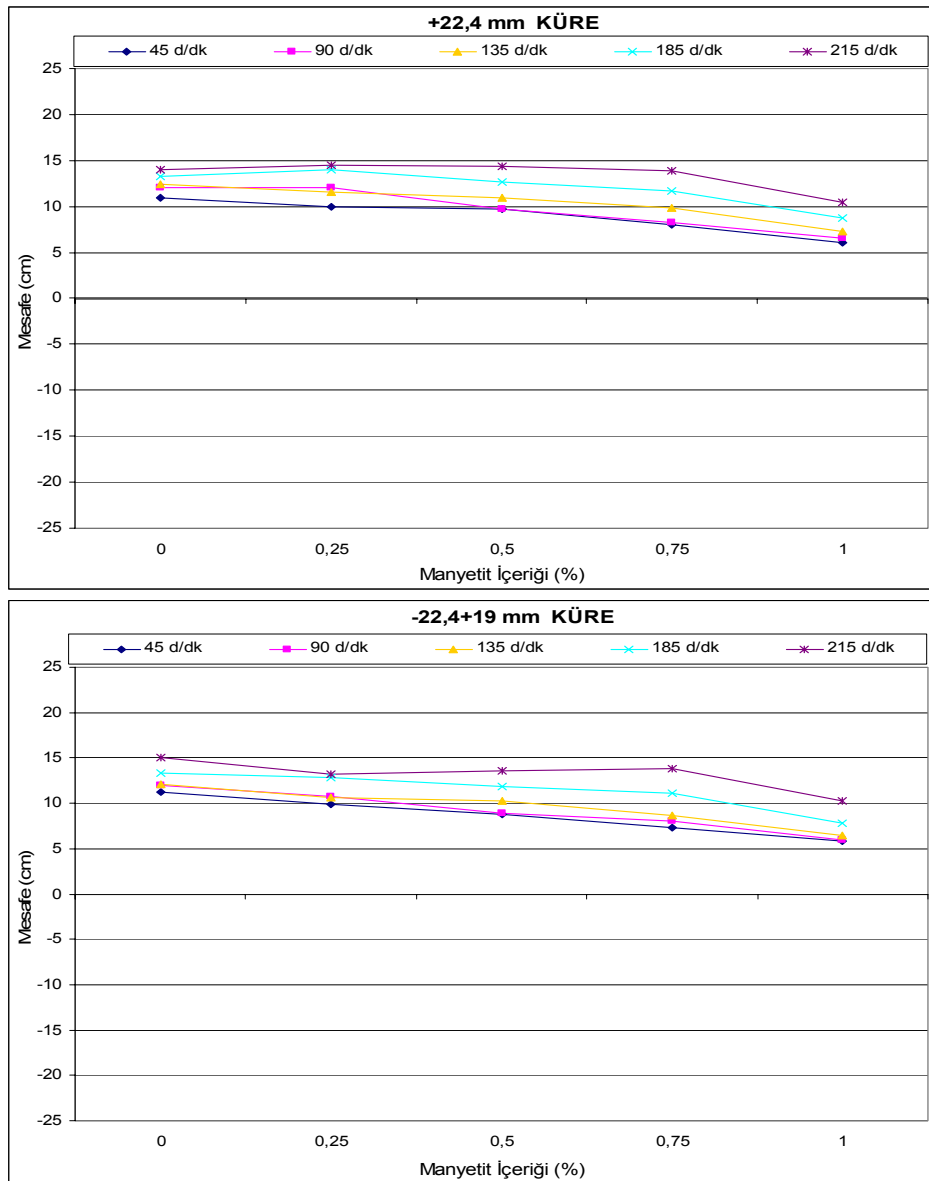
Çizelge 4.1. Çalışma kapsamında hazırlanan özşekli tanelerin şekil ve ağırlıklarına göre dahil oldukları tane boyu aralıkları

Tane Ağırlığı Aralıkları (gr)	Tane Boyu Aralığı (mm)
+6,0	+22,4
-6,0 +4,2	-22,4 +19
-4,2 +2,5	-19 +13,2
-2,5 +0,96	-13,2 +9,5
-0,96 +0,32	-9,5 +6,7
-0,32 +0,12	-6,7 +4,75
-0,12	-4,75

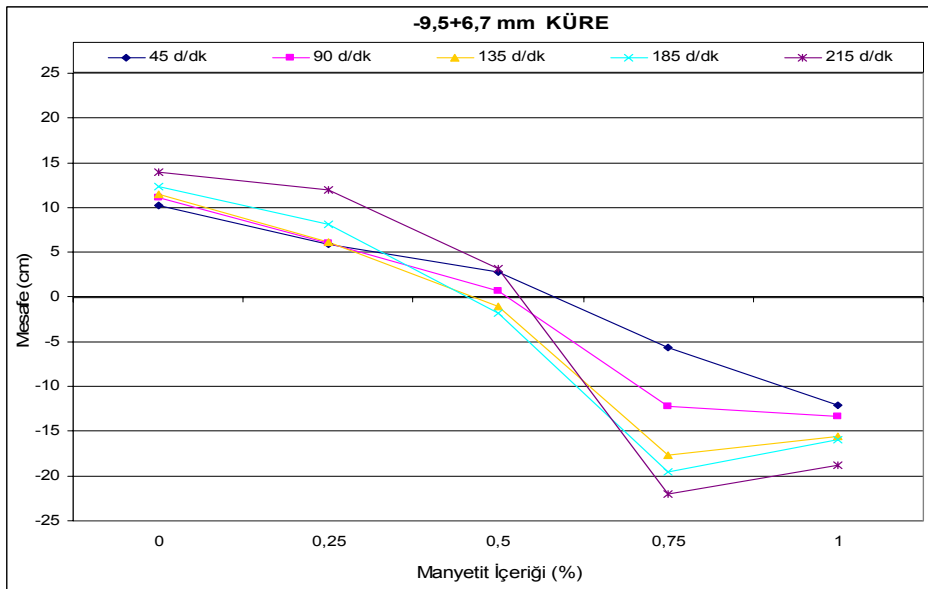
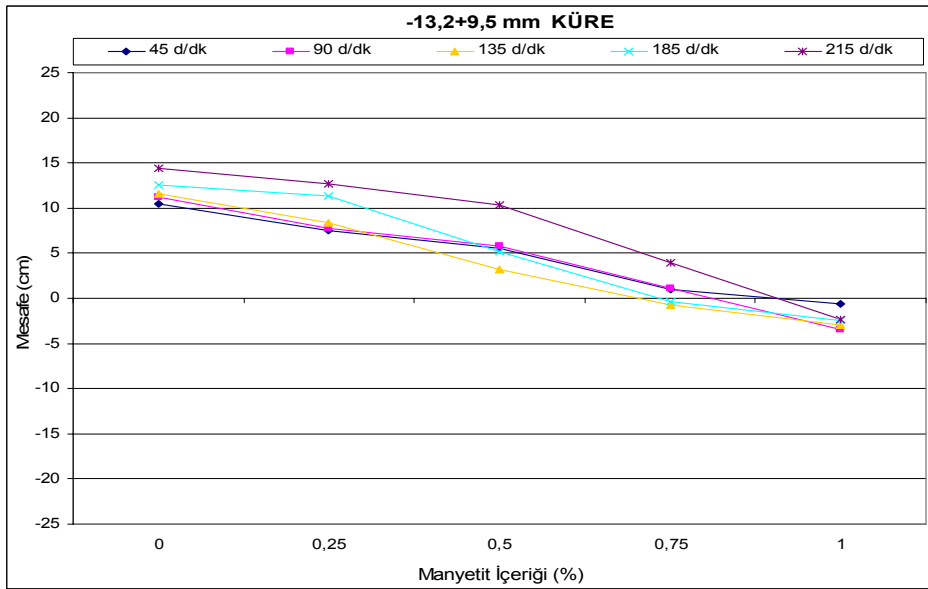
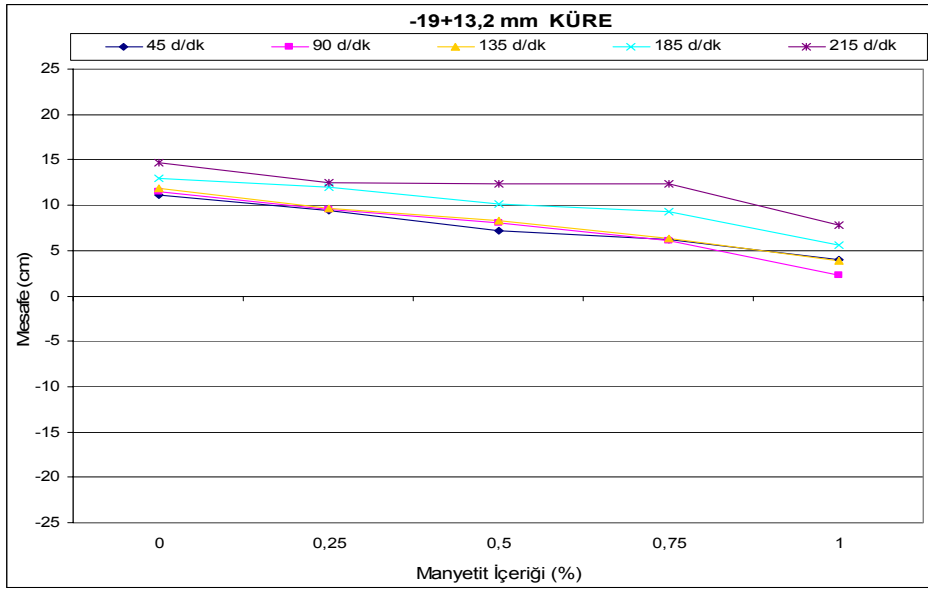
Bu aşamadan sonra tüm veriler farklı tane boyu aralıkları için düzenlenmiş ve işlem değişkenlerinin farklı şekil, tane boyu ve manyetit içeriğine sahip tanelerin katettikleri mesafeler üzerindeki etkileri her bir şekil için ayrı ayrı incelenmiştir.

#### 4.1.1. Küre Şekilli Taneler

Küre şekilli tanelerin rulo hızı, manyetik alınganlık ve tane boyu değişimine bağlı olarak manyetik rulodan koptuktan sonra katettikleri mesafelerin değişimi değerlendirilmiştir. Şekil 4.2.'de farklı tane boyu aralıklarındaki küre şekilli tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin manyetit içeriğine bağlı değişimleri verilmiştir.

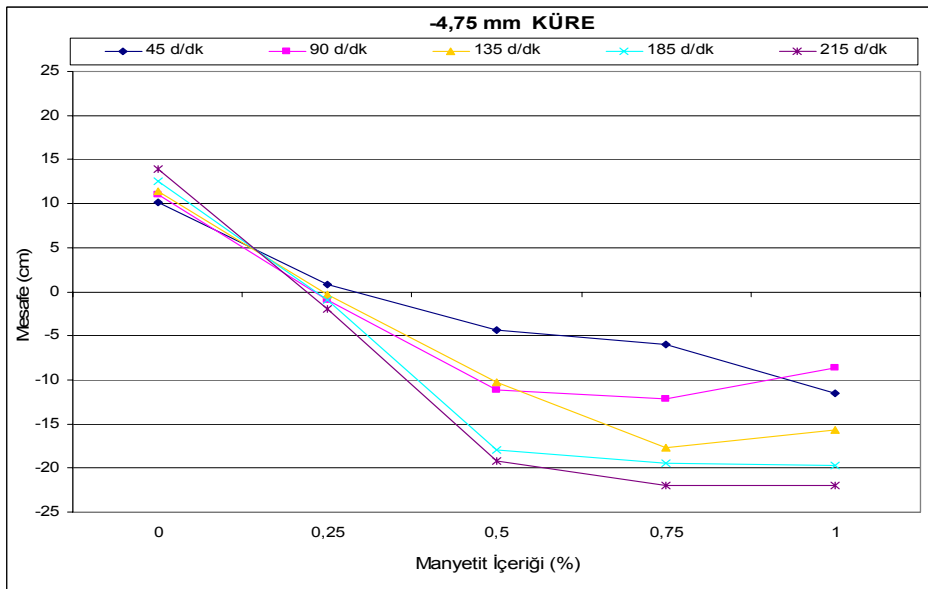
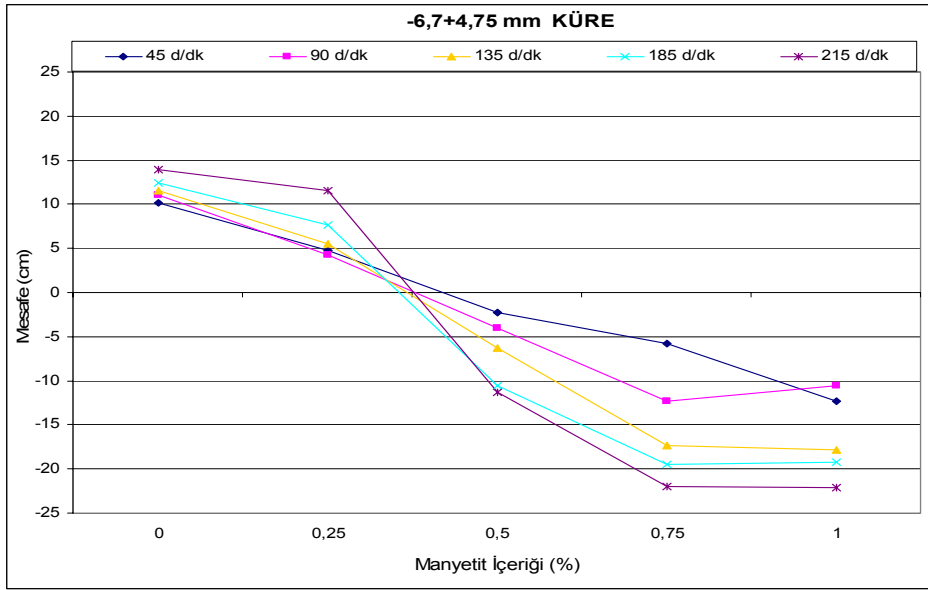


Şekil 4.2. Farklı tane boylarındaki küre şekilli tanelerin artan rulo hızına bağlı olarak katettikleri mesafelerin manyetit içeriği ile değişimi



Şekil 4.2. Devam ediyor





Şekil 4.2. Devam ediyor

Küre şekilli tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafeler üzerine manyetit içeriğinin etkisi tane boyu küçüldükçe daha çok ortaya çıkmaktadır. En iri boy olan +22,4 mm fraksiyonundaki küre şekilli tanelerden manyetit içermeyenler en düşük rulo hızında 11 cm mesafe katederken rulo hızı arttıkça mesafe 14,5 cm'ye yükselmektedir. En yüksek manyetik alınganlığa sahip taneler ise 45 d/dk hızında 6,5 cm mesafe katetmişken rulo hızı 215 d/dk'ya yükseldiğinde mesafe 10,5 cm olmaktadır. Manyetit içeriğine bağlı olarak katedilen mesafeler % 0,75 manyetit içeriğinden itibaren azalmaya başlamakta ve % 1'lik manyetit içeriğinde belirgin bir şekilde düşmektedir. -22,4 +19 mm ve -19 +13,2 mm fraksiyonlarında benzer

davranımlar gözlenmekte, ancak yüksek manyetit içeriği ve rulo hızı değerlerinde katedilen mesafelerin azalmaya başladığı görölmektedir. -13,2 +9,5 mm lik taneler incelendiğinde katedilen mesafelerin manyetit içeriğinden daha net bir şekilde etkilendiği, % 0,75'lik manyetit içeriğinden itibaren mesafelerin negatif değerler almaya başladığı ve % 1 manyetit içerikli tanelerin tamamen manyetik rulo tarafından tutuldukları anlaşılmaktadır. -22,4 mm ile -13,2 +9,5 mm fraksiyonları arasındaki tüm tanelerin manyetik çekim kuvvetinden benzer şekilde etkilendikleri, rulo hızının etkisi ile aynı alınganlıkları taneler arasında net bir ayırım oluşmadığı görölmektedir.

Tane boyu küçüldükçe katedilen mesafelerin % 0,5 manyetit içeriğinden itibaren negatif değerler almaya başladığı, en ince tane boyundaki tanelerin % 0,25 manyetit içeriğinden itibaren tamamen manyetik rulo tarafından tutuldukları belirlenmiştir. Rulo hızının etkisi ile özellikle % 0,75 ve tane boyu küçüldükçe % 0,5 manyetit içeriklerinde tanelerin katettikleri mesafeler arasındaki farklar büyümüştür.

Küre şekilli taneler küçüldükçe manyetik alınganlık farkına göre katedilen mesafeler arasındaki fark büyümektedir. İri taneler beslendiğinde özellikle manyetik alınganlık değeri düşükse ayırım zorlaşmaktadır. Taneler arasındaki alınganlık farkının yüksek olması durumunda ise bant hızının mümkün olduğunca yüksek tutulması gerekmektedir.

Küre şekilli taneler, bant üzerinde noktasal bir temas yüzeyine sahiptir. Bant ve tane arasındaki temas yüzeyinin küçüklüğü, aradaki sürtünmenin de küçük kalmasına yol açar. Ölçümler sırasında bant üzerindeki küre şekilli tanelerin rulodan aksi yönlerde hareket ettikleri gözlenmiştir.

Manyetit içermeyen yani en düşük manyetik alınganlığa sahip olan küresel tanelerin tamamı merkezkaç kuvvet etkisi altında kalmakta ve rulodan pozitif yönde uzağa savrulmaktadır. Rulo hızı arttıka merkezkaç kuvvetin değeri de büyümekte, böylece her bir tanenin katettiği mesafe de büyümektedir. Tane boyu büyüdükçe artan rulo hızı ile katedilen mesafeler de bir miktar artış kaydedilmiştir.

Manyetit içeriği % 0,25'e yükseldiğinde manyetik çekim kuvvetinin -4,75 mm'lik en ince taneleri etkileyerek ruloya yakın pozitif ve sonra artan rulo hızlarında negatif mesafe değerleri almaktadır. Rulo hızı arttıkça iri tanelerin ince tanelerden daha uzağa savruldukları görölmektedir. -6,7 +4,75 mm ve -9,5 +6,7 mm fraksiyonları benzer davranım göstermektedir. Düşük rulo hızlarında ruloya iri tanelerden daha yakın mesafelere düşmekte, rulo hızı arttıkça rulodan daha büyük oranda uzaklaşmaktadır. İri taneler ise düşük hızlarda rulodan uzak mesafelere düştükleri halde, artan rulo hızlarında boyutları ve ağırlıkları nedeniyle yerçekimi kuvvetinden daha fazla etkilenmekte ve katettikleri mesafeler ince tanelerden daha az oranda artmaktadır.

Boyuta bağlı ayırım, manyetit içeriği arttıkça ortaya çıkmaktadır. %0,5 manyetit içeren taneler düşük rulo hızlarından itibaren boyutlarına göre farklı mesafelere savrulmaktadır. Bu tanelerden -19 +13,2 mm ve daha iri fraksiyonlardaki tanelerin 45 d/dk rulo hızında 7 ila 10 cm olan mesafeleri rulo hızı arttıkça benzer şekilde artmakta ve 215 d/dk rulo hızında 12 ila 14,5 cm'e ulaşmaktadır. -13,2 +9,5 mm fraksiyonundaki taneler rulo hızının yanında manyetik çekimden de etkilenmekle birlikte yüksek rulo hızlarında iri taneler gibi savrulmaktadır. Bir sonraki fraksiyon olan -9,5 +6,7 mm lik tanelerin manyetik çekim kuvvetinden daha fazla etkilendikleri, ancak çok yüksek hızlarda merkezkaç kuvvet etkisinde kaldıkları anlaşılmaktadır. Daha ince boylardaki taneler arasında ise aldıkları negatif değerler bakımından bir fark görölmektedir.

Yüksek manyetik alınganlığa sahip eş büyüklükteki tanelerin benzer davranım gösterdikleri, ancak alınganlık arttıkça tanelerin ruloya daha yakın noktalara düştükleri görölmektedir. Orta büyüklükteki tanelerden -13,2+9,5 mm fraksiyonundaki taneler ruloya en yakın noktalara düşmekte, daha iri taneler rulodan pozitif yönde, daha ince taneler de negatif yönde artan mesafeler katetmektedir. Aradaki fark en yüksek rulo hızında en büyük değerlere ulaşmaktadır.

Alınganlıktaki artışla tane boyu çok yakın ilişkilidir. Özellikle çalışılan alınganlık değerleri için hazırlanmış olan iri tane boylarında farklı alınganlık değerleri ayırımı kolaylaştırmamıştır. Alınganlığı düşük tanelerin inceleme aralığında tane

boyundan bağımsız olarak davrandıkları söylenebilir. Alınganlık artmaya başladığında ise tane boyunun etkisi ortaya çıkmaktadır.

Farklı tane boylarındaki manyetit içermeyen küre şekilli taneler için boyutun fırlatma mesafesine etkisinin olmadığı görülmektedir. Rulo hızı arttıkça katedilen mesafeler büyüse de tanelerin birbirinden ayrılabilceği koşullar elde edilememektedir. Küre şekilli tanelerin bant ile temasları noktasaldır, bu yüzden tane yüzeyi-bant arasında eşit sürtünme kuvveti mevcuttur. Bant hareketi, tanelerin tamamında aynı eylemsizliğe neden olmakta, böylece katedilen mesafeler birbirine çok yakın olmaktadır.

Bu davranış manyetit içeriği arttıkça değişmekte, özellikle -13,2 +9,5 mm den daha ince tanelerin özellikle yüksek hızlarda iri tanelerden ayrılabilcekleri görülmektedir. Yüksek alınganlık değerlerine sahip ince taneler rulo hızı arttıkça büyüyen fakat birbirine çok yakın mesafelere düşmektedir. En yüksek rulo hızında en iri tane ile en ince tanenin katettikleri mesafeler arasında 33 cm'e ulaşan bir fark oluşmaktadır. Bu fark, 45 d/dk rulo hızında 18 cm'dir.

Küre şekilli tanelerin manyetik alınganlıkları arttığında boyuta göre bir sınıflandırmanın meydana geldiği görülmektedir. Bu da özellikle manyetik alınganlığı yüksek tanelerin mevcudiyetinde sınıflandırılmış besleme kullanılmasının zorunluluğunu ortaya koymaktadır.

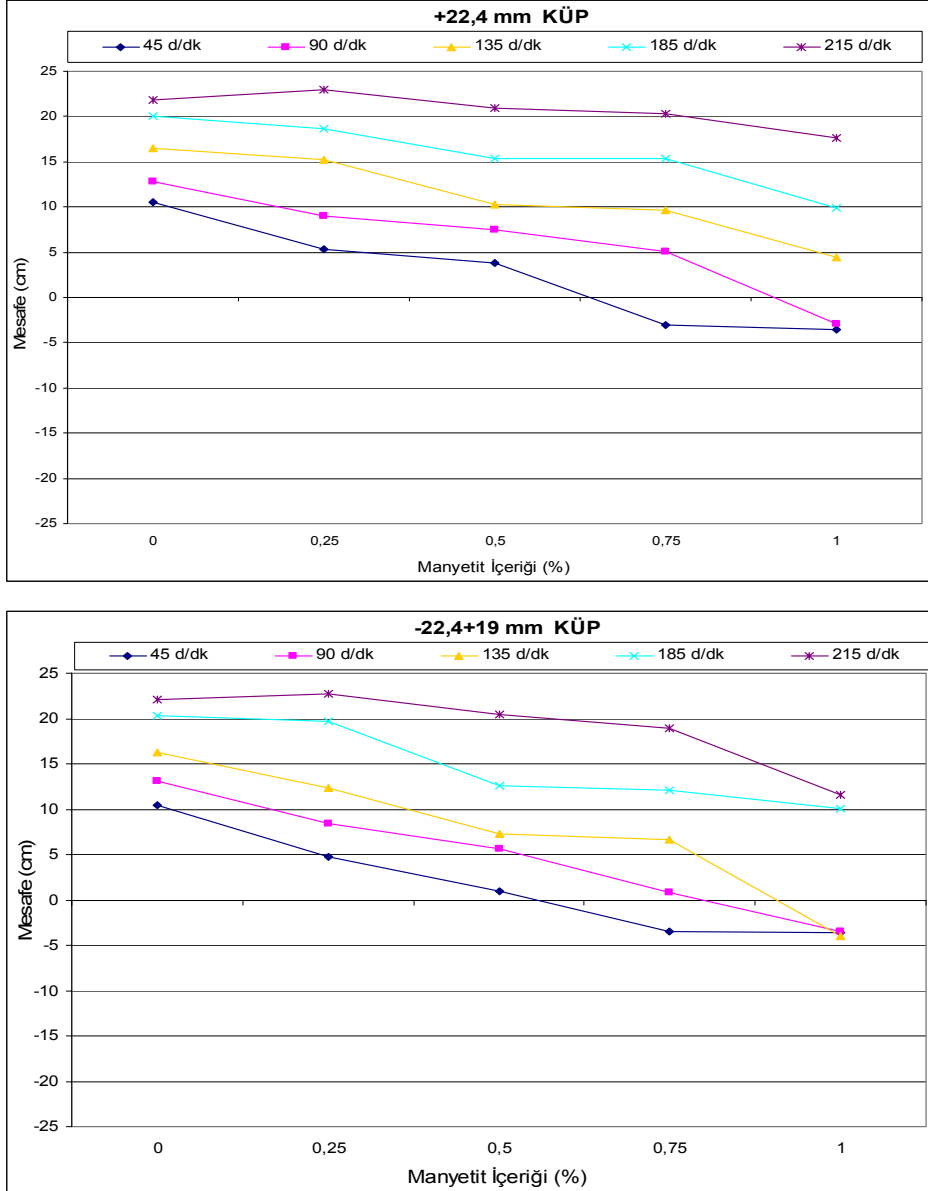
Taneler arasındaki alınganlık farkı büyüdükçe bant hızının yüksek tutulması ayırımın kolaylaşmasını sağlayacaktır.

Çalışma aralığında manyetik alınganlık artışı iri tane boylarında ayırım üzerinde etkili olmamıştır. Çok küçük olmakla birlikte bant hızındaki artış ile iri boyda farklı alınganlığa sahip tanelerin ayrılabilirliği kolaylaşmaktadır. Bu ilişki orta boy olarak nitelendirilebilecek tanelerde gözlenmemiştir. Dolayısıyla, iri ve orta tane boylarında durum bir rastgelelik olarak tanımlanabilir. İnce tane boylarında ise bant hızındaki artış açık olarak yüksek alınganlığa sahip tanelerin ayrılabilirliğini kolaylaştırmaktadır.

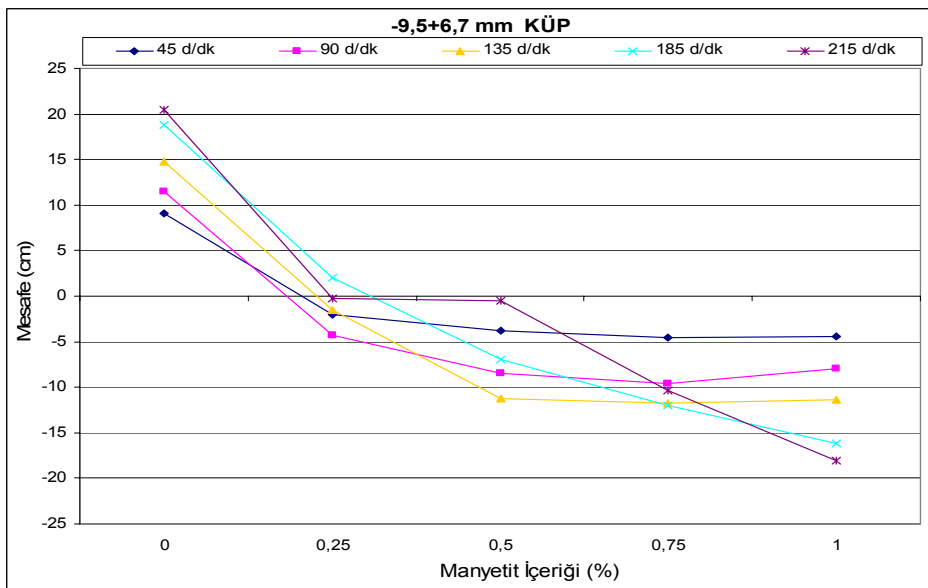
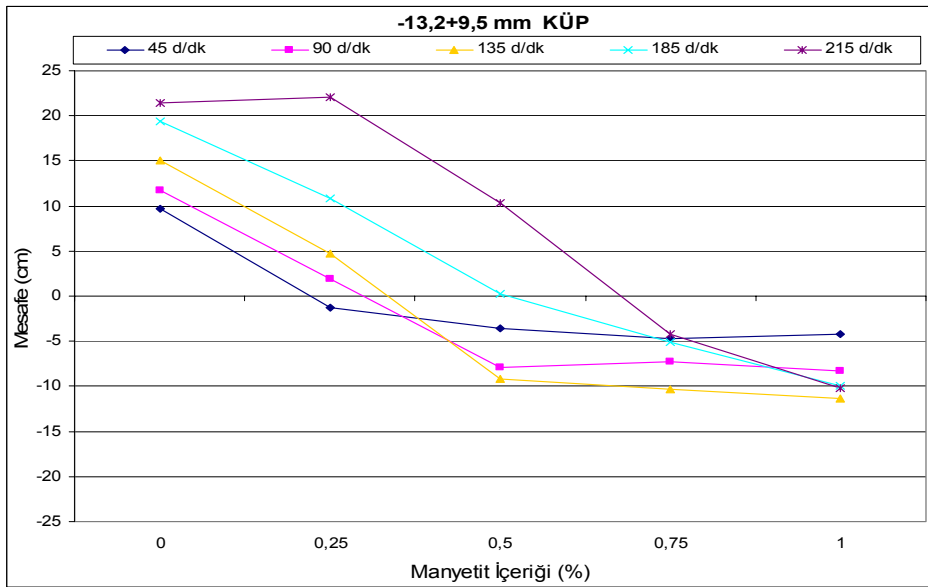
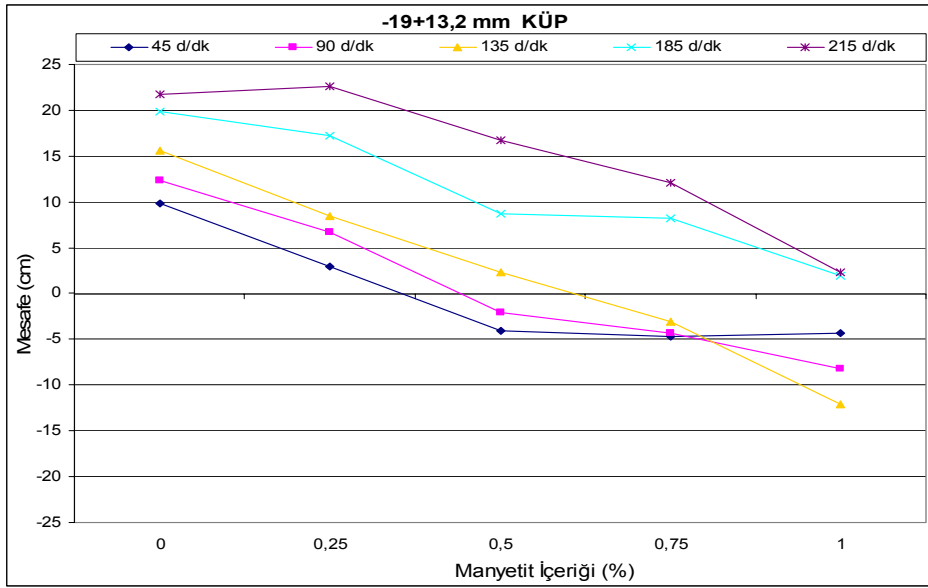
#### 4.1.2. Küp Şekilli Taneler

Bu bölümde küp şekilli taneler üzerinde yürütülen çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

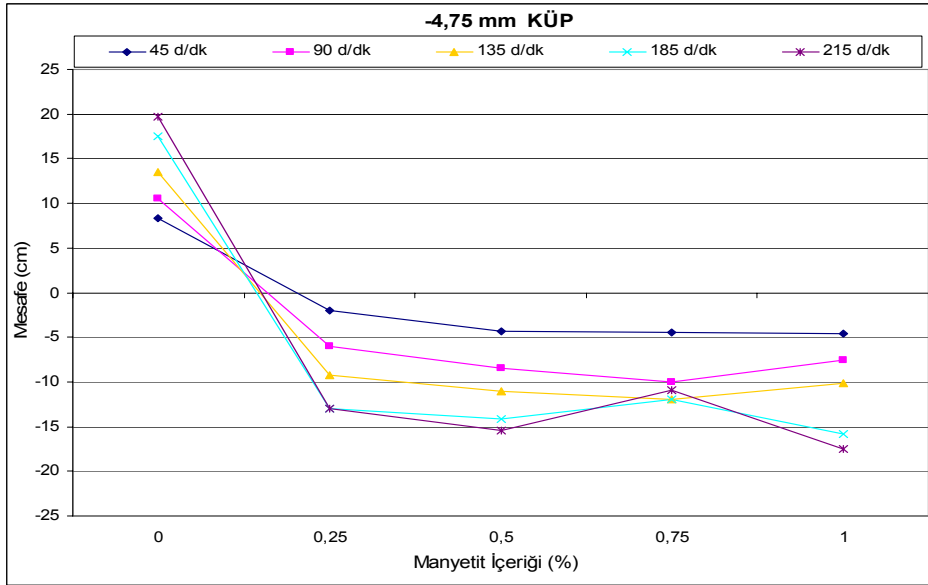
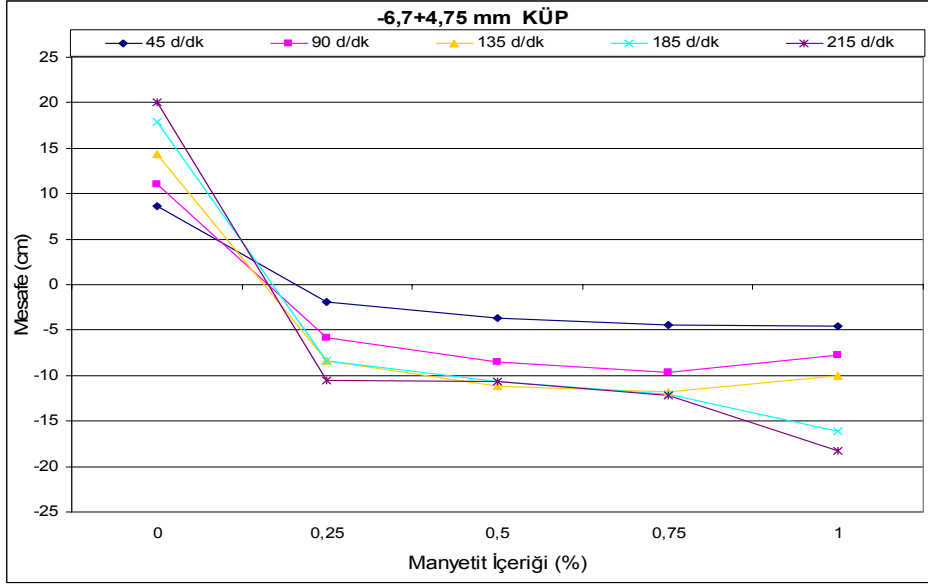
Şekil 4.3'de, küp şekilli tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin artan manyetit içeriğine bağlı değişimleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.3. Farklı tane boylarındaki küp şekilli tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin manyetit içeriğine bağlı değişimi



Şekil 4.3. Devam ediyor



Şekil 4.3. Devam ediyor

Küp şekilli tanelerden en iri boya sahip olanların düşük rulo hızlarında manyetit içeriği artışından daha çok etkilendikleri ve % 1 manyetit içeriğinde manyetik rulo tarafından tutuldukları görülmektedir.

Rulo hızı arttıkça tanelerin rulodan merkezkaç kuvvet etkisi ile savrulurak pozitif mesafe değerleri aldıkları, özellikle rulo hızı 215 d/dk değerine ulaştığında alınganlık artışının iri boy taneler için öneminin kalmadığı da anlaşılmaktadır.

Tane boyu küçüldükçe manyetik kuvvet daha etkili olmakta, özellikle 13,2 mm'den ince tanelerin % 0,75 manyetit içeriğinden, daha ince tane boyuna sahip tanelerin de % 0,25 manyetit içeriğinden itibaren manyetik rulo tarafından tutuldukları, yani rulo hızının etkisinin kalmadığı anlaşılmaktadır.

Manyetik alınganlık arttıkça manyetik kuvvet etkisinde kalan tanelerin iri boylarda daha düşük, tane boyu küçüldükçe daha fazla negatif yönde mesafe katettikleri belirlenmiştir. Bunun nedeni, aynı alınganlığa sahip iri taneler için kopma açısının ince tanelerden daha düşük olması ve banttan koparak savrulan iri tanelerin yerçekimi kuvvetinden daha çok etkilenmesidir. Bu durum özellikle yüksek rulo hızlarında kendini daha çok belli etmektedir.

Manyetit içermeyen küp şekilli tanelerin rulo hızı arttıkça merkezkaç kuvvetten küre şekilli tanelerden daha çok etkilendikleri anlaşılmaktadır. Ancak rulo hızından bağımsız olarak tane boyuna bağlı net bir ayırım sözkonusu değildir.

Manyetit içeriği arttıkça ince taneler manyetik rulo tarafından kolaylıkla tutulmaktadır. Düşük rulo hızlarında manyetik kuvvetin etkisi altında kalarak negatif mesafe değerleri kaydedilen orta ve iri boy küp şekilli taneler ise rulo hızı arttıkça merkezkaç kuvvetten daha çok etkilenmektedir.

Düşük rulo hızlarında boyuta bağlı bir ayırım sözkonusu değilken, rulo hızı arttıkça iri tanelerin ince tanelerden çok farklı yörüngeler izledikleri anlaşılmaktadır. 45 d/dk rulo hızında neredeyse aynı noktaya düşen +22,4 mm ve -4,75 mm boyutundaki yüksek alınganlıklılı tanelerin rulo hızı arttıkça tamamen zıt yönlere fırlatıldıkları ve 215 d/dk rulo hızında katettikleri mesafeler arasında neredeyse 36 cm fark bulunduğu görülmektedir. Küp şekilli taneler için de geçiş tane boyu -13,2 +9,5 mm fraksiyonudur. Bu taneler bileşke kuvvetin değerinden en çok etkilenen tanelerdir. Alınganlık ve rulo hızı arttıkça bu boyuttan daha iri tanelerin pozitif, daha ince tanelerin de negatif mesafe değerleri büyümektedir.

Manyetit içermeyen farklı tane boyuna sahip küp şekilli taneler aynı rulo hızında benzer noktalara düşmekte, rulo hızı arttıkça katedilen mesafeler de belirgin şekilde artmıştır.



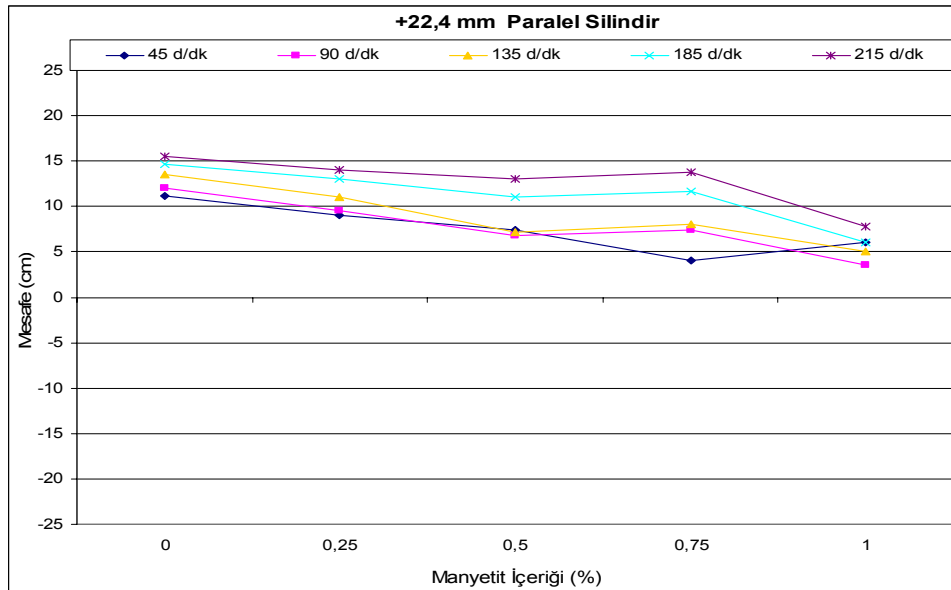
Düşük rulo hızlarında tane boyu değişse de tanelerin katettikleri mesafeler arasındaki fark düşük kalmaktadır. Rulo hızı ve manyetit içeriği arttıkça tane boyu değişimi ile katedilen mesafelerin arasındaki fark da ortaya çıkmaktadır. Ancak yüksek manyetik alınganlık değerlerine sahip ince boy tanelerde bu durum belirsizleşmekte, rulo hızı artsa da tanelerin katettikleri mesafeler arasındaki farklar küçülmektedir.

#### 4.1.3. Silindir Şekilli Taneler

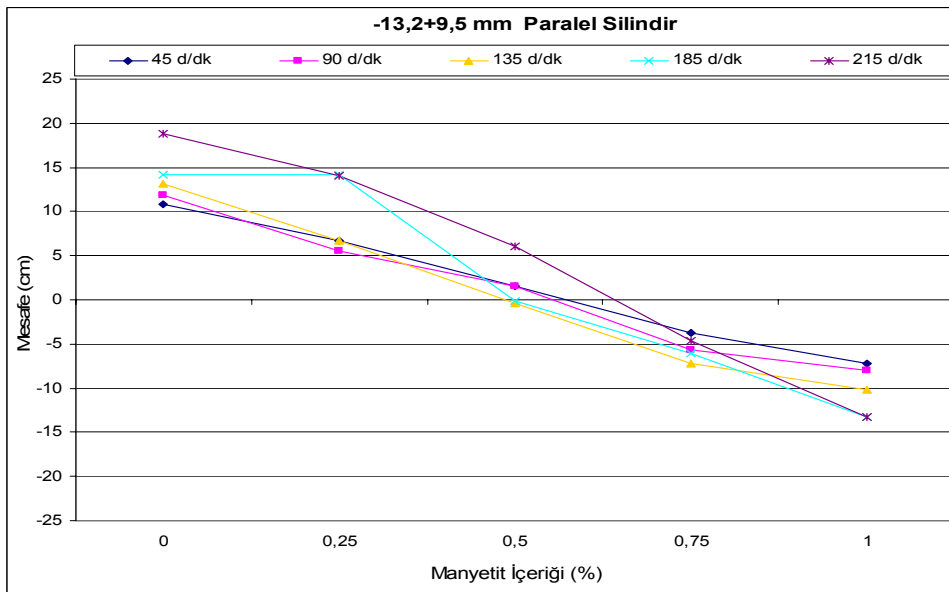
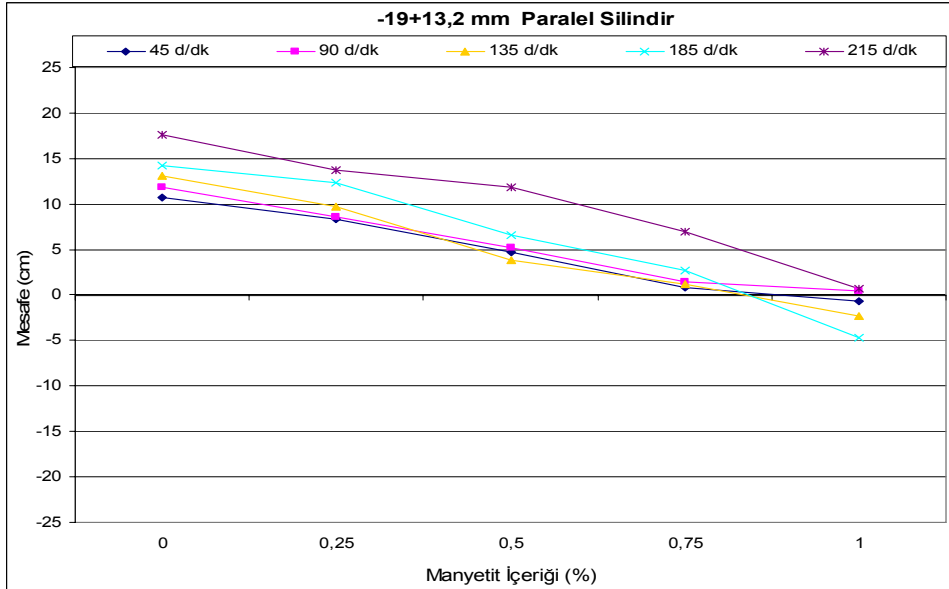
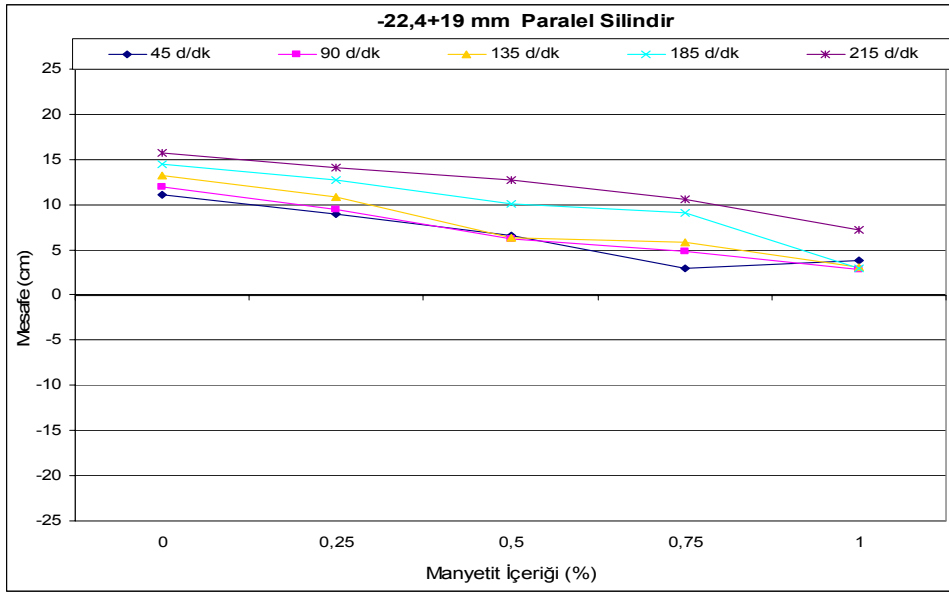
Bu bölümde silindir şekilli taneler üzerinde yürütülen çalışmalardan elde edilen sonuçlar incelenecektir. Silindir şekilli taneler rulo eksenine paralel ve dik şekilde beslenerek manyetik alan gradyanlarının tanelere olabilecek farklı etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Rulo hızı, manyetik alınganlık ve tane boyu değerlerindeki değişikliklere bağlı olarak tanelerin manyetik rulodan ayrılarak katettikleri mesafelerin değişimi incelenmiştir.

##### 4.1.3.1. Rulo eksenine paralel beslenen silindir şekilli taneler

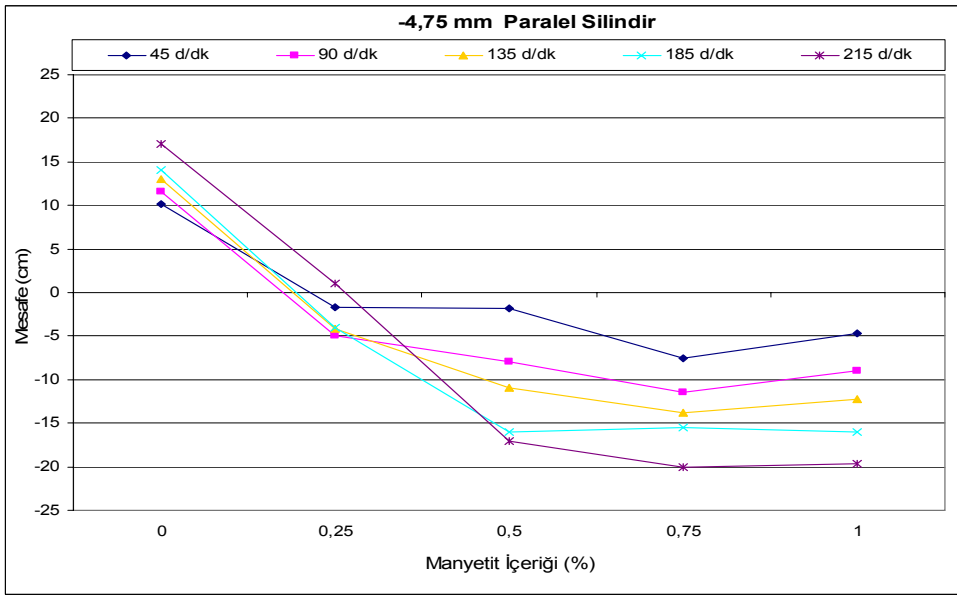
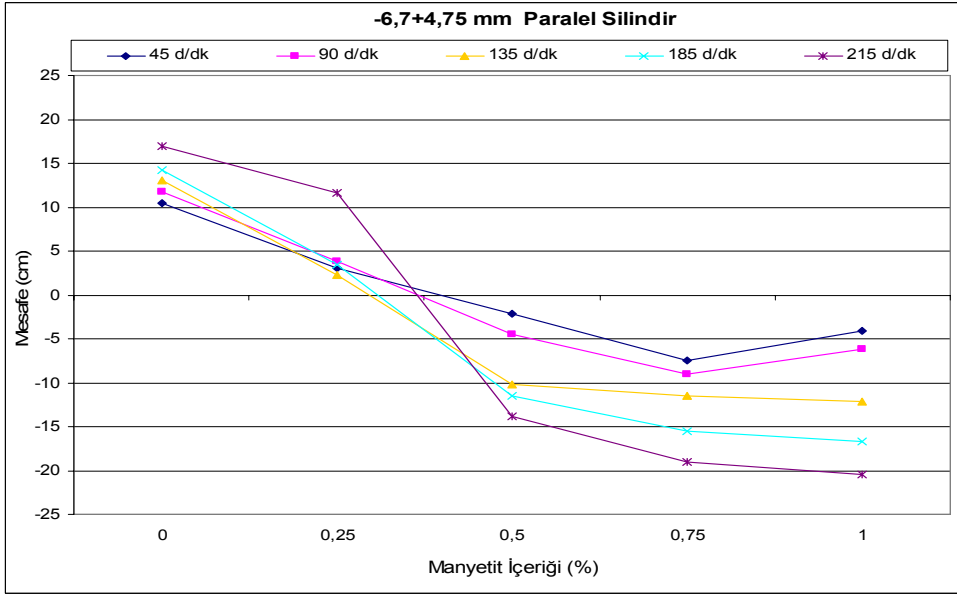
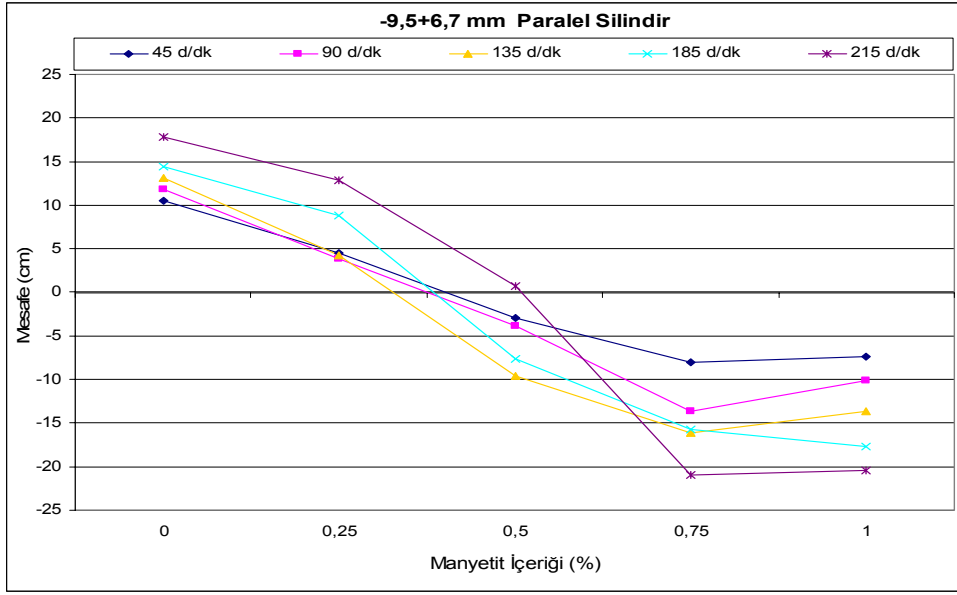
Şekil 4.4'de herbir tane boyu grubu için rulo eksenine paralel olarak farklı rulo hızlarında beslenen silindir şekilli tanelerin katettikleri mesafeler ve manyetit içeriğinin mesafelere olan etkileri değerlendirilmiştir.



Şekil 4.4. Rulo eksenine paralel eksende beslenen farklı tane boylarına sahip silindir şekilli tanelerin katettikleri mesafelerin manyetit içeriğine bağlı değişimi



Şekil 4.4. Devam ediyor



Şekil 4.4. Devam ediyor

Silindir şekilli taneler, eksenleri rulo eksenine paralel olacak şekilde beslendiği için banda temas eden yüzeyleri, çizgisel bir hattır. Temas yüzeyleri çok küçük olduğu ve her bir tanenin uzunluğu kadar mesafedeki manyetik alan çizgilerinin etkisinde kaldıkları için eksene dik beslenen tanelerden daha farklı davranım sergileyecekleri düşünülmüştür. Ayrıca, deneyler sırasında bant üzerine manyetik ruloya paralel şekilde bırakılan düşük manyetik alınganlıklılı silindirik tanelerin tıpkı küre şekilli taneler gibi, eylemsizlik momenti nedeniyle rulonun aksi yönünde dönmeye başladıkları ve bandın hızından tam etkilenmedikleri gözlenmiştir.

Manyetik ruloya paralel beslenen silindirik taneler, tane boyu küçüldükçe manyetik çekim kuvvetlerinden daha çok etkilenmektedir. En iri boydaki tanelerin dahi düşük rulo hızlarında manyetik ruloya yakın noktalara düşmeleri, manyetitsiz ve düşük manyetit içerikli tanelerin merkezkaç kuvvetinden daha az etkilendiklerini göstermektedir. -19 +13,2 mm boyutundan itibaren yüksek alınganlıklılı tanelerin katettikleri mesafeler negatif değerler almaktadır.

İri tane boylarında farklı alınganlıklılı tanelerin birbirinden ayrılması mümkün görülmemektedir. Tane boyu küçülmeye başladığında düşük hızlarda dahi ayırım mümkün hale gelmektedir. Fakat ince tane boylarında farklı alınganlıklılı tanelerin ayırımı ancak yüksek rulo hızlarında mümkün olacaktır, nitekim düşük rulo hızlarında farklı alınganlıklılı taneler benzer mesafeler katetmektedir.

Manyetit içeriği % 0,25 olan tanelerden sadece en ince boya sahip olanlar manyetik rulo tarafından tutulmuştur. Diğer taneler boyut büyüdükçe rulodan daha uzağa savrulmuştur. İri taneler arasında özellikle 135 d/dk ve 185 d/dk rulo hızlarında mesafe farkları olsa da en yüksek hızda bu farklar da ortadan kalkmıştır.

Manyetit içeriği % 0,5 ve % 0,75 olan tanelerin ayırım boyutu 215 d/dk'ya kadar olan rulo hızlarında -13,2 +9,5 mm'dir. Manyetik alınganlık arttıkça daha iri taneler de manyetik kuvvet etkisinde kalmaktadır. Manyetit içeriği % 0,5 olan -13,2 +9,5 mm fraksiyonundaki taneler en yüksek rulo hızında manyetik rulodan uzağa savrulmuştur. Daha yüksek alınganlığa sahip % 0,75 manyetit içerikli tanelerde bu durum gözlenmemiş, tüm rulo hızlarında -13,2+9,5 mm ve daha ince boyutlu

taneler tamamen manyetik rulo tarafından tutulmuşlardır. Bu boyuttan iri taneler de rulo hızı arttıkça rulodan daha uzağa savrulmuştur.

En yüksek manyetik alınganlıklı tanelerde sınır tane boyu büyümüştür. -19 +13,2 mm ve daha ince boyutlu taneler manyetik rulo tarafından tutulmuş, daha iri taneler ruloya yakın noktalara düşseler de birbirine yakın pozitif mesafe değerleri elde edilmiştir.

Rulo eksenine paralel beslenen silindirik tanelerden manyetit içermeyenlerin katettikleri mesafe değerleri rulo hızı arttıkça büyümekte ancak tane boyundan bağımsızlık göstermektedir.

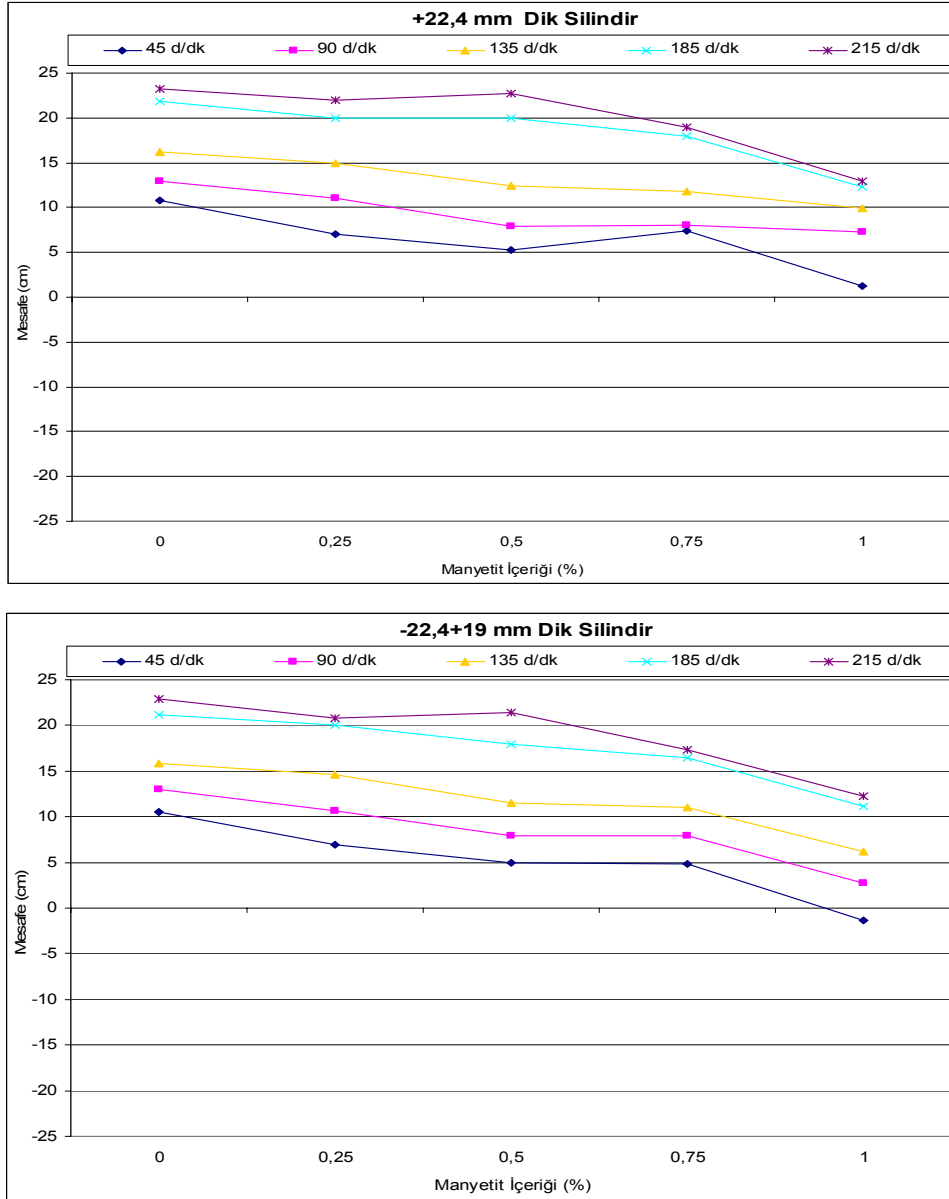
Manyetik alınganlık arttıkça daha iri boy taneler manyetik kuvvet etkisi altında kalarak manyetik rulo tarafından tutulmaktadır. Manyetik rulo tarafından tutulmaya başlanan en iri tane boyları % 0,25 manyetit içeriğinde 4,75 mm, % 0,5 manyetit içeriğinde 6,7 mm , % 0,75 manyetit içeriğinde 13,2 mm ve en yüksek alınganlığa sahip olan %1 manyetit içeriğinde 19 mm'dir.

Tane boyuna bağlı ayırım düşük rulo hızlarında oluşmamaktadır. Rulo hızı 135 d/dk'nın üzerine yükseltildiğinde farklı tane boylarındaki tanelerin katettikleri mesafeler arasındaki farklar ortaya çıkmakta ve özellikle en yüksek rulo hızlarında keskin ayırımlar görülmektedir. Ancak, +22,4 mm ve -22,4 +19 mm fraksiyonları ile 9,5 mm ve daha ince taneler kendi aralarında benzer mesafeler kaydetmişlerdir, buna göre yapılacak sınıflandırılmış beslemeler özellikle yüksek rulo hızlarında etkili ayırımlar sağlayacaktır.

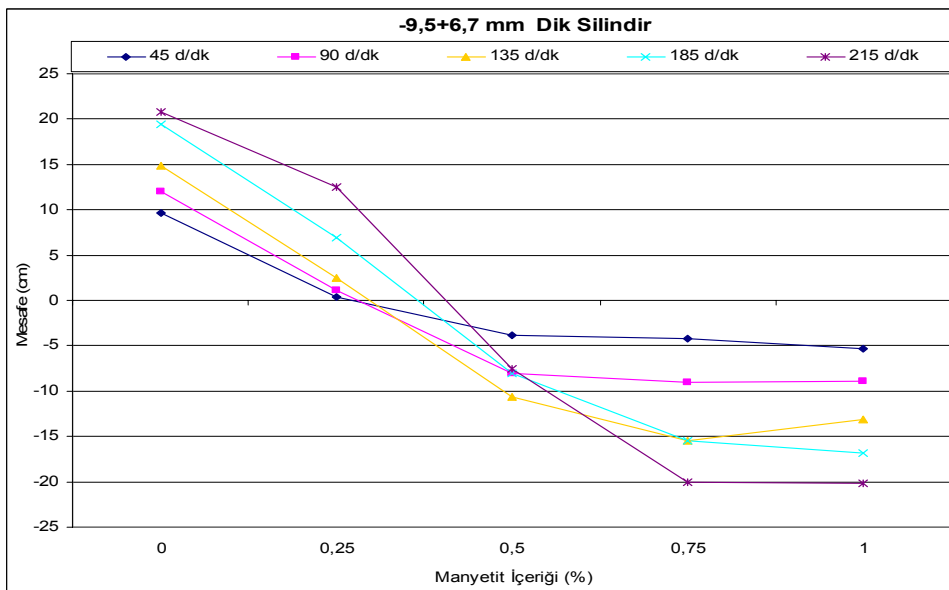
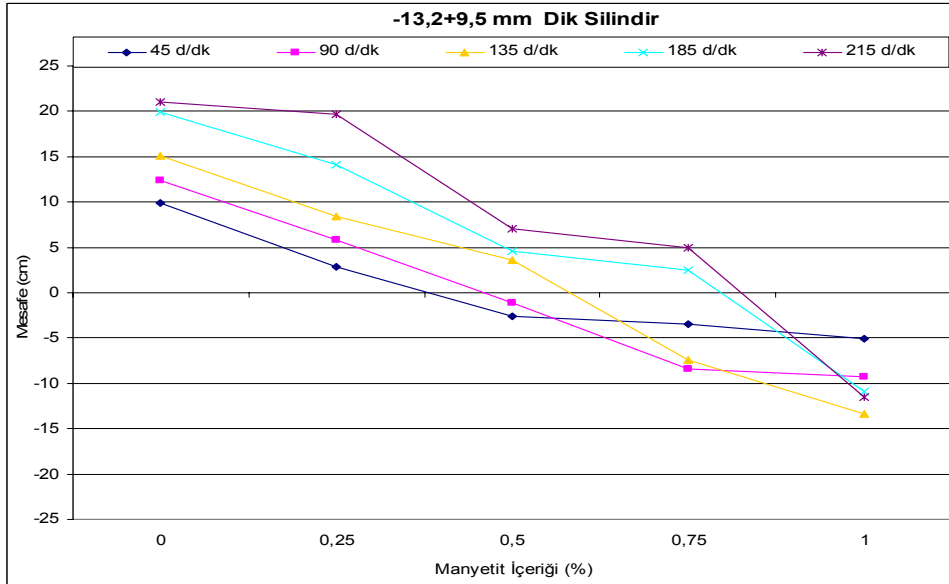
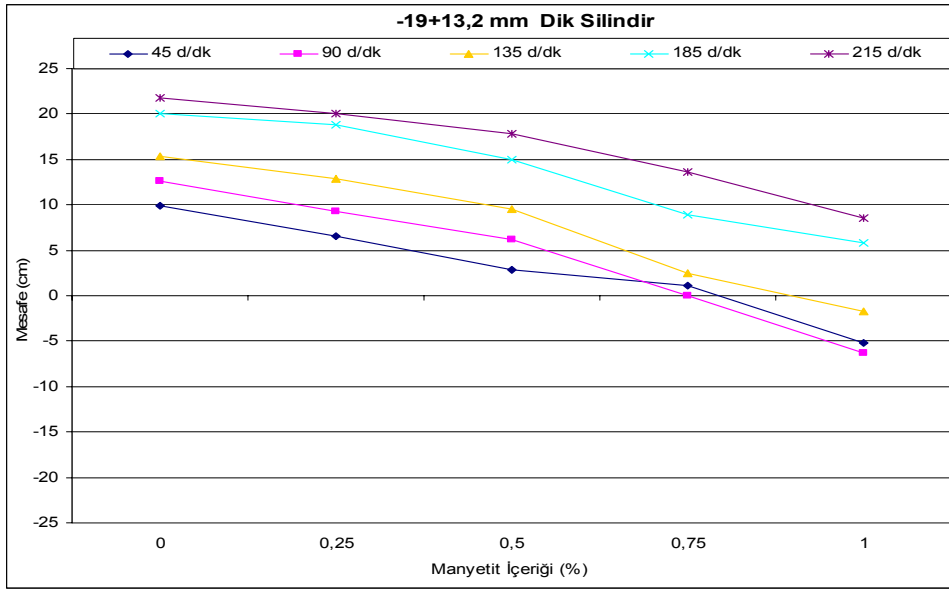
#### **4.1.3.2. Rulo Eksenine Dik Beslenen Silindir Şekilli Taneler**

Silindirik taneler rulo eksenine dik şekilde banda beslenerek paralel beslenen tanelere göre daha az miktarda alan gradyanının etkisinde kalması beklenmiştir. Bu taneler bant üzerinde rastlantısal olarak mıknatıs, çelik veya mıknatıs-çelik sınırı üzerinde yer almıştır. Bu olasılığa bağlı olarak rulo eksenine dik olarak beslenen tanelerin aynı koşullarda farklı mesafeler kaydettikleri gözlenmiştir.

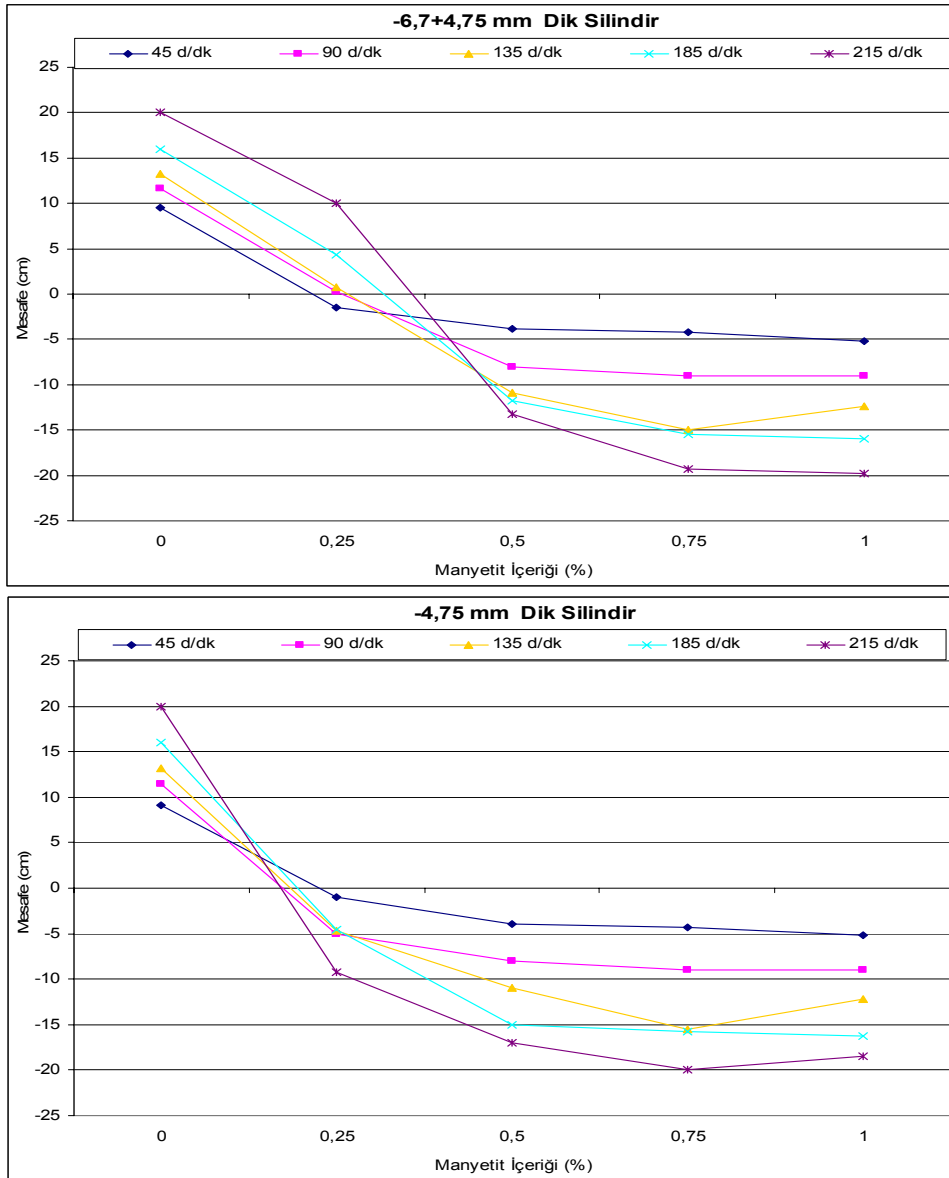
Rulo eksenine dik olarak beslenen silindirik şekilli tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin manyetik alınganlığa bağlı değişimi Şekil 4.5'de değerlendirilmiştir.



Şekil 4.5. Rulo eksenine dik beslenen silindirik şekilli tanelerin katettikleri mesafelerin manyetik içeriğine bağlı değişimi



Şekil 4.5. Devam ediyor



Şekil 4.5. Devam ediyor.

Rulo eksenine dik şekilde beslenen silindir şekilli tanelerden iri boyutlu taneler yüksek alınganlık değerlerinde ve düşük rulo hızlarında ruloya çok yakın noktalara düşmektedir. İri boydaki tanelerin katettiği mesafeler rulo hızı arttıkça büyüye de alınganlık arttıkça ruloya çok daha yakın noktalara düşmektedir. 9,5 mm den daha küçük tanelerin düşük alınganlık değerlerinde dahi manyetik kuvvet etkisinde kaldıkları, en ince tanelerin % 0,25 manyetit içeriğinden itibaren tamamen manyetik rulo tarafından tutuldukları görülmektedir. Düşük alınganlıklılı tanelerin katettikleri mesafeler arasındaki farklar düşük kalırken, alınganlık arttıkça özellikle yüksek rulo hızlarında aradaki farklar büyümektedir.



Rulo eksenine dik şekilde beslenen silindir şekilli tanelerin özellikle iri boylarda ve yüksek rulo hızlarında diğer şekillere göre daha yüksek mesafeler kaydettikleri tespit edilmiştir. Manyetitsiz tanelerden en ince boyutlu olanlar 45 d/dk rulo hızında yaklaşık 9,1 cm uzağa savrulurken 215 d/dk rulo hızında 20 cm kadar uzağa savrulmuşlardır. Bu değerler en iri boyutlu taneler için 45 d/dk'da 10,8 cm den 215 d/dk'da 23,2 cm değerine yükselmektedir. Bu durum, silindir şekilli tanelerin rulo hızından daha fazla etkilendiğini göstermektedir.

Manyetik alınganlık arttıkça düşük rulo hızlarında daha iri boy taneler manyetik kuvvet etkisiyle yakalanırken, rulo hızı arttıkça iri boy taneler manyetik rulodan daha uzağa savrulmaktadır. Manyetit içeriği % 0,5 ve % 0,75 olan tanelerden 9,5 mm ve daha ince boyutlu olanlar tüm rulo hızlarında manyetik rulo tarafından tutulmaktadır. Bu taneler, düşük rulo hızlarında aynı mesafeleri katederken özellikle yüksek rulo hızlarında aradaki farklar meydana çıkmıştır.

En yüksek alınganlıkları tanelerden 19 mm ve daha ince boyutlu tanelerin düşük rulo hızlarında manyetik rulo tarafından tutuldukları ve manyetik kısma savruldukları görülmektedir. Yüksek rulo hızlarında 13,2 mm'den daha iri boyutlu tanelerin manyetik çekim kuvvetini yendikleri ve rulodan uzağa savruldukları, manyetik rulo tarafından tutulan ince boyutlu tanelerin ise aynı mesafelere düştükleri belirlenmiştir.

Tüm rulo hızı değerlerinde farklı tane boyundaki tanelerin katettikleri mesafeler arasında farklar bulunmaktadır ve bu farklar, özellikle yüksek rulo hızlarında artmaktadır.

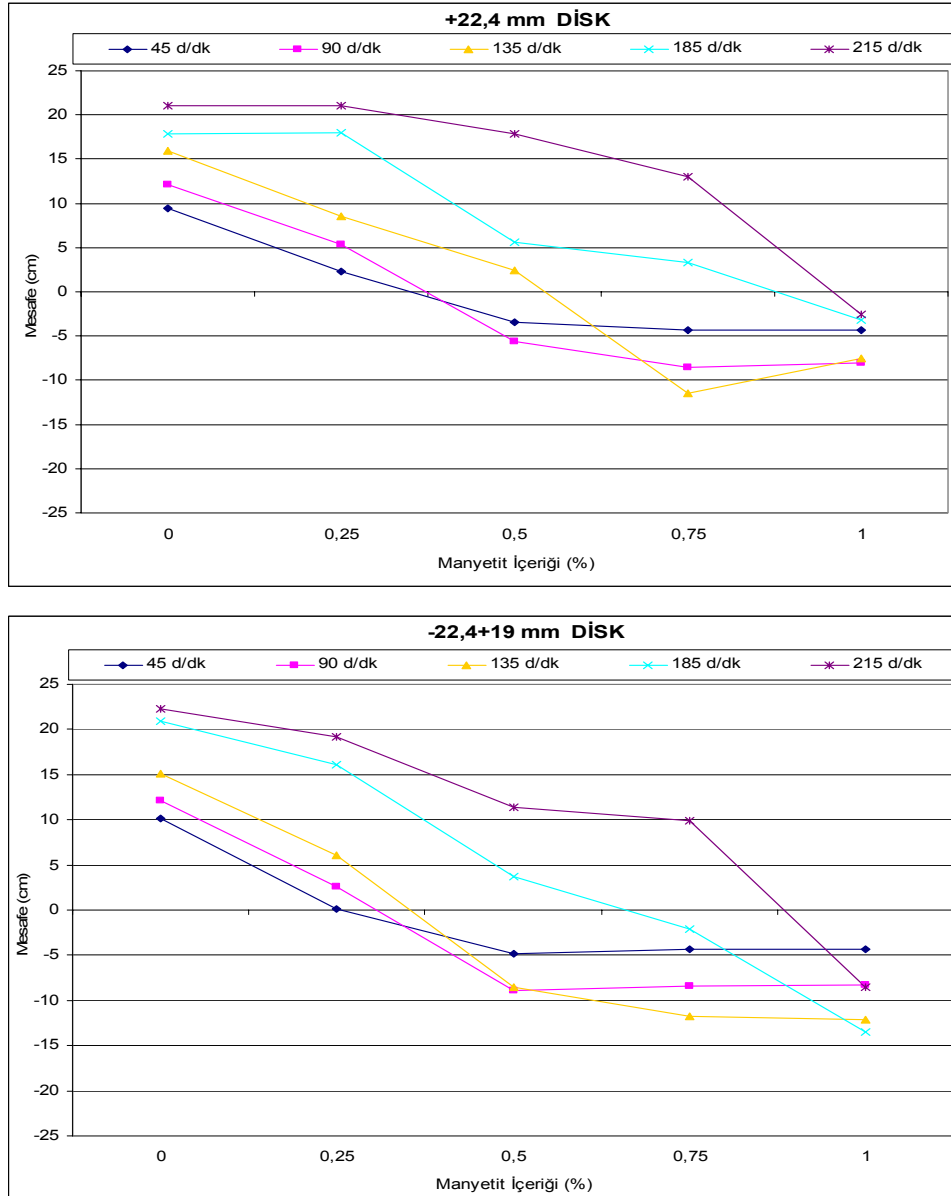
Manyetit içermeyen silindir şekilli tanelerin boyutları küçüldükçe ruloya bir miktar daha yakın mesafelere düşseler de rulo hızı arttıkça katedilen mesafelerin büyüklüğü, merkezkaç kuvvetin etkisinin fazla olduğunu göstermektedir.

Manyetik alınganlık arttıkça tanelerin katettiği mesafeler arasındaki farklar büyümektedir. En düşük rulo hızlarında tane boyuna bağlı farklar düşük iken rulo hızı arttıkça taneler birbirinden çok farklı mesafeler kaydetmektedir. Bu farklar yüksek manyetit içeriklerinde iri boy tanelerin katettiği mesafelerde

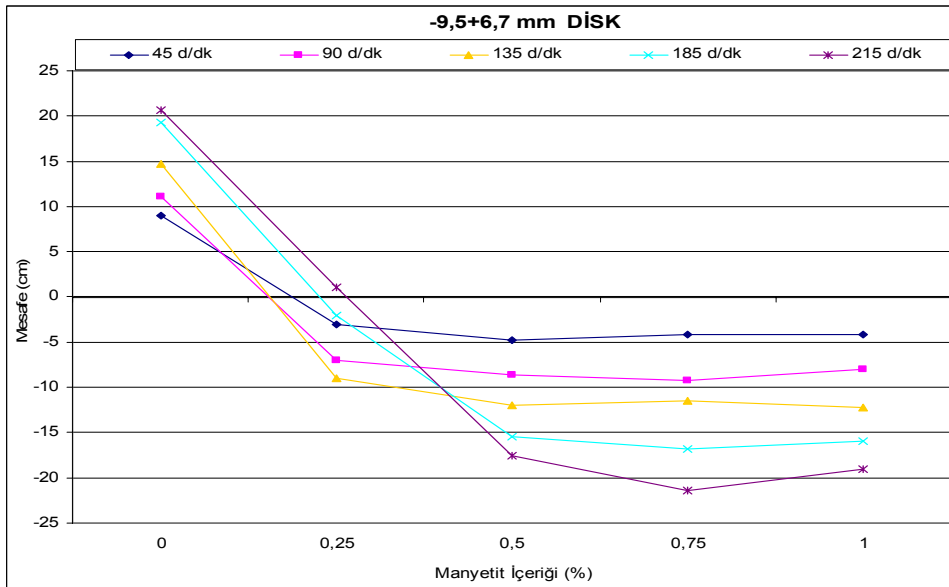
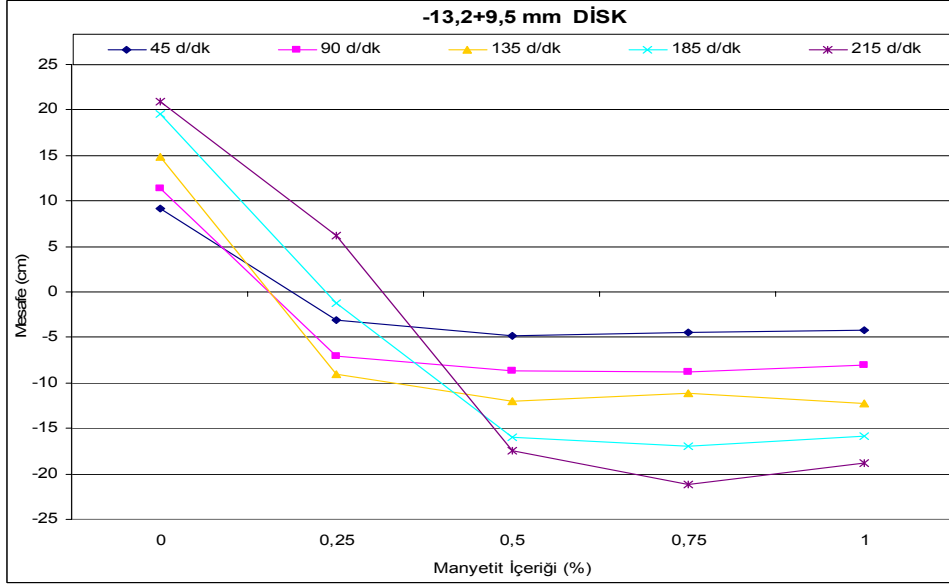
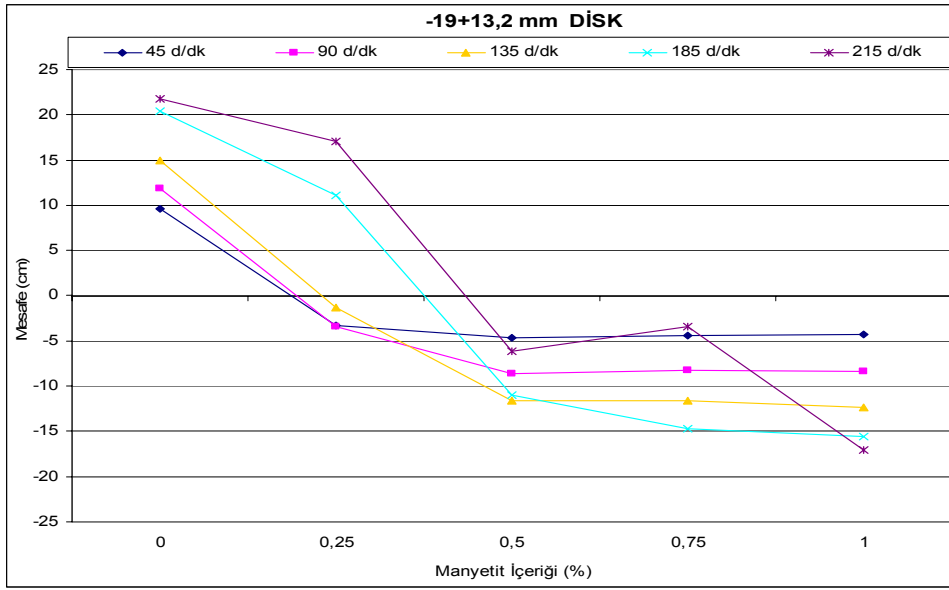
gözlenmektedir, ince boyutlu taneler manyetik rulo tarafından tutularak neredeyse aynı mesafelere düşmektedir.

#### 4.1.4. Disk Şekilli Taneler

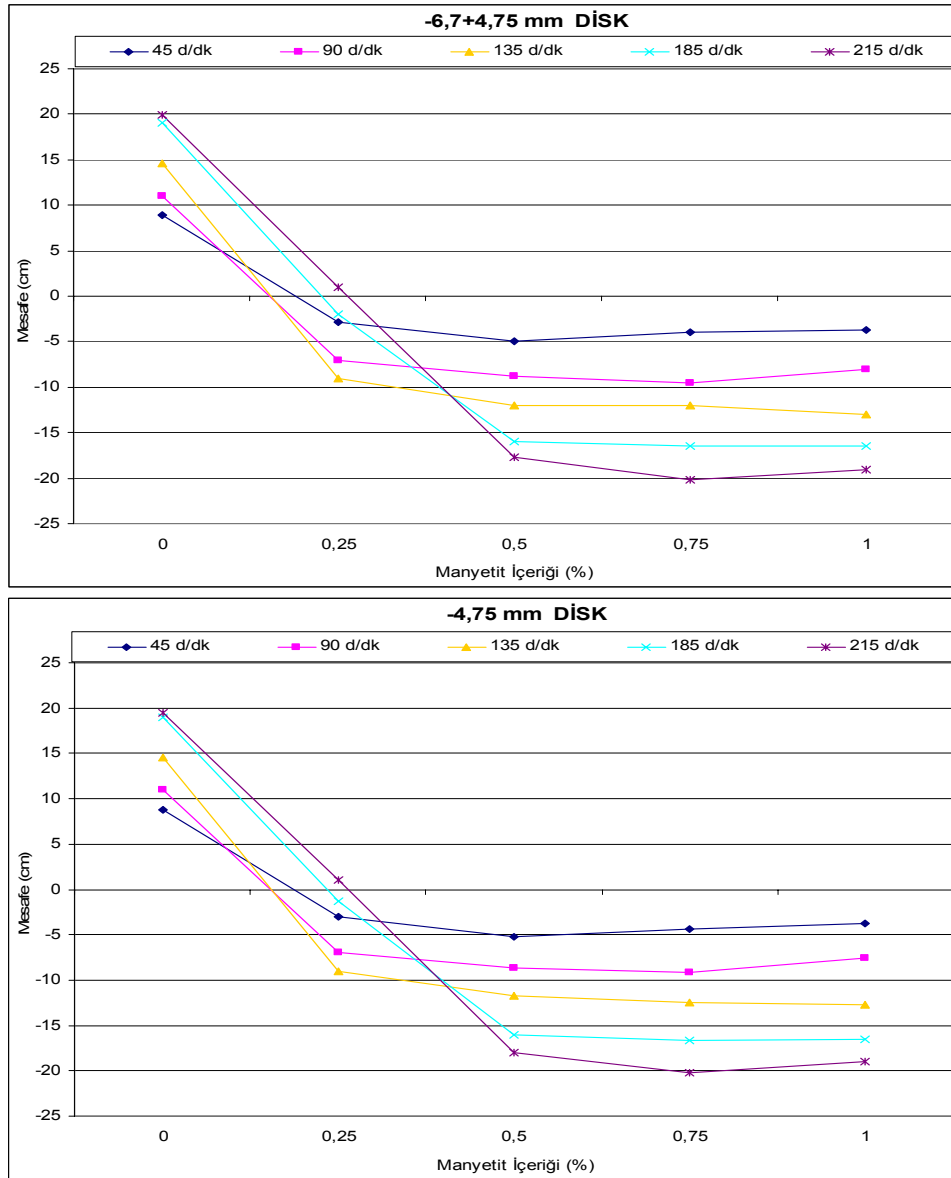
Disk şekilli tanelerin artan manyetit içeriğinin katedilen mesafeler üzerine etkileri Şekil 4.6'deki grafiklerde değerlendirilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı tane boylarına sahip disk şekilli tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin manyetit içeriğine bağlı değişimi



Şekil 4.6. Devam ediyor



Şekil 4.6. Devam ediyor

Disk şekilli taneler, büyük yüzey alanlarından ötürü bant ile en büyük temas alanına sahip tanelerdir. Tane boyu en büyük taneler incelendiğinde yüksek rulo hızlarında dahi manyetik kuvvetten daha çok etkilendikleri ve diğer tüm şekillerden daha fazla manyetik ürüne kavuştukları görülmektedir.

Düşük rulo hızlarında tüm taneler hemen hemen aynı mesafelere düşmüştür. Aradaki farklar, yüksek rulo hızlarında ortaya çıkmaktadır. 19 mm'den küçük tüm taneler % 0,5 manyetit içeriğinden itibaren manyetik çekim kuvveti etkisi altında kalmaktadır. Tane boyu küçüldükçe, kopma açısı büyümekte ve rulo hızı arttıkça

büyüyen merkezkaç kuvvetin etkisi ile tanelerin katettikleri mesafeler büyümektedir.

Manyetit içermeyen disk şekilli taneler tüm tane boyu değerlerinde pozitif yönde benzer mesafelere savrulmakta ve mesafe değerleri rulo hızı arttıkça gittikçe büyümektedir.

Manyetik alınganlık arttıkça iri boy taneler düşük rulo hızlarında ruloya çok daha yakın noktalara düşmüşler, hız arttıkça tamamen merkezkaç kuvvet etkisiyle savrulmuşlardır. -19 +13,2 mm fraksiyonundaki taneler düşük rulo hızlarında manyetik rulo tarafından tutulurken, yüksek rulo hızlarında bileşke kuvvet merkezkaç kuvvet yönünde değer aldığı için pozitif yönde rulodan uzağa savrulmuşlardır. Daha küçük boyutlu taneler yüksek rulo hızlarına kadar manyetik rulo tarafından tutulmakta, rulo hızı arttıkça rulo merkezinden 1 cm daha pozitif yöne savrulabilmektedir. Sadece -13,2 +9,5 mm fraksiyonunda 215 d/dk değerinde mesafe değeri 6,2 cm olarak kaydedilmiştir.

Manyetit içeriği % 0,5 ve % 0,75 olan tanelerden yalnızca +22,4 mm ve -22,4 +19 mm fraksiyonlarındaki taneler 185 d/dk'nın üzerindeki rulo hızlarında manyetik çekim kuvvetini yenebilmektedir. Diğer tüm taneler negatif yönde savrulmaktadır. Bu tanelerin katettikleri mesafeler de rulo hızı arttıkça büyümektedir.

En yüksek manyetik alınganlıklı tanelerin tümü bütün deney koşullarında manyetik rulo tarafından tutulmuştur. Bu taneler tamamen manyetik çekim kuvvetinin etkisinde kalmış, tane hareketleri üzerine rulo hızının ve tane boyunun etkisi ancak iri boy tanelerin yüksek rulo hızlarında manyetik ruloya daha yakın noktalara düşmeleri şeklinde anlaşılabilmiştir.

Disk şekilli tanelerde tane boyunun etkisi ancak düşük manyetik alınganlık değerlerinde ve yüksek rulo hızlarında sınırlı derecede görülmektedir.

Manyetit içermeyen disk şekilli taneler tüm rulo hızlarında birbirine çok benzer mesafelere savrulmaktadır.

Manyetik alınganlık arttıkça yalnızca iri tane boylarında yüksek rulo hızlarında katedilen mesafeler arasında farklar ortaya çıkmaktadır. Bu farklar, en yüksek manyetik alınganlık değerini sağlayan % 1 manyetit içeren tanelerde tamamen negatif yönde ve sınırlı derecede gözlenmektedir. İnce boyutlu taneler, özellikle düşük rulo hızlarında tamamen manyetik rulo tarafından tutulmaktadır.

Disk şekilli tanelerin tane boyuna göre olası ayırımı ancak düşük manyetit içeriklerinde, yüksek rulo hızlarında sadece iri tane boyları için geçerli olabilir. Manyetit içeriği arttıkça ayırım tane boyu da büyüyecektir.

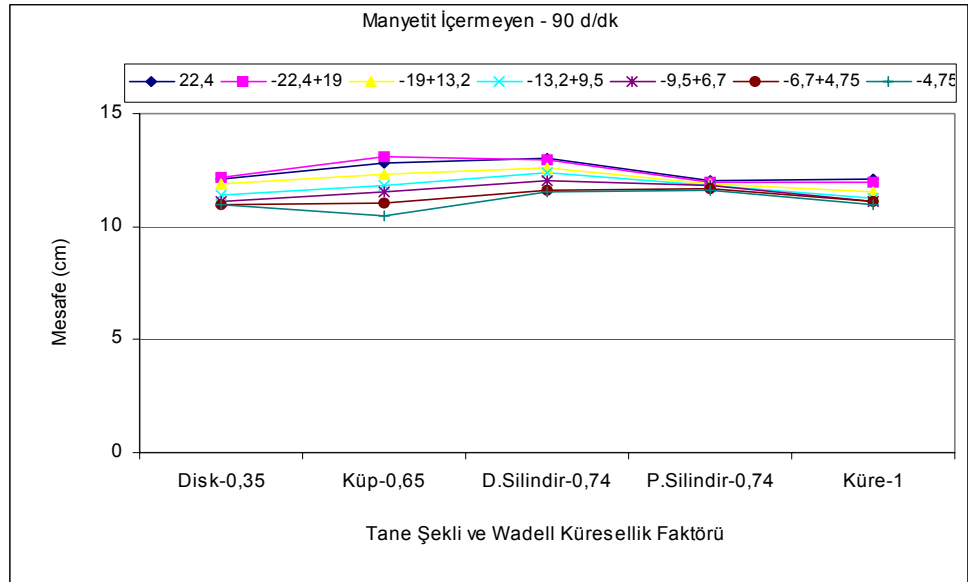
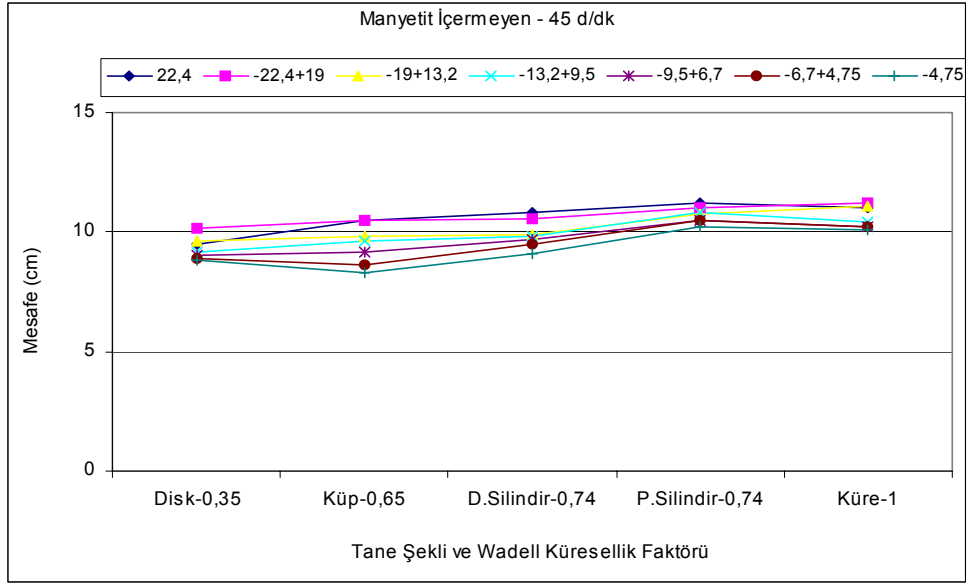
## **4.2. Tane Şekillerinin Tane Hareketi ve Ayırım Üzerine Etkisi**

Bu bölümde tane şeklinin katedilen mesafeler üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla deneysel veriler, farklı işlem değişkenleri için her bir şeklin etkisi birarada görülebilecek şekilde düzenlenmiş, şekiller Wadell Küresellik Faktörü değerlerine göre sıralanmıştır.

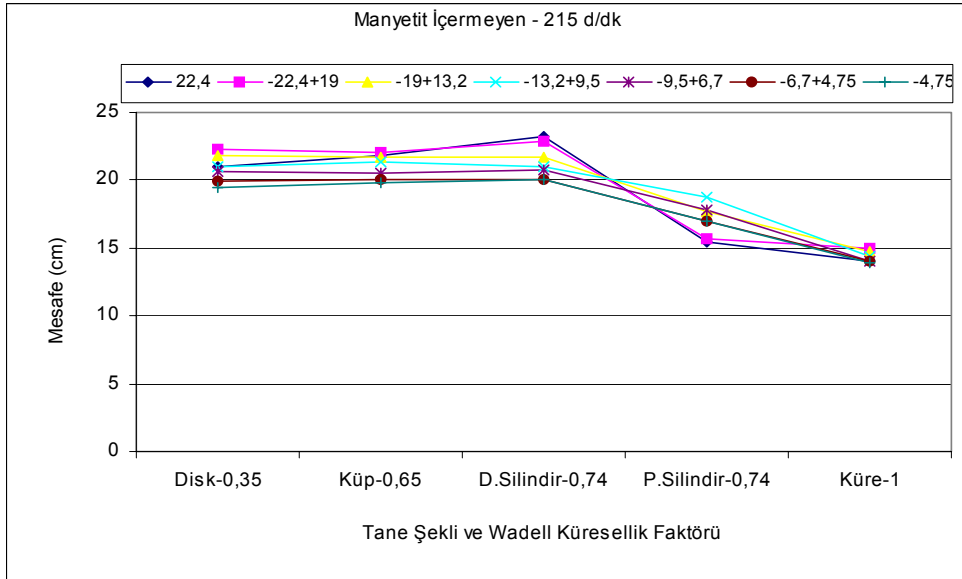
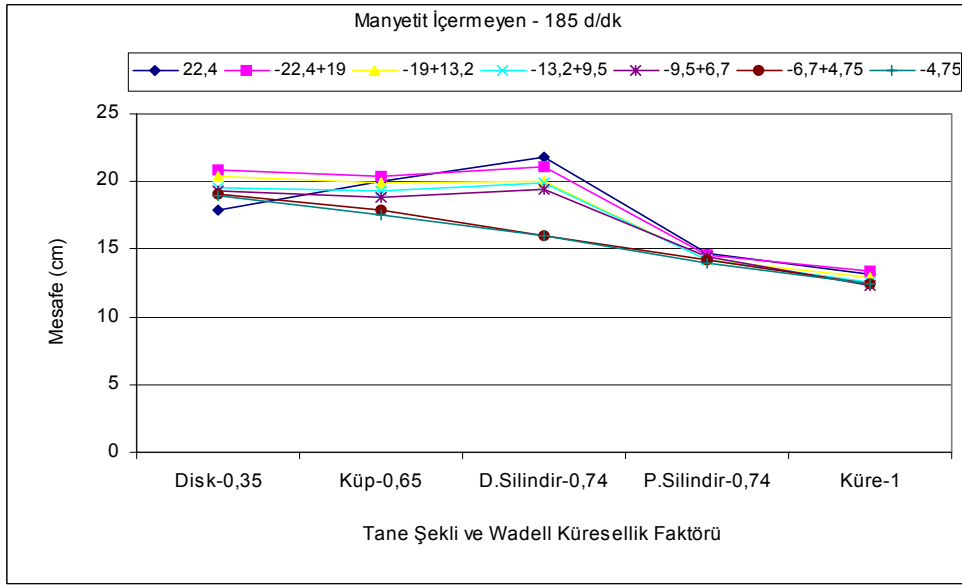
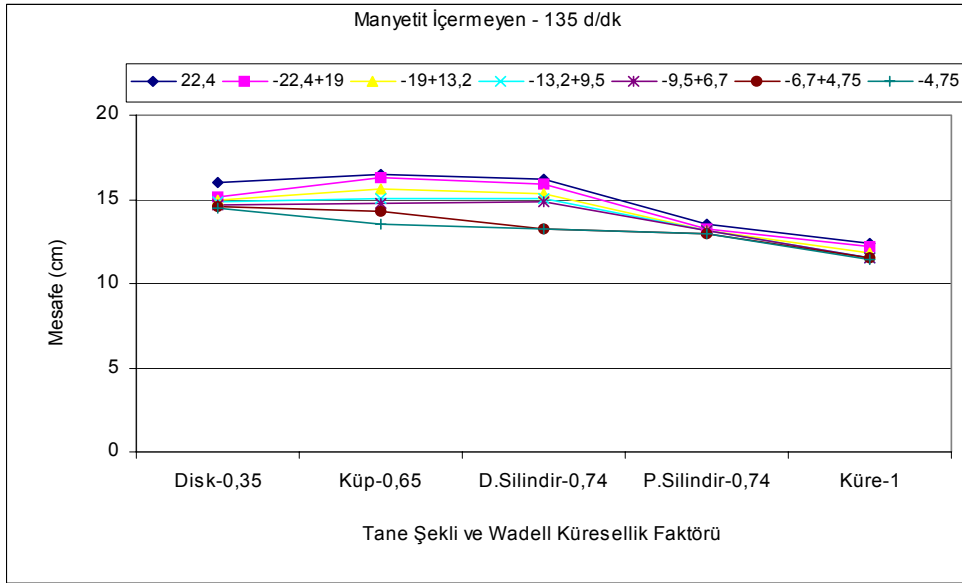
### **4.2.1. Manyetik Alınganlık ve Rulo Hızının Etkisi**

#### **4.2.1.3. Manyetit İçermeyen Taneler**

Manyetit içermeyen tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin tane şekline bağlı değişimi Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Manyetit içermeyen tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin tane şekline bağlı değişimi



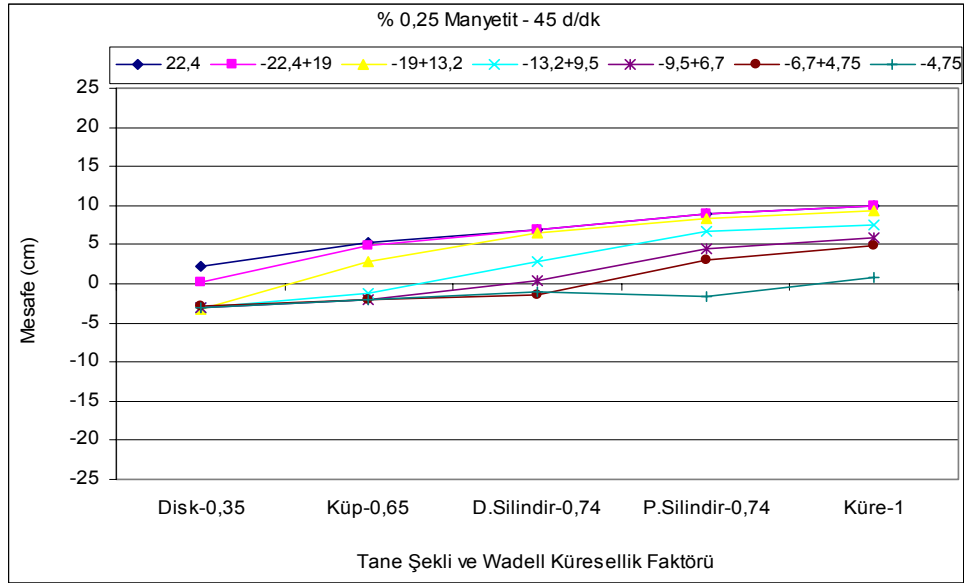
Şekil 4.7. Devam ediyor.



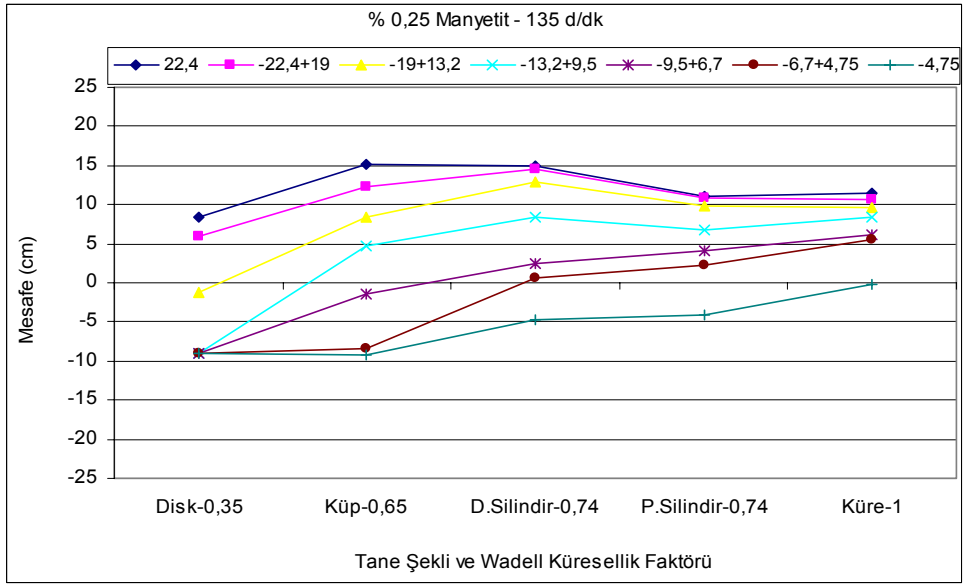
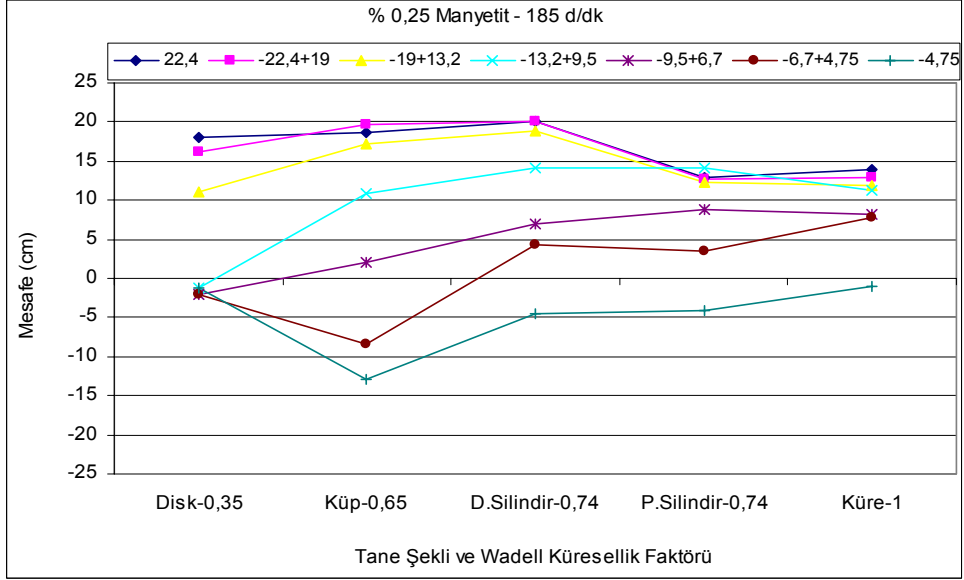
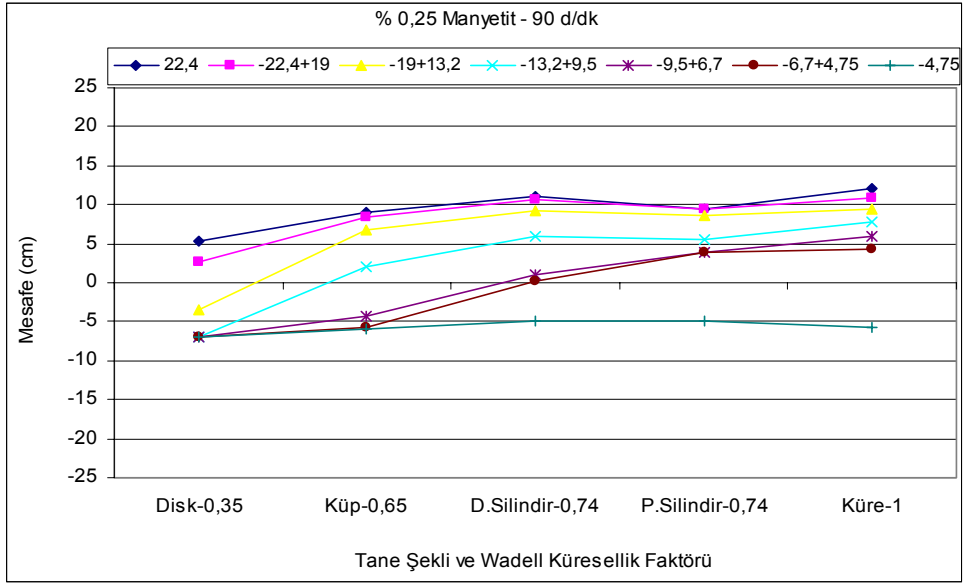
Manyetit içermeyen tanelerin katettikleri mesafeler arasında şekle bağlı farklar, rulo hızı arttıkça ortaya çıkmaktadır. Wadell Küresellik Faktörü düşük olan disk, küp ve rulo eksenine dik beslenen silindir şekilli taneler rulo hızı arttıkça rulodan daha uzak noktalara savrulmaktadır. Küp şekilli tanelerin katettikleri mesafeler arasında düşük rulo hızlarında, rulo eksenine dik beslenen silindir şekilli tanelerin de yüksek rulo hızlarında tane boyuna bağlı değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Küresellik faktörü büyüdükçe rulo hızının etkisinin azaldığı, rulo eksenine paralel beslenen silindir şekilli taneler ile küre şekilli tanelerin katettikleri mesafelerin birbirine benzer şekilde, az miktarda arttığı görülmüştür.

#### 4.2.1.4. %0,25 Manyetit İçeren Taneler

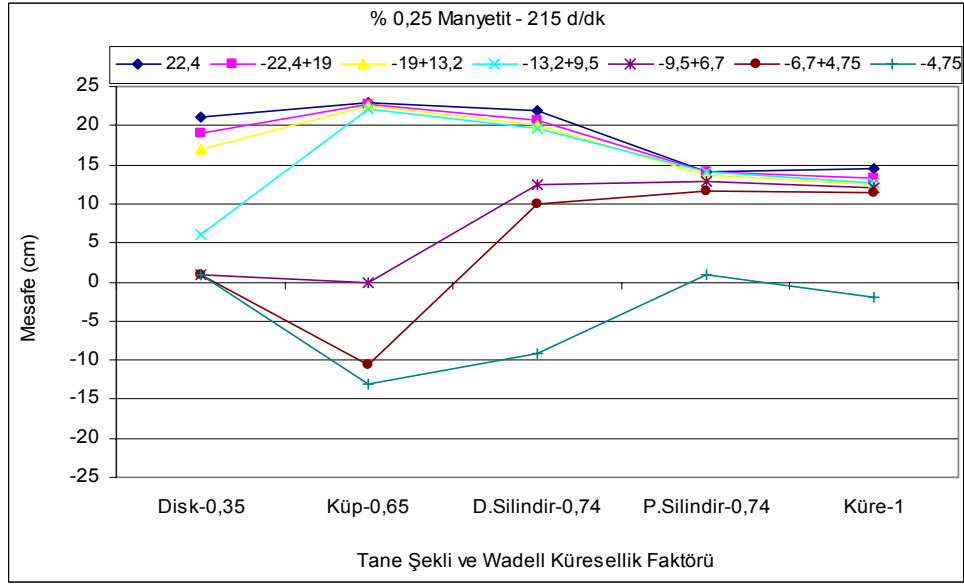
%0,25 manyetit içeren taneler için farklı rulo hızlarında katedilen mesafelerin şekil ve Wadell Küresellik Faktörü ile değişimi Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Manyetit içeriği %0,25 olan tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin tane şekline bağlı değişimi



Şekil 4.8. Devam ediyor



Şekil 4.8. Devam ediyor

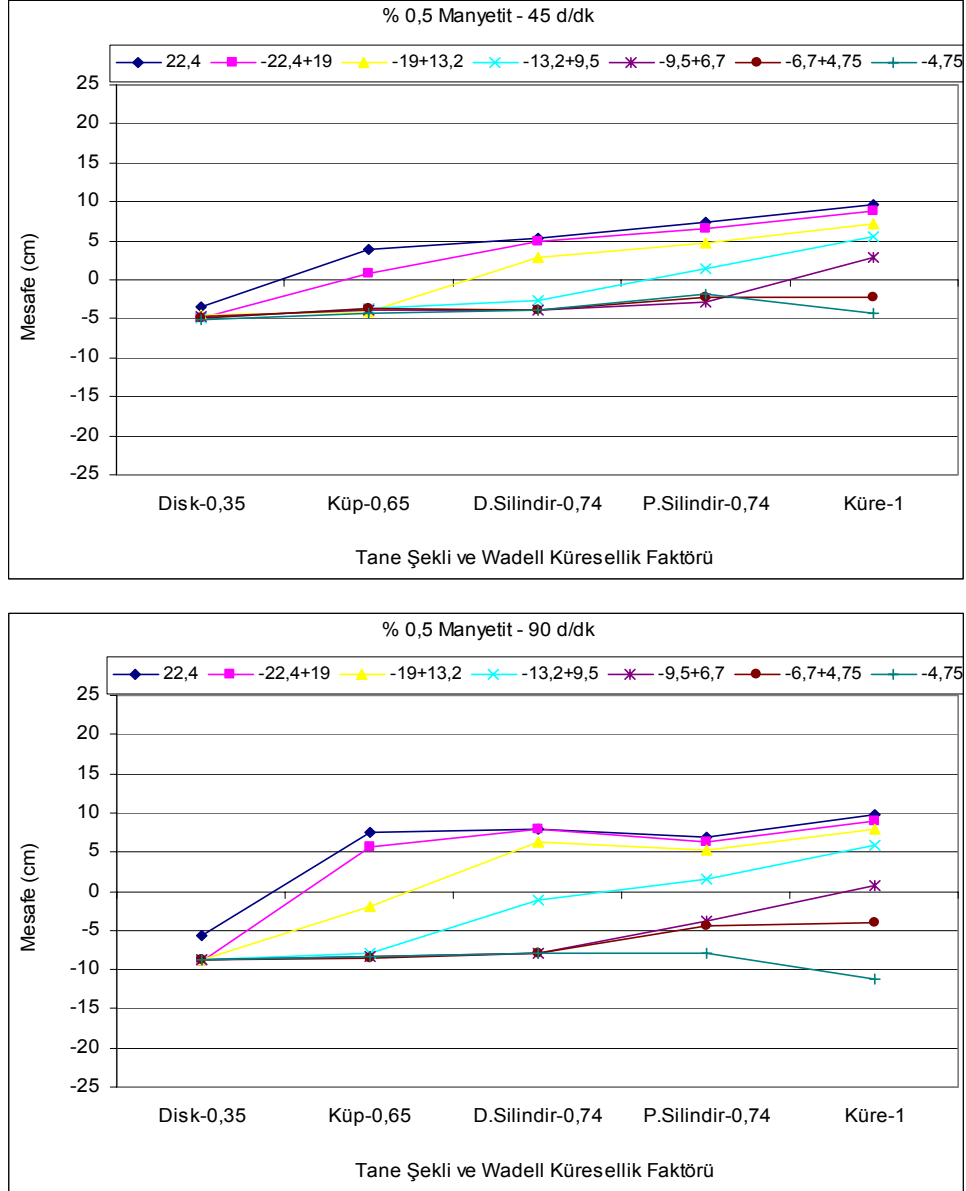
Manyetik alınganlıktaki artışla birlikte katedilen mesafelerde rulo hızına bağlı olarak önemli değişiklikler görülmektedir. 45 d/dk rulo hızında düşük küresellik faktörü ve küçük tane boyu değerlerinde taneler manyetik rulo tarafından tutulmaktadır. Küresellik faktörü ve tane boyu büyüdükçe katedilen mesafeler de artmaktadır. Küre şekilli taneler en düşük rulo hızında tamamen rulo hızının etkisi altında kalarak manyetik rulodan uzağa savrulmuştur.

Rulo hızı arttıkça rulo eksenine paralel beslenen silindir şekilli ve küre şekilli tanelerin katettikleri mesafelerin değişmediği, düşük küresellik faktörüne sahip diğer tanelerin davranımlarında değişiklikler olduğu belirlenmiştir. Rulo hızı arttıkça disk şekilli taneler rulodan kopma eğilimindedir. Nitekim en yüksek rulo hızında tüm disk şekilli taneler rulodan uzağa savrulmuştur. Küp şekilli taneler için rulo hızı arttıkça iri tane boylarında pozitif, ince tane boylarında negatif yönde giderek artan mesafe değerleri kaydedilmiştir. Rulo eksenine dik beslenen silindir şekilli taneler, ince tane boylarında rulo eksenine paralel beslenen tanelere benzer şekilde, iri tane boylarında ise küp şekilli tanelere benzer şekilde hareket etmektedir.

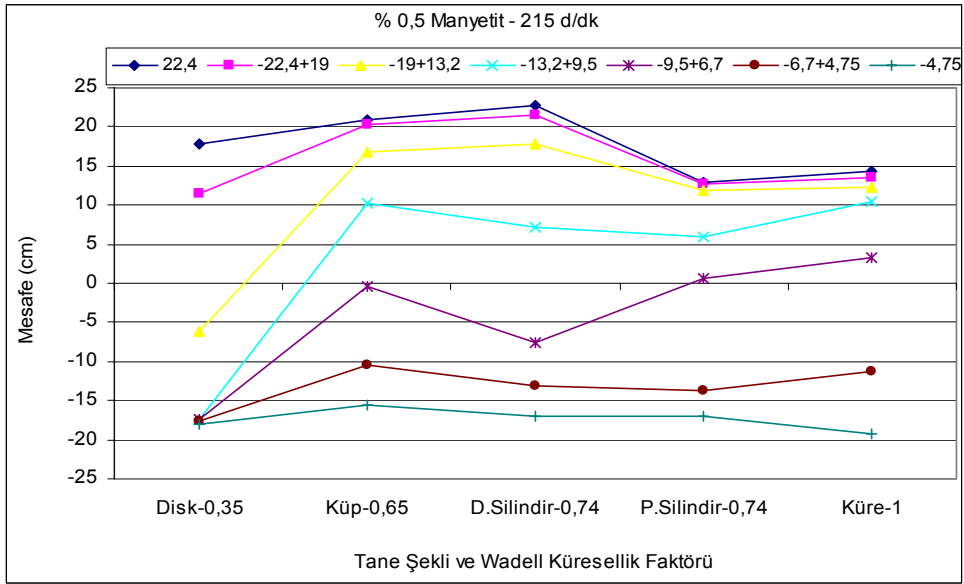
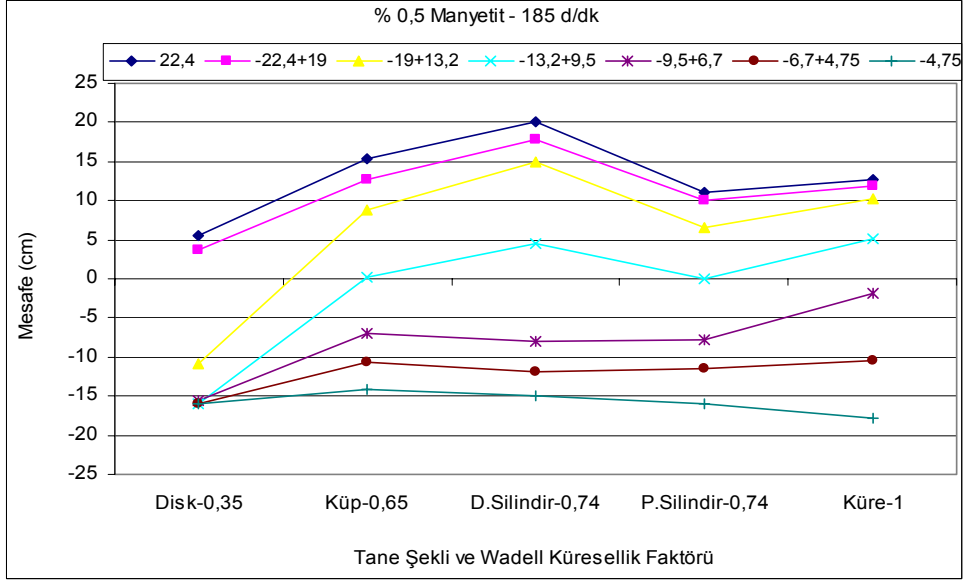
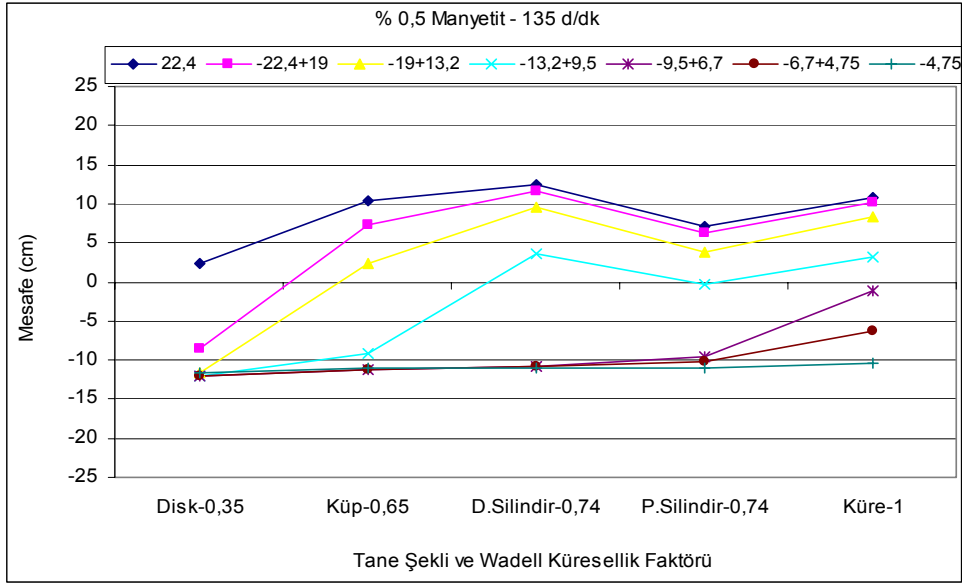
Tane boyuna bağlı ayırım rulo hızı arttıkça, iri tane boylarında ve düşük küresellik faktörü değerlerinde görülmektedir.

#### 4.2.1.3. %0,5 Manyetit İçeren Taneler

%0,5 manyetit içeren taneler için farklı rulo hızlarında katedilen mesafelerin şekil ve Wadell Küresellik Faktörü ile değişimi Şekil 4.9'da verilmektedir.



Şekil 4.9. Manyetit içeriği %0,5 olan tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin tane şekline bağlı değişimi



Şekil 4.9. Devam ediyor

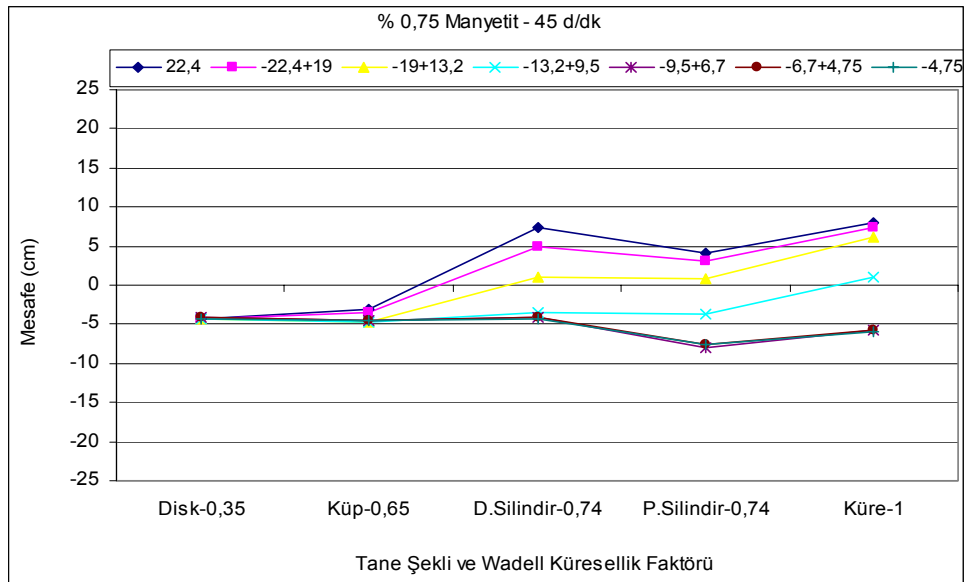
Manyetik alınganlıktaki artışın etkileri düşük rulo hızlarında çok belirgin değildir. Disk şekilli taneler ile tüm ince boyutlu taneler tamamen manyetik rulo tarafından tutulmaktadır. Tane boyu ve küresellik faktörü büyüdükçe katedilen mesafe değerleri pozitif yönde artmıştır.

Rulo hızı arttıkça tüm şekiller için iri taneler merkezkaç kuvvetin etkisi altında kalmakta ve rulodan uzağa savrulmaktadır.

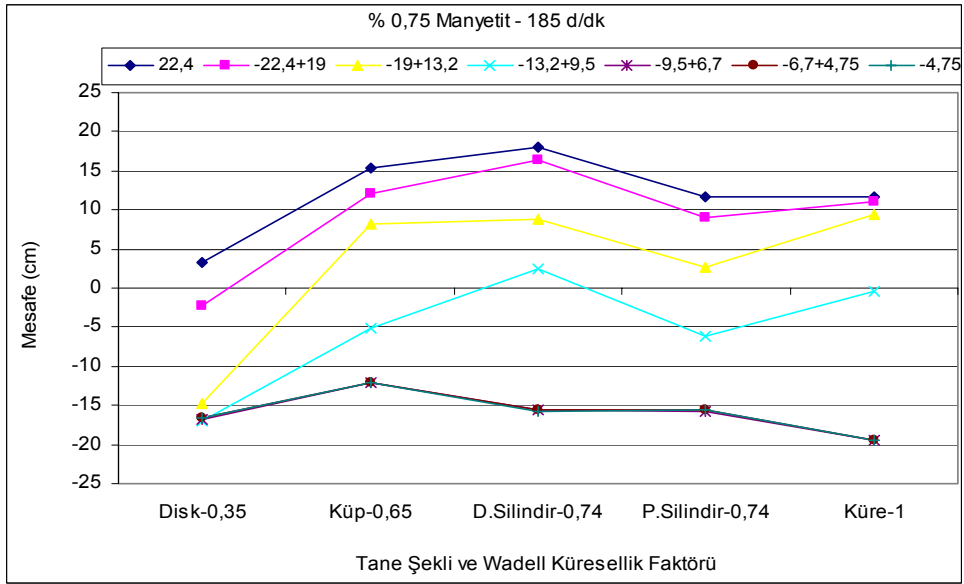
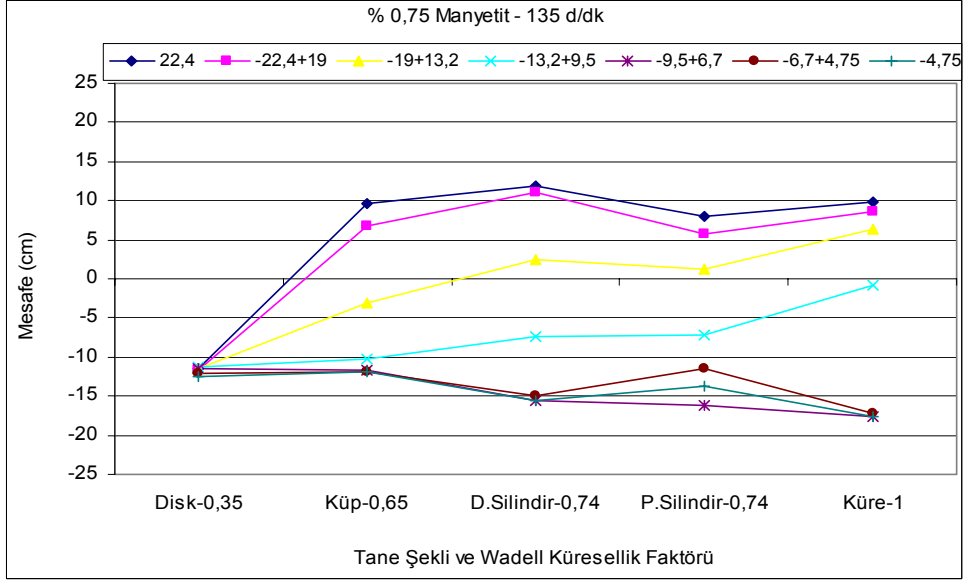
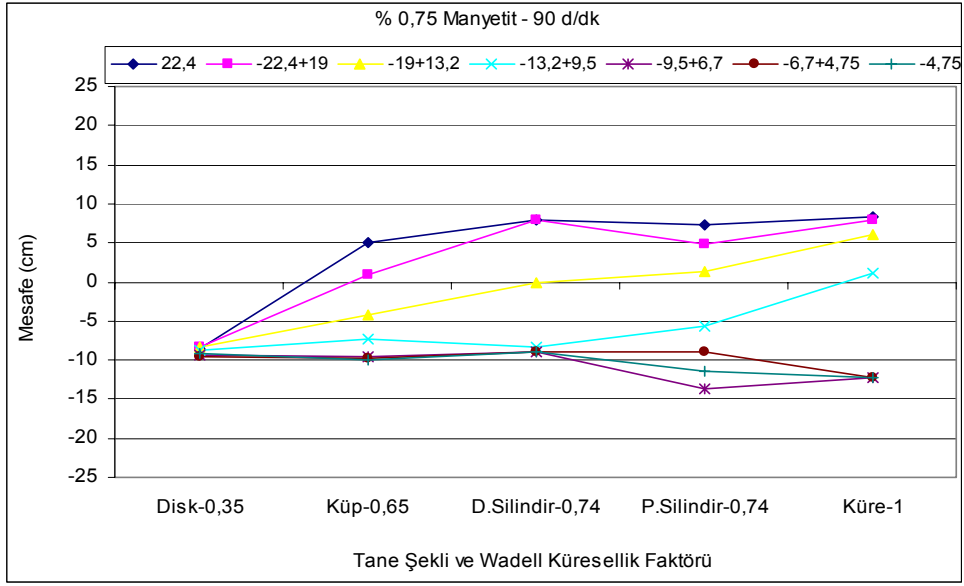
Küresellik faktörü büyük olan şekiller için iri tane boylarında katedilen mesafeler çok değişmemekte, -13,2 +6,7 mm aralığındaki taneler manyetik çekim kuvvetini yenecek şekilde hareket etmekte ve en ince taneler de manyetik rulo tarafından tutularak gittikçe daha uzak mesafelere savrulmaktadır.

#### 4.2.1.4. % 0,75 Manyetit İçeren Taneler

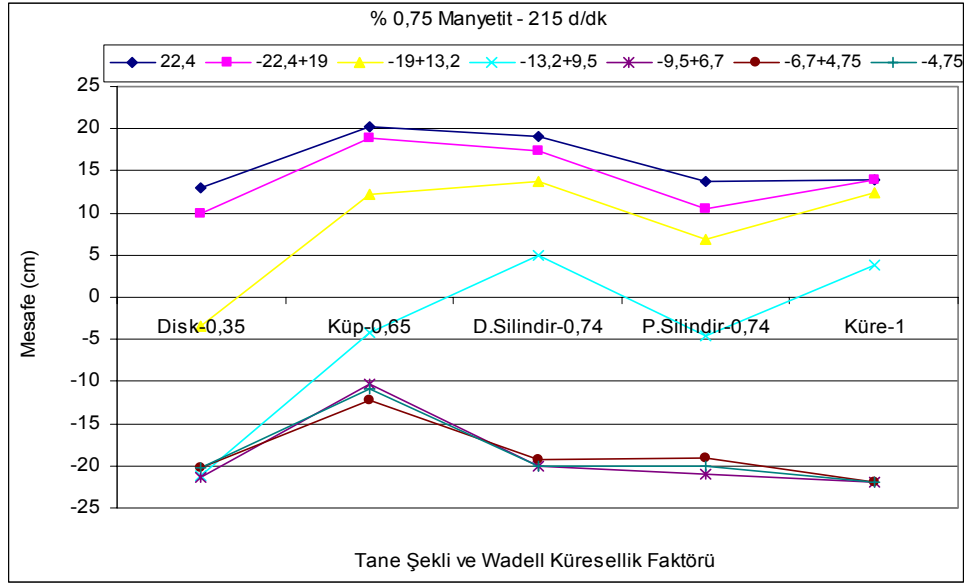
%0,75 manyetit içeren taneler için katedilen mesafelerin şekil ve Wadell Küresellik Faktörü ile değişimi Şekil 4.10'da verilmektedir.



Şekil 4.10. Manyetit içeriği %0,75 olan tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin tane şekline bağlı değişimi



Şekil 4.10. Devam ediyor



Şekil 4.10. Devam ediyor

Yüksek alınganlıklılı tanelerin davranımları incelendiğinde düşük rulo hızlarında küresellik değeri düşük tanelerin esas olarak manyetik kuvvet etkisinde kaldıkları görülmektedir. Bu şartlarda küresellik değeri büyüdükçe iri taneler rulodan küçük kopma açılarında ayrılmakta ve rulodan pozitif yönde uzağa savrulmaktadır. Küresellikteki artış tane boyu arttıkça ciddi bir fark doğurmamaktadır.

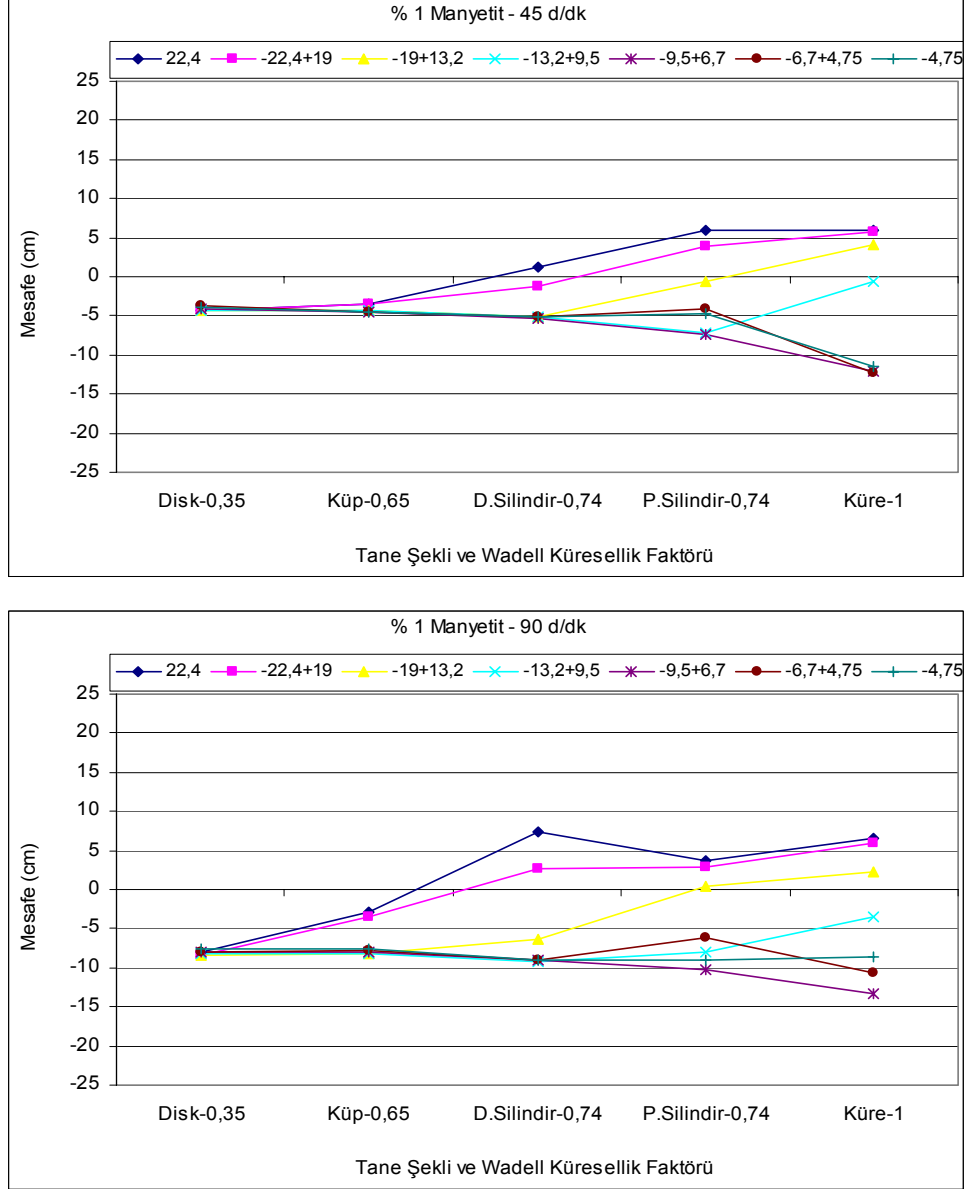
Rulo hızı arttıkça taneler şekil, rulo hızı ve tane boyuna bağılı olarak farklı davranımlar sergilemektedir. İri boy tanelerin yüksek küresellik değeri katettikleri mesafelerde önemli değişiklikler olmamaktadır. En ince boyutlu taneler rulo hızı arttıkça manyetik rulo tarafından tutulmakta ve rulodan daha da uzağa savrulmaktadır. Küreselliği en düşük olan disk şekilli taneler tane boyu büyüdükçe pozitif değeri alsalar da tüm şekiller arasında en düşük mesafe değerlerine sahiptir. Bu da disk şekilli tanelerin manyetik çekim kuvvetinden daha çok, merkezkaç kuvvetten daha az etkilendiğini göstermektedir. Küreselliği büyük olan özellikle rulo eksenine dik beslenen silindir şekilli ve küp şekilli taneler, tane boyu büyüdükçe rulodan daha da uzağa savrulmaktadır.

Tane boyuna bağılı bir ayırım rulo hızı arttıkça tüm şekillerde gözlenmektedir. Bu ayırım en çok, rulo eksenine dik beslenen silindir şekilli tanelerde belirgindir.

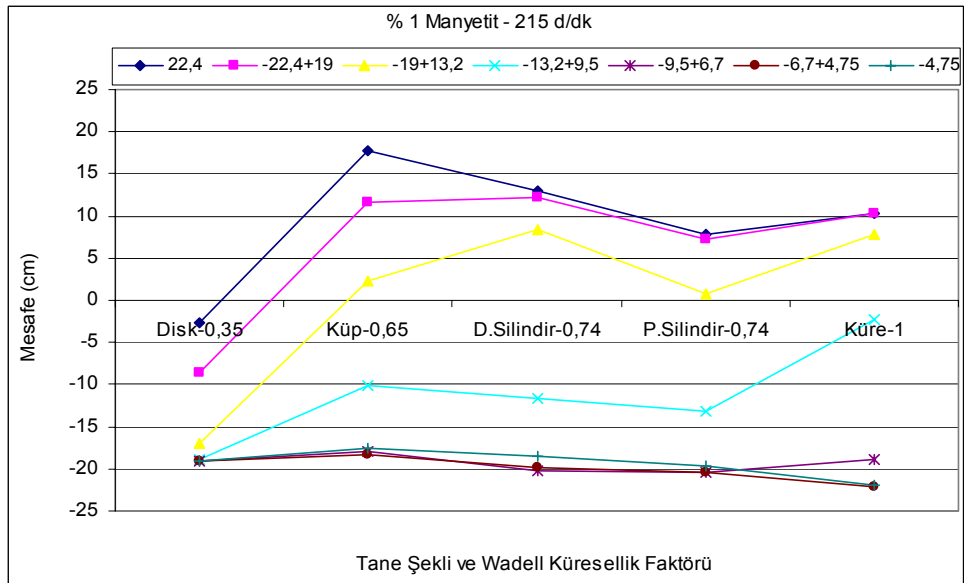
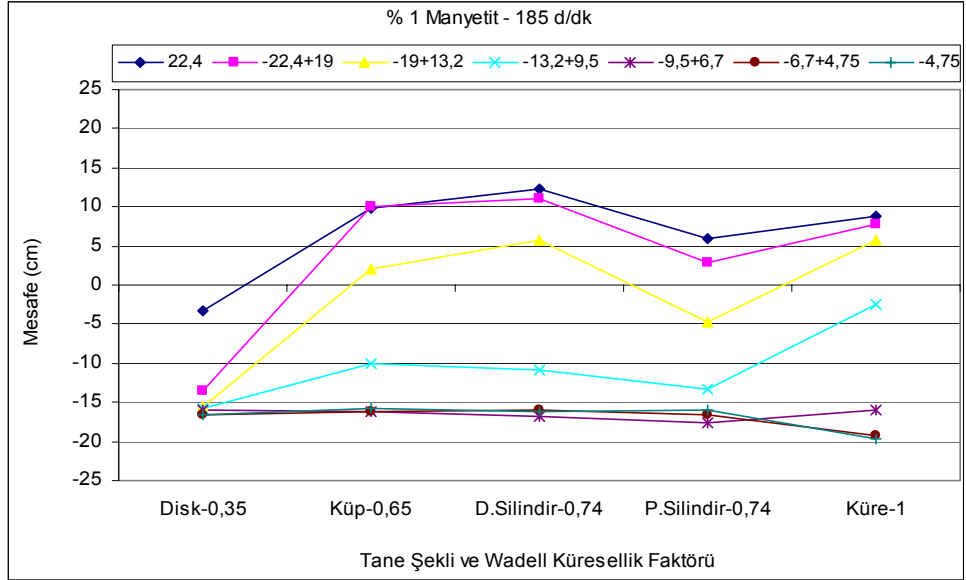
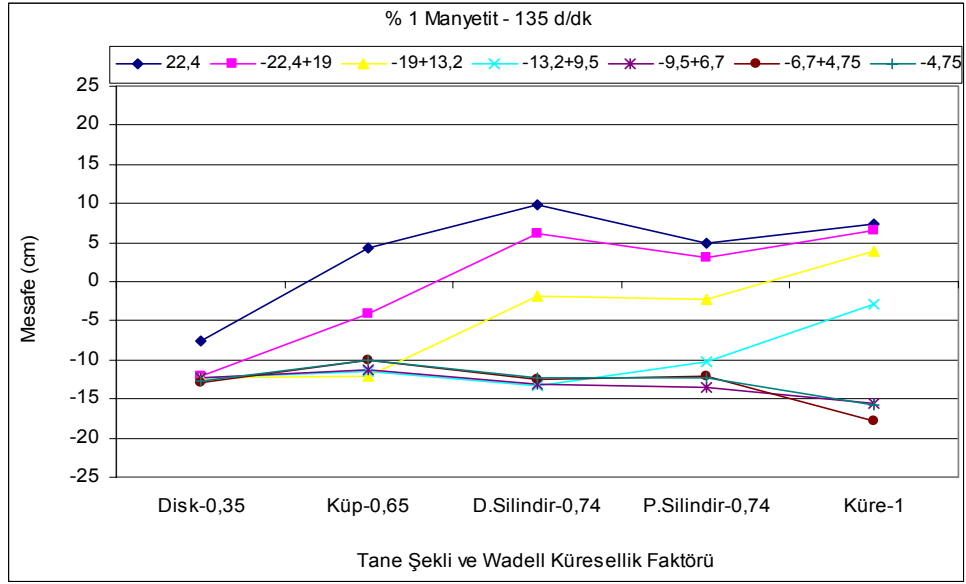


#### 4.2.1.5. % 1 Manyetit İçeren Taneler

% 1 manyetit içeren taneler için farklı rulo hızlarında katedilen mesafelerin şekil ve Wadell Küresellik Faktörü ile değişimi Şekil 4.11’de verilmektedir.



Şekil 4.11. Manyetit içeriği % 1 olan tanelerin farklı rulo hızlarında katettikleri mesafelerin tane şekline bağlı değişimi



Şekil 4.11.Devam ediyor

Manyetit içeriği en yüksek olan taneler incelendiğinde, düşük küresellik değerlerine sahip olan tanelerin tüm rulo hızlarında manyetik rulo tarafından tutuldukları görölmektedir. 13,2 mm'den daha küçük boyutlu tüm taneler rulo hızı artsa da manyetik çekim kuvvetini yenememekte ve manyetik rulo tarafından tutulmaktadır.

13,2 mm'den daha büyük boyutlu tanelerin düşük rulo hızlarında ve farklı küresellik değerlerindeki davranımları farklılıklar göstermektedir. Düşük rulo hızlarında iri boy taneler küresellik arttıkça azalan kopma açıları ile kopmakta ve rulodan uzağa savrulmaktadır. Yüksek küresellik faktörü değerlerine sahip olan iri boy taneler rulo hızı arttıkça rulodan uzağa savrulmakla birlikte katettikleri mesafeler değişmemektedir. Esas değişiklikler küreselliği daha düşük, iri boy tanelerde olmaktadır. Küp şekilli ve rulo eksenine dik beslenen silindir şekilli tanelerin kopma açıları rulo hızı arttıkça küçölmekte, böylece rulodan savrularak katettikleri mesafeler de büyümektedir.

Manyetit içermeyen tanelerin tamamı merkezkaç kuvvet etkisi ile rulodan uzağa savrulmakta ve artan rulo hızı ile mesafe değerleri de büyümektedir. Küresellik faktörü en yüksek olan küre şekilli taneler tüm tane boyu değerlerinde ve tüm rulo hızlarında hemen hemen aynı mesafeleri katetmektedir. Buna göre manyetik alınganlık göstermeyen ve küreselliği yüksek olan tanelerin hareketlerinin tane boyundan bağımsız olduğu söylenebilir. Benzer davranım rulo eksenine paralel beslenen silindir şekilli tanelerde de mevcuttur. Yalnızca çok yüksek rulo hızlarında ve tane boyu küçöldükçe katedilen mesafelerin bir miktar arttđı gözlenmiştir.

Küresellik faktörü düşük olan taneler ise rulo hızına bağlı olarak, gittikçe artan mesafeler katetmektedir. Tane boyu küçöldükçe katedilen mesafeler bir miktar azalmaktadır. Küresellik azaldıkça ve rulo hızı arttıkça katedilen mesafeler büyük oranda artarken düşük rulo hızlarında mesafeler bir miktar azalmıştır.

Manyetik alınganlığı bir miktar artan tanelerin küresellik değerleri büyödükçe katettikleri mesafelerdeki değişim de sınırlı kalmaktadır. Rulo eksenine paralel beslenen silindir şekilli taneler ve küre şekilli taneler büyük tane boyu değerlerinde manyetik rulodan koparak hemen hemen aynı mesafelere savrulmaktadır.

Katettikleri mesafeler, tane boyu küçüldüğünde, özellikle -4,75 mm fraksiyonunda ortaya çıkmaktadır. Bu taneler büyük oranda manyetik çekim kuvveti etkisi altında kalarak rulodan büyük kopma açısı değerlerinde ayrılmakta ve negatif mesafe değerleri elde edilmektedir. Düşük alınganlıklılı ve yüksek küreselliğe sahip tanelerin çok küçük tane boyları haricinde davranımları tane boyundan ziyade rulo hızı tarafından belirlenmektedir.

Küresellik değeri düşük tanelerin düşük rulo hızlarında rulodan fazla uzağa savrulmadıkları, tane boyu küçüldükçe de manyetik rulo tarafından tutuldukları belirlenmiştir. Rulo hızı arttıkça ve küresellik azaldıkça katedilen mesafeler de giderek küçülmektedir. 13,2 mm'den büyük ve küresellik değeri 0,65'in üzerinde olan taneler manyetik çekim kuvvetini yenebilirken küresellik ve rulo hızı azaldıkça taneler manyetik rulo tarafından tutulmaktadır.

Tane boyu 9,5 mm'den küçük olan düşük küresellik faktörüne sahip taneler manyetik kuvvet etkisinde kalmaktadır. Yüksek rulo hızlarında ve küçük tane boylarında disk şekilli taneler, küp şekilli tanelerden farklı hareket etmektedir. Özellikle -4,75 mm fraksiyonundaki disk şekilli taneler, küreselliği en yüksek olan küre ve rulo eksenine paralel beslenen tanelere benzer şekilde davranmakta, yüksek rulo hızlarında dahi ruloya yakın mesafelere düşmektedir. Bunun aksi şekilde, küp şekilli ve rulo eksenine dik beslenen silindir şekilli taneler en ince tane boyu ve yüksek rulo hızlarında negatif yönde daha fazla mesafe katetmektedir. Bu da, en ince tane boylarında tane hareketinin şekilden çok, tanenin banttan ayrılırken etkisi altında kaldığı manyetik kuvvet ve rulo hızı ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu tanelere etkiyen bileşke kuvvet daha çok merkezkaç kuvvet yönündedir.

Manyetit içeriği % 0,5 olan taneler incelendiğinde 6,7 mm'den küçük tüm tanelerin manyetik rulo tarafından tutulduğu ve birbirine benzer mesafeler katettikleri görülmektedir. Buna göre, manyetik alınganlığı artan tanelerde tane boyu küçüldükçe tane şeklinin önemi ortadan kalkmaktadır.

Tane boyu büyüdükçe özellikle düşük rulo hızlarında katedilen mesafeler küresellik faktörü büyüdükçe artmaktadır. Manyetit içeriği % 0,5 olan tanelerden

manyetik çekim kuvvetinden en çok etkilenen taneler disk şekilli tanelerdir. Disk şekilli taneler ancak 19 mm'den büyük tane boyu ve yüksek rulo hızlarında manyetik kuvveti yenebilmektedir. Rulo eksenine paralel beslenen silindirik şekilli taneler ile küre şekilli taneler benzer davranım sergilemektedir. Tane boyu büyüdükçe katettikleri mesafeler hemen hemen aynı kalmaktadır.

Düşük rulo hızlarında ve küçük tane boyu değerlerinde disk şekilli tanelerin dışındaki tanelerin davranımını birbirine benzemektedir. Tane boyu büyüdükçe rulo eksenine dik beslenen taneler ve küp şekilli tanelerin bir miktar daha fazla mesafe kaydettikleri görülmektedir. Tane boyu büyüdükçe ve rulo hızı arttıkça bu iki şekle sahip taneler tamamen merkezkaç kuvvetinin etkisinde hareket etmekte ve 19 mm'den büyük tane boylarında tamamen pozitif değerler elde edilmektedir.

Rulo hızının etkisi, küreselliği düşük taneleri daha çok etkilerken, küresellik arttıkça rulo hızının kat edilen mesafelerde fark oluşturmadığı söylenebilir.

Manyetik alınganlık arttıkça manyetik kuvveti yenemeyen tanelerin boyutu da büyümektedir. % 0,75 manyetit içeren tanelerden 9,5 mm ve daha küçük boyutlu olanlar tamamen manyetik rulo tarafından tutulmuştur. Bu tanelerin katettikleri mesafelerin artışı rulo hızındaki artışa bağlıdır ve şekildeki değişiklikler etkin değildir.

Tane boyu büyüdükçe ve rulo hızı arttıkça bileşke kuvvet merkezkaç etkisinde oluşmakta ve rulodan kopan tanelerin katettiği mesafeler de büyümektedir. İri tane boylarında rulo hızından en çok etkilenen taneler disk ve küp şekilli tanelerdir. Bu taneler düşük rulo hızlarında manyetik rulo tarafından tutulurken, rulo hızı arttıkça manyetik ruloyu terkederek giderek artan mesafe değerleri katetmektedir.

Rulo eksenine dik beslenen silindirik şekilli taneler yüksek rulo hızlarında 9,5 mm'den itibaren manyetik çekim kuvvetini yenebilmektedir. Tane boyu büyüdükçe manyetik çekim kuvvetini rulo eksenine paralel beslenen tanelerden daha kolay yenebilmektedir.

Küresellik faktörü en büyük olan tanelerin artan tane boyu ve rulo hızına bağlı olarak katettikleri mesafeler artsa da rulo hızının etkisi sınırlı kalmaktadır. Tane boyu büyüdükçe küre şekilli taneler rulo eksenine paralel beslenen tanelerden daha uzağa savrulmaktadır.

En yüksek manyetik alınganlığa sahip 13,2 mm ve daha küçük boyuta sahip taneler manyetik rulo tarafından tutulmaktadır. Tane boyu küçüldükçe küre şekilli taneler özellikle düşük rulo hızlarında diğer tanelerden daha uzağa savrulmuştur. Benzer davranım, sınırlı şekilde de olsa silindir şekilli tanelerde de mevcuttur.

Tane boyu büyüdükçe küreselliği en büyük olan tanelerin manyetik ruloyu daha kolay terk etmeye başladıkları görülmektedir. Ancak, rulo hızının artışı bu tanelerin katettikleri mesafeleri çok fazla değiştirmemektedir.

En düşük küresellik değerine sahip olan disk şekilli taneler tüm tane boylarında ve tüm rulo hızlarında manyetik rulo tarafından tutulabilmektedir. Tane boyu küçüldükçe rulo hızı etkisini daha çok göstermekte, manyetik rulodan kopan tanelerin katettiği mesafeler de büyümektedir. Tane boyu büyüdükçe taneler ruloya daha yakın noktalara düşseler de rulo hızının etisinin azaldığı görülmektedir.

Küp ve rulo eksenine dik beslenen silindir şekilli taneler, tane boyu büyüdükçe daha düşük rulo hızlarında manyetik kuvveti yenebilmektedir. Özellikle iri boy taneler yüksek rulo hızlarında küre şekilli tanelerden daha fazla mesafe kaydetmektedir.

Küresellik değeri artan tanelerin artan tane boylarında manyetik rulo tarafından tutulamayacağı açıktır. Küreselliği düşük olan iri boy tanelerin ise ancak düşük rulo hızlarında tutulmaları mümkün olacaktır.

## 5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneysel sonuçlar incelenirken, rulo tipi manyetik ayırıcıdan savrulan tanelerin katettikleri mesafelerin, incelenen işlem değişkenlerinin tümünden farklı şekillerde etkilendiği görülmüştür. Tek bir işlem değişkeni için tanenin katettiği mesafeyi doğrudan etkilediği söylenemez. Bu yüzden, öncelikle tanelerin katettikleri mesafelerin işlem değişkenleri ile değişimi hakkında genel değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirmeler, manyetik ayırıcıya beslenen tanelerin bölücü bıçak konumu ayarlandığında ekipmanda hangi kompartmana gönderilecekleri ve ürün olarak nasıl sınıflandırılacağı gözetilerek tamamlanmıştır.

### 5.1. Manyetik Alınganlığın Etkisi

Tanelerin katettikleri mesafelere manyetik alınganlığın etkisi değerlendirilirken, manyetit içermeyen taneler değerlendirme dışında bırakılmıştır. Manyetik alınganlık artışı ilk olarak ince tane boyundaki taneleri etkilemektedir. Bu taneler, artan manyetik çekim kuvveti etkisiyle merkezkaç kuvvetten kurtulmakta ve rulo tarafından tutulmaktadır. Tane boyu irileştikçe taneler rulodan daha uzak mesafelere düşmektedir. Ancak, iri tanelerin manyetik rulo tarafından tutulması, şekil ve rulo hızı ile yakından ilişkilidir. Rulo hızındaki artış tanelerin katettiği mesafeyi farklı oranlarda büyütmektedir. Manyetik alınganlığı artan taneler küresellik değeri büyüdükçe ve yüksek rulo hızlarında manyetik çekim kuvvetini yenebilmekte ve rulodan giderek daha uzağa savrulmaktadır.

### 5.2. Tane Boyunun Etkisi

Tane boyundaki değişiklikler, artan rulo hızına bağlı olarak özellikle rulo eksenine dik olarak beslenen taneler olmak üzere düşük küresellik değerine sahip tanelerin rulodan daha uzağa savrulmalarına yol açmaktadır. Bu davranım tüm tane boyları için geçerlidir. Manyetit içermeyen iri boyutlu tanelerden küresellik değerleri en büyük olan taneler diğer şekillere göre, ruloya daha yakın noktalara düşmekte ve katettikleri mesafeler tane boyundan en az etkilenmektedir. Manyetik alınganlık arttıkça iri ve yüksek küreselliğe sahip taneler manyetik rulo tarafından tutulamamaktadır. İri boy tanelerde alınganlık arttıkça disk şekilli tanelerin

manyetik rulo tarafından tutulma imkanı artmaktadır. Tane boyu küçüldükçe, özellikle 9,5 mm'den küçük tanelerin davranımı tamamen değişmektedir. En ince boyutlu taneler manyetik rulo tarafından tutulmakta ve rulo hızı arttıkça negatif yönde daha fazla mesafe katetmektedir. Dolayısıyla, yüksek alınganlığa sahip ve 13,2 mm'ye kadar ulaşabilen tane boylarına sahip taneler, tane şeklinden ve rulo hızından bağımsız olarak manyetik rulo tarafından tutulabilmektedir.

### **5.3. Rulo Hızının Etkisi**

Farklı tane şekillerine ve tane boylarına sahip değişik manyetik alınganlıklardaki taneler rulo hızı arttıkça merkezkaç kuvvetten daha fazla etkilenmektedir. Manyetik kuvvetten etkilenmeyen taneler artan rulo hızı ile rulodan daha uzağa savrulmaktadır. Özellikle küresellik değeri azaldıkça rulo hızı ile savrulma daha fazla olmaktadır. Manyetik alınganlığı artan yüksek küresellik değerlerine sahip tanelerin manyetik rulo tarafından tutulabilmeleri ancak düşük rulo hızlarında mümkündür.

### **5.4. Şeklin Etkisi**

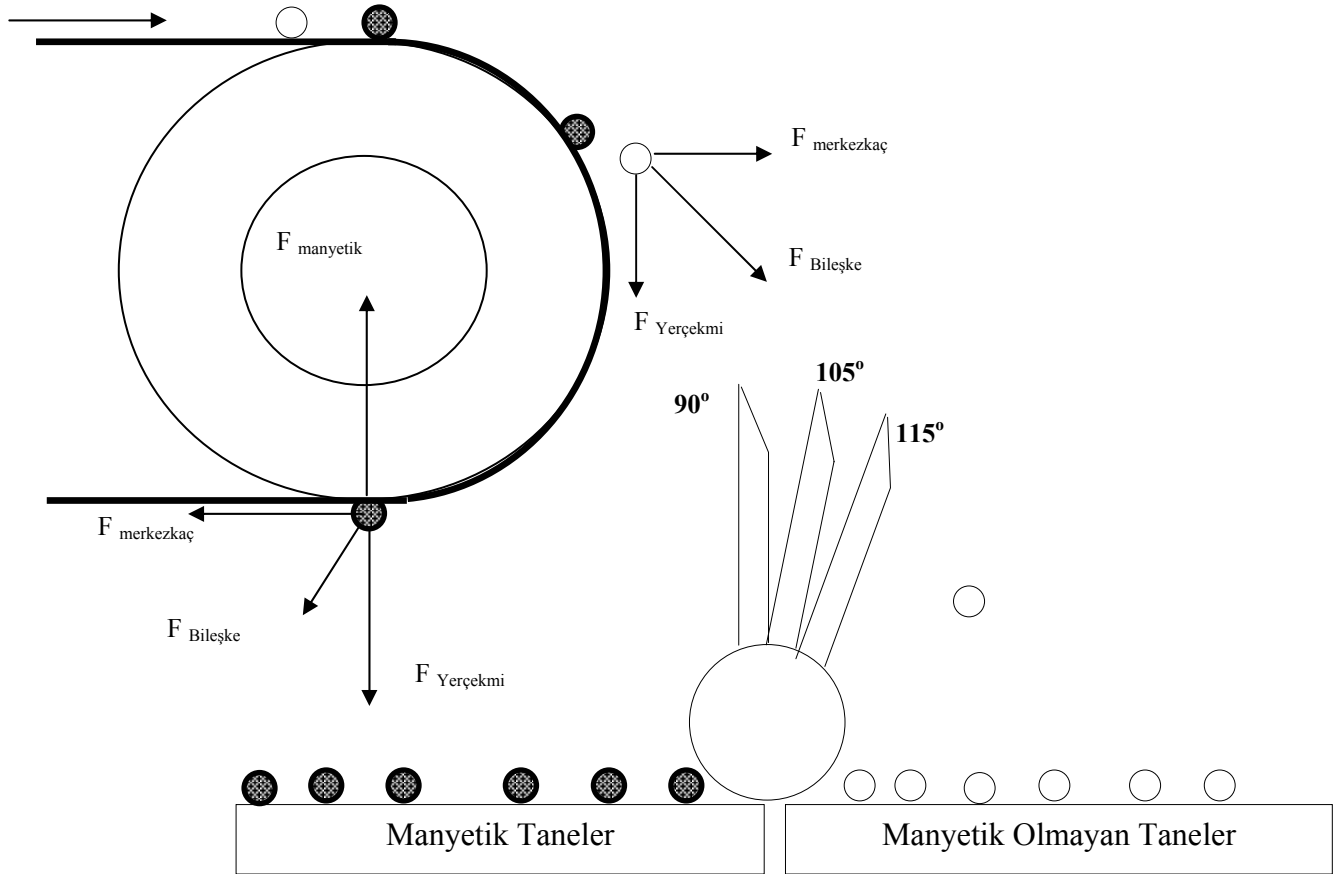
Manyetit içermeyen taneler düşük rulo hızlarında ruloya yakın mesafelere düşmektedir. Rulo hızı arttıkça küresellikteki değişime bağlı olarak katedilen mesafeler değişmektedir. Küreselliği yüksek taneler artan rulo hızından daha az etkilendikleri için rulodan uzaklaşma dereceleri düşük kalmaktadır. Küresellik arttıkça bant ile tane arasındaki temas yüzeyi küçüldüğü için tane hareketine tane boyu ve rulo hızının etkisi sınırlı kalmaktadır. Bu durum, alınganlık arttıkça daha net ortaya çıkmaktadır. Yüksek küreselliğe sahip taneler ancak tane boyu küçüldüğünde manyetik rulo tarafından tutulabilmektedir. Küresellik azaldıkça iri boy taneler özellikle yüksek rulo hızlarında manyetik çekim kuvvetinden kurtulabilmektedir. En düşük küreselliğe sahip taneler ise yüksek alınganlık değerlerinde tamamen manyetik rulo tarafından tutulma eğilimindedir.



## 5.5. Bölücü Bıçak Konumunun Etkisi

DeneySEL sonuçların değerlendirilmesi aşamasında, rulo tipi manyetik ayırıcının ayırım performansı hem çalışma kapsamında incelenen parametreler, hem de elde edilen mesafe ölçümlerine göre belirlenen bölücü bıçak konumu gözetilerek yapılmıştır.

Deneyler sırasında bölücü bıçakları da taşımakta olan malzeme hazneleri takıldığında bölücü bıçak konumuna göre ölçülen mesafelerden hareket ederek manyetik ürün ve manyetik olmayan ürün sınıflamasını yapmak mümkün olmaktadır. Bölücü bıçağın konumuna göre tanelerin ayrılacakları ürün bölmeleri ve tane hareketlerini belirleyen kuvvet vektörleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Bölücü bıçak konumuna göre manyetik ve manyetik olmayan tanelerin ayırımını etkileyen vektör çizimleri

Bölücü bıçak ayarı manyetik ruloya en yakın konumunu  $90^{\circ}$  değerinde almaktadır. Ekipman üzerinde yapılan ölçümler ve deney düzeneğinin yerleşimine göre, bölücü bıçak  $90^{\circ}$ 'lik açığa ayarlandığında bölücü bıçak tarafından ayrılan tanelerin kum havuzu üzerinde rulo merkezinden itibaren 6,5 cm mesafe katettikleri belirlenmiştir. Bölücü bıçak konumu  $105^{\circ}$ 'ye ayarlandığında elde edilen yay dikkate alındığında 9,5 cm'lik mesafe kateden tanelerin, ve rulodan en uzak bölücü bıçak konumu olan  $115^{\circ}$  lik açı değerinde savrulma mesafesi 11,5 cm olarak ölçülen tanelerin manyetik veya manyetik olmayan ürün şeklinde ayrılacakları belirlenmiştir.

Tanelerin katettikleri mesafeler buna göre düzenlenmiş, 6,5 cm'den daha düşük mesafe kateden taneler manyetik ürün olarak isimlendirilmiştir. Bölücü bıçak konumu da  $90^{\circ}$ ,  $105^{\circ}$  ve  $115^{\circ}$  değerleri için değerlendirilmiş, bu bölücü bıçak konumlarında tutulabilen taneler belirlenmiştir. Her koşulda bölücü bıçak tarafından ayrılmayan taneler de manyetik olmayan ürün olarak adlandırılmıştır.

Yatay atış eşitlikleri kullanılarak manyetik alınganlığı sıfır olan bir tane için katedilecek mesafe hesapları yapılmıştır. Bu hesapların sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Yatay atış eşitlikleri kullanılarak manyetik alınganlık göstermeyen taneler için hesaplanan mesafe değerleri

Rulo Hızı (devir/dk)	Rulo Hızı (m/s) (İlk Hız)	Rulo Merkezinden İtibaren Katedilen Mesafe (cm)
45	0,24	9,5
90	0,47	14,0
135	0,71	18,5
185	0,97	23,6
215	1,13	26,6

Buna göre, manyetik alınganlık göstermeyen taneler ölçüm aralığındaki en düşük rulo hızı olan 45 devir/dk hızında  $90^{\circ}$ 'lik bölücü bıçak ayarında manyetik olmayan

ürün bölgesine savrulacakları görülmektedir. Rulo hızı 45 d/dk iken bölücü bıçak konumu rulodan 105° uzakta ve bunun üzerindeki açı değerlerine yükseltirirse, tanelerin manyetik alınganlık göstermeseler dahi bölücü bıçak tarafından ayrılma olasılığı doğmaktadır. Rulo hızının daha büyük değerlerinde ve tüm bölücü bıçak konumlarında manyetik olmayan ürün olarak alınabileceklerdir.

Her bir şekil için ayrı ayrı olmak üzere, tanelerin katettikleri mesafeler farklı bölücü bıçak konumlarında bıçak tarafından ayrılıp ayrılmayacaklarını gösterecek şekilde aşağıdaki çizelgelerde renklendirilmiş halde verilmiştir. Bölücü bıçak konumu 90° olarak ayarlandığında sarı, açı 105° olarak ayarlandığında mavi ve açı 115° olarak ayarlandığında kırmızı renkle gösterilen mesafeleri kateden taneler manyetik olmayan taneler olarak değerlendirilmiştir.

### **5.5.1. Küre Şekilli Taneler**

Küre şekilli tanelerin katettikleri mesafeler farklı bölücü bıçak ayarları için değerlendirilmiş ve Çizelge 5.2. de farklı renklere gösterilmiştir.

Bölücü bıçak konumu 90° olarak ayarlandığında küre şekilli tanelerden en düşük alınganlığa sahip olan manyetik içermeyen tanelerin manyetik olmayan ürün kompartmanına geçecekleri görülmektedir. Açı 105°'ye yükseltildiğinde mavi renkle gösterilen mesafeleri kateden 45 d/dk rulo hızındaki tüm taneler ile 90 ve 135 d/dk hızlarında küçük tane boyuna sahip taneler manyetik ürün kısmına dahil olmaktadır. Bu tanelerin manyetik ürün olarak değerlendirilmemesi için bölücü bıçak konumu ruloya en yakın açı değeri olan 90°'ye ayarlanarak en düşük rulo hızlarında çalışılmalıdır.

Manyetik alınganlık arttıkça bölücü bıçak açısının büyütülmesi gerektiği görülmektedir. Düşük rulo hızlarında alınganlık arttıkça manyetik ürün olarak değerlendirilecek tanelerin hem tane boyu büyüdükçe hem de daha yüksek rulo hızlarında dahi manyetik rulo tarafından tutulabildikleri görülmektedir. Manyetik alınganlık arttıkça düşük rulo hızlarında taneler daha kolay tutulmaktadır.

Çizelge 5.2. Küre şekilli tanelerin farklı bölücü bıçak konumlarında katettikleri mesafelerin değerlendirilmesi

Manyetit İçermeyen		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	11	12,1	12,4	13,2	14	
-22,4+19	11,2	12,0	12,2	13,4	15,0	
-19+13,2	11,1	11,5	11,9	12,9	14,7	
-13,2+9,5	10,4	11,2	11,5	12,5	14,4	
-9,5+6,7	10,2	11,1	11,5	12,3	14,0	
-6,7+4,75	10,2	11,1	11,5	12,4	14,0	
-4,75	10,1	11,0	11,4	12,5	13,9	
%0,25 Manyetit		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	10,0	12,0	11,5	14,0	14,5	
-22,4+19	9,9	10,8	10,6	12,9	13,2	
-19+13,2	9,4	9,5	9,6	11,9	12,5	
-13,2+9,5	7,6	7,8	8,4	11,3	12,6	
-9,5+6,7	5,9	6,0	6,2	8,1	12,0	
-6,7+4,75	4,8	4,3	5,5	7,7	11,5	
-4,75	0,8	-1,0	-0,3	-1,0	-2,0	
%0,5 Manyetit		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	9,7	9,7	10,9	12,7	14,4	
-22,4+19	8,8	8,9	10,2	11,8	13,5	
-19+13,2	7,2	8,0	8,3	10,2	12,3	
-13,2+9,5	5,6	5,8	3,2	5,2	10,4	
-9,5+6,7	2,8	0,7	-1,1	-1,8	3,2	
-6,7+4,75	-2,2	-4,0	-6,3	-10,5	-11,3	
-4,75	-4,3	-11,2	-10,3	-17,9	-19,2	
%0,75 Manyetit		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	8,0	8,3	9,8	11,7	13,9	
-22,4+19	7,3	8,0	8,7	11,1	13,9	
-19+13,2	6,2	6,1	6,3	9,3	12,3	
-13,2+9,5	1,0	1,1	-0,7	-0,4	3,9	
-9,5+6,7	-5,7	-12,2	-17,7	-19,5	-22,0	
-6,7+4,75	-5,8	-12,3	-17,3	-19,5	-22,0	
-4,75	-6,0	-12,2	-17,7	-19,5	-22,0	
%1 Manyetit		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	6,0	6,5	7,3	8,8	10,4	
-22,4+19	5,8	5,9	6,5	7,8	10,3	
-19+13,2	4,0	2,2	3,9	5,7	7,9	
-13,2+9,5	-0,6	-3,4	-3,0	-2,5	-2,4	
-9,5+6,7	-12,1	-13,4	-15,6	-16,0	-18,9	
-6,7+4,75	-12,3	-10,6	-17,8	-19,2	-22,1	
-4,75	-11,5	-8,6	-15,7	-19,7	-22,0	

## 5.5.2. Silindir Şekilli Taneler

### 5.5.2.1. Rulo Eksenine Paralel Beslenen Taneler

Rulo eksenine paralel beslenen silindir şekilli tanelerin katettikleri mesafeler farklı bölücü bıçak ayarları için değerlendirilmiş ve Çizelge 5.3. de farklı renklerde gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Rulo eksenine paralel beslenen silindir şekilli tanelerin farklı bölücü bıçak konumlarında katettikleri mesafelerin değerlendirmesi

Manyetit İçermeyen T.B.Aralığı (mm)	Mesafe (cm)					
	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	11,2	12,0	13,5	14,7	15,5	
-22,4+19	11,1	12,0	13,3	14,5	15,7	
-19+13,2	10,7	11,9	13,1	14,3	17,7	
-13,2+9,5	10,8	11,9	13,2	14,2	18,8	
-9,5+6,7	10,5	11,8	13,2	14,4	17,8	
-6,7+4,75	10,5	11,7	13,0	14,2	17,0	
-4,75	10,2	11,6	13,0	14,0	17,0	
%0,25 Manyetit T.B.Aralığı (mm)		Mesafe (cm)				
45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk		
+22,4	9,0	9,5	11,0	13,0	14,0	
-22,4+19	9,0	9,5	10,8	12,7	14,0	
-19+13,2	8,4	8,6	9,8	12,3	13,7	
-13,2+9,5	6,7	5,5	6,8	14,2	14,0	
-9,5+6,7	4,5	3,9	4,2	8,8	12,8	
-6,7+4,75	3,0	3,8	2,3	3,5	11,6	
-4,75	-1,7	-5,0	-4,2	-4,0	1,0	
%0,5 Manyetit T.B.Aralığı (mm)		Mesafe (cm)				
45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk		
+22,4	7,4	6,8	7,2	11,0	13,0	
-22,4+19	6,6	6,2	6,4	10,1	12,8	
-19+13,2	4,7	5,2	3,8	6,6	11,8	
-13,2+9,5	1,5	1,5	-0,3	-0,1	6,0	
-9,5+6,7	-2,9	-3,8	-9,6	-7,7	0,7	
-6,7+4,75	-2,2	-4,5	-10,2	-11,5	-13,8	
-4,75	-1,8	-8,0	-11,0	-16,0	-17,0	
%0,75 Manyetit T.B.Aralığı (mm)		Mesafe (cm)				
45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk		
+22,4	4,1	7,4	8,0	11,6	13,8	
-22,4+19	3,0	4,8	5,8	9,1	10,5	
-19+13,2	0,8	1,4	1,2	2,7	6,9	
-13,2+9,5	-3,7	-5,6	-7,2	-6,1	-4,7	
-9,5+6,7	-8,0	-13,7	-16,1	-15,7	-21,0	
-6,7+4,75	-7,5	-9,0	-11,5	-15,5	-19,0	
-4,75	-7,5	-11,5	-13,8	-15,5	-20,0	
%1 Manyetit T.B.Aralığı (mm)		Mesafe (cm)				
45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk		
+22,4	6,0	3,6	5,0	6,0	7,8	
-22,4+19	3,8	2,8	3,1	2,9	7,3	
-19+13,2	-0,7	0,4	-2,3	-4,7	0,7	
-13,2+9,5	-7,3	-7,9	-10,2	-13,3	-13,2	
-9,5+6,7	-7,4	-10,2	-13,6	-17,7	-20,5	
-6,7+4,75	-4,1	-6,2	-12,1	-16,7	-20,5	
-4,75	-4,7	-9,0	-12,2	-16,0	-19,7	

Rulo eksenine paralel beslenen silindir şekilli tanelerden manyetit içermeyenlerin 45 d/dk rulo hızından daha büyük hızlarda beslenmesi durumunda bölücü bıçak

açısı düşük tutulmalıdır. Açı 105°'ye yükseltirse çok düşük rulo hızlarında manyetik olmayan silindir şekilli taneler manyetik ürün olarak değerlendirilebilecektir. Daha yüksek rulo hızlarında ise bölücü bıçak açısı büyüse de taneler manyetik olmayan ürün kompartmanına geçmektedir.

Manyetik alınganlığı düşük silindir şekilli tanelerin düşük rulo hızlarında beslenmesi gerekirken, iri tanelerin tutulamayacağı görülmektedir. İri taneler, ancak çok yüksek alınganlığa sahipse manyetik ürün olarak alınabilmektedir. Alınganlığı çok yüksek tanelerden yalnızca 19 mm'den büyük boyutlu tanelerin 215 d/dk'dan daha düşük hızlarda ayrılması mümkün olmaktadır.

#### **5.5.2.2. Rulo Eksenine Dik Beslenen Taneler**

Rulo eksenine dik beslenen silindir şekilli tanelerin katettikleri mesafeler farklı bölücü bıçak ayarları için değerlendirilmiş ve Çizelge 5.4. de farklı renklere gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Rulo eksenine dik beslenen silindir şekilli tanelerin farklı bölücü bıçak konumlarında katettikleri mesafelerin değerlendirilmesi

Manyetit İçermeyen		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	10,8	13,0	16,2	21,8	23,2	
-22,4+19	10,6	12,9	15,9	21,1	22,9	
-19+13,2	9,9	12,6	15,3	20,0	21,7	
-13,2+9,5	9,9	12,4	15,1	19,9	21,0	
-9,5+6,7	9,7	12,0	14,9	19,4	20,8	
-6,7+4,75	9,5	11,6	13,2	16,0	20,0	
-4,75	9,1	11,5	13,2	16,0	20,0	
%0,25 Manyetit		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	7,0	11,0	15,0	20,0	22,0	
-22,4+19	6,9	10,6	14,6	20,1	20,7	
-19+13,2	6,5	9,3	12,9	18,8	20,0	
-13,2+9,5	2,8	5,9	8,4	14,2	19,7	
-9,5+6,7	0,4	1,1	2,5	6,9	12,5	
-6,7+4,75	-1,5	0,3	0,7	4,3	10,0	
-4,75	-1,0	-5,0	-4,7	-4,5	-9,2	
%0,5 Manyetit		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	5,3	7,9	12,4	20,0	22,7	
-22,4+19	4,9	8,0	11,6	17,9	21,4	
-19+13,2	2,8	6,2	9,6	15,0	17,8	
-13,2+9,5	-2,6	-1,2	3,7	4,6	7,1	
-9,5+6,7	-3,8	-8,0	-10,7	-8,0	-7,5	
-6,7+4,75	-3,8	-8,0	-10,9	-11,8	-13,2	
-4,75	-3,9	-8,0	-11,0	-15,0	-17,0	
%0,75 Manyetit		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	7,4	8,0	11,8	18,0	19,0	
-22,4+19	4,8	7,9	11,0	16,5	17,3	
-19+13,2	1,1	0,0	2,4	8,9	13,7	
-13,2+9,5	-3,5	-8,4	-7,5	2,4	5,0	
-9,5+6,7	-4,2	-9,0	-15,5	-15,5	-20,0	
-6,7+4,75	-4,2	-9,0	-15,0	-15,5	-19,3	
-4,75	-4,3	-9,0	-15,5	-15,8	-20,0	
%1 Manyetit		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	1,2	7,3	9,9	12,3	13,0	
-22,4+19	-1,3	2,7	6,2	11,1	12,3	
-19+13,2	-5,2	-6,3	-1,8	5,8	8,5	
-13,2+9,5	-5,1	-9,2	-13,4	-10,8	-11,6	
-9,5+6,7	-5,3	-9,0	-13,2	-16,9	-20,2	
-6,7+4,75	-5,2	-9,0	-12,4	-16,0	-19,8	
-4,75	-5,2	-9,0	-12,2	-16,2	-18,5	

Silindir şekilli taneler rulo eksenine dik şekilde beslendiklerinde çok ince tane boyuna sahiplerse manyetit içermeseler de katettikleri mesafe, bölücü bıçak tarafından tutulmalarını engellememektedir. Ancak tane boyu daha iri olan taneler,

yüksek rulo hızlarında bölücü bıçağı aşabilmektedir. Manyetit içermeyen tanelerin ayrılabilmesi için bölücü bıçak açısı  $90^{\circ}$ , rulo hızı da yüksek olmalıdır.

Manyetik alınganlık arttıkça yüksek rulohızlarında çalışılması durumunda 13,2 mm'den ince boyuta sahip taneler manyetik ürün olarak alınabilmektedir. Daha iri tane boylarında manyetik ürün olarak alabilmek için düşük rulo hızlarında çalışmak gerekmektedir.

### **5.5.3. Küp Şekilli Taneler**

Küp şekilli tanelerin katettikleri mesafeler farklı bölücü bıçak ayarları için değerlendirilmiş ve Çizelge 5.5 de farklı renklerde gösterilmiştir.

Küp şekilli manyetit içermeyen tanelerin katettikleri mesafelere göre, manyetik alınganlık göstermeyen küp şekilli taneler 9,5mm'den küçük boyutlu ise ve düşük rulo hızında beslenirse manyetik ürün olarak değerlendirilebilecektir. 90 d/dk rulo hızında bölücü bıçak açısı  $105^{\circ}$  'ye ayarlanırsa 6,7mm'den küçük taneler de manyetik ürün kompartmanına geçecektir. Bu tanelerin ayrılmaları için rulo hızı yüksek tutulmalıdır. Yüksek rulo hızlarında bölücü bıçak açısı ayırımı engellememektedir.

Manyetik alınganlık arttıkça düşük rulo hızlarında tüm küp şekilli taneler manyetik rulo tarafından tutulmaktadır. Ancak, yüksek rulo hızlarında 19 mm'den iri besleme yapılmaması gerekmektedir.



Çizelge 5.5. Küp şekilli tanelerin farklı bölücü bıçak konumlarında katettikleri mesafelerin değerlendirilmesi

Manyetit İçermeyen		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	10,5	12,8	16,5	20	21,8	
-22,4+19	10,5	13,1	16,3	20,3	22,1	
-19+13,2	9,8	12,3	15,6	19,9	21,7	
-13,2+9,5	9,6	11,8	15,0	19,3	21,4	
-9,5+6,7	9,1	11,5	14,8	18,8	20,5	
-6,7+4,75	8,7	11,0	14,3	18,0	20,0	
-4,75	8,3	10,5	13,5	17,5	19,8	
%0,25 Manyetit		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	5,3	9,0	15,2	18,7	23,0	
-22,4+19	4,8	8,4	12,4	19,7	22,7	
-19+13,2	2,9	6,7	8,5	17,3	22,6	
-13,2+9,5	-1,3	2,0	4,7	10,8	22,1	
-9,5+6,7	-2,0	-4,3	-1,5	2,1	-0,2	
-6,7+4,75	-2,0	-5,8	-8,4	-8,3	-10,5	
-4,75	-2,0	-6,0	-9,2	-13,0	-13,0	
%0,5 Manyetit		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	3,8	7,5	10,3	15,3	21,0	
-22,4+19	0,9	5,6	7,3	12,6	20,4	
-19+13,2	-4,0	-2,1	2,3	8,8	16,8	
-13,2+9,5	-3,6	-7,9	-9,2	0,3	10,3	
-9,5+6,7	-3,8	-8,4	-11,2	-7,0	-0,5	
-6,7+4,75	-3,6	-8,5	-11,2	-10,7	-10,6	
-4,75	-4,4	-8,4	-11,1	-14,2	-15,5	
%0,75 Manyetit		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	-3,0	5,1	9,6	15,3	20,3	
-22,4+19	-3,5	0,9	6,8	12,1	18,9	
-19+13,2	-4,7	-4,3	-3,1	8,3	12,2	
-13,2+9,5	-4,8	-7,2	-10,3	-5,1	-4,2	
-9,5+6,7	-4,5	-9,6	-11,7	-12,0	-10,3	
-6,7+4,75	-4,5	-9,7	-11,8	-12,0	-12,2	
-4,75	-4,2	-10,0	-12,0	-12,0	-11,0	
%1 Manyetit		Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk	
+22,4	-3,5	-2,9	4,4	9,9	17,7	
-22,4+19	-3,6	-3,5	-4,0	10,1	11,6	
-19+13,2	-4,3	-8,2	-12,0	2,0	2,3	
-13,2+9,5	-4,2	-8,3	-11,4	-10,0	-10,2	
-9,5+6,7	-4,4	-7,9	-11,4	-16,2	-18,0	
-6,7+4,75	-4,6	-7,8	-10,1	-16,1	-18,3	
-4,75	-4,5	-7,6	-10,1	-15,8	-17,5	

### 5.5.4. Disk Şekli Taneler

Disk şekilli tanelerin katettikleri mesafeler farklı bölücü bıçak ayarları için değerlendirilmiş ve Çizelge 5.6 da farklı renklerde gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Disk şekilli tanelerin farklı bölücü bıçak konumlarında katettikleri mesafelerin değerlendirmesi

Manyetit İçermeyen		Mesafe (cm)			
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk
+22,4	9,5	12,1	16	17,9	21
-22,4+19	10,2	12,2	15,1	20,9	22,3
-19+13,2	9,7	11,9	15,0	20,4	21,8
-13,2+9,5	9,1	11,4	14,8	19,6	20,9
-9,5+6,7	9,0	11,1	14,7	19,3	20,6
-6,7+4,75	8,9	11,0	14,6	19,1	19,9
-4,75	8,8	11,0	14,5	19,0	19,5
%0,25 Manyetit		Mesafe (cm)			
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk
+22,4	2,3	5,3	8,5	18,0	21,0
-22,4+19	0,1	2,6	6,0	16,1	19,1
-19+13,2	-3,3	-3,4	-1,3	11,1	17,0
-13,2+9,5	-3,1	-7,0	-9,0	-1,3	6,2
-9,5+6,7	-3,0	-7,0	-9,0	-2,0	1,0
-6,7+4,75	-2,8	-7,0	-9,0	-2,0	1,0
-4,75	-3,0	-7,0	-9,0	-1,3	1,0
%0,5 Manyetit		Mesafe (cm)			
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk
+22,4	-3,5	-5,7	2,4	5,6	17,8
-22,4+19	-4,8	-8,9	-8,6	3,8	11,4
-19+13,2	-4,6	-8,7	-11,6	-10,9	-6,2
-13,2+9,5	-4,9	-8,7	-12,0	-16,0	-17,5
-9,5+6,7	-4,8	-8,7	-12,0	-15,5	-17,5
-6,7+4,75	-5,0	-8,8	-12,0	-16,0	-17,7
-4,75	-5,2	-8,7	-11,7	-16,0	-18,0
%0,75 Manyetit		Mesafe (cm)			
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk
+22,4	-4,3	-8,5	-11,5	3,3	13,0
-22,4+19	-4,3	-8,4	-11,7	-2,2	9,9
-19+13,2	-4,4	-8,3	-11,6	-14,7	-3,4
-13,2+9,5	-4,4	-8,8	-11,2	-17,0	-21,2
-9,5+6,7	-4,2	-9,3	-11,5	-16,8	-21,5
-6,7+4,75	-4,0	-9,5	-12,0	-16,5	-20,2
-4,75	-4,4	-9,2	-12,5	-16,7	-20,2
%1 Manyetit		Mesafe (cm)			
T.B.Aralığı (mm)	45 d/dk	90 d/dk	135 d/dk	185 d/dk	215 d/dk
+22,4	-4,4	-8	-7,5	-3,3	-2,6
-22,4+19	-4,3	-8,3	-12,2	-13,4	-8,5
-19+13,2	-4,3	-8,3	-12,3	-15,6	-17,1
-13,2+9,5	-4,3	-8,1	-12,3	-15,9	-18,8
-9,5+6,7	-4,1	-8,1	-12,2	-16,0	-19,0
-6,7+4,75	-3,7	-8,0	-13,0	-16,5	-19,0
-4,75	-3,8	-7,5	-12,7	-16,5	-19,0

Disk şekilli tanelerin katettikleri mesafeler incelendiğinde tane boyu iri olan manyetik alınganlığı düşük malzemenin 90 d/dk'dan daha yüksek rulo hızlarında manyetik olmayan ürün kompartmanına geçeceği görülmektedir. Rulo hızı daha yükseltirirse tüm tane boylarında manyetik alınganlık göstermeyen disk şekilli taneler manyetik üründen ayrılabilir. Düşük rulo hızlarında ince tane boyuna sahip disk şekilli yani küresellik değeri çok düşük tanelerin iri boyda beslenmesi ve açının düşük tutulması gerekmektedir.

Manyetik alınganlık değeri biraz yükseldiğinde ancak iri boydaki tanelerin yüksek rulo hızlarında manyetik rulodan kurtulabildikleri ve bölücü bıçak tarafından tutulmadığı görülmektedir. Bu tanelerin manyetik ürün olarak alınabilmesi için rulo hızı düşük, bölücü bıçak konumu da ruloya en yakın değerlerde tutulmalıdır.

Manyetik alınganlığı çok yüksek olan malzeme beslenmesi durumunda ise tüm rulo hızlarında ve tüm bölücü bıçak konumlarında malzemenin manyetik ürün olarak alınabileceği, hiç bir kaçak yaşanmayacağı görülmektedir.

Özellikle iri boydaki taneler değerlendirildiğinde yüksek alınganlık ve yüksek rulo hızlarında manyetik kuvvetin, küresellik değeri büyük olan taneleri daha az etkilediği görülmektedir. Gülsoy ve Orhan (2004), rulo yüzeyinde ve yüzeyden uzaklaştıkça yapılan ölçümler mıknatıs:çelik oranı 12:3 olan konfigürasyonun yüzeyden tüm mesafelerde en yüksek manyetik indüksiyon değerlerini sağladığını tespit etmişlerdir. Manyetik alınganlığı yüksek olan iri boyutlu taneler 12 mm mıknatıs – 3 mm çelik konfigürasyonunda daha kolay tutulabileceklerdir.

Bu sonuçlar, Ekmekçi (1990)'nin çalışması ile uyum göstermektedir. Bölücü bıçak konumunun iri tane boylarında 90° değerinden, rulo hızı arttığında 103°'ye yükseltilmesi gerektiği belirlenmiştir. Besleme tane boyu azaldıkça, tanelere etkiyen merkezkaç kuvvetin azalacağı, buna karşın manyetik çekim kuvvetinin sabit kaldığı, bunun sonucunda manyetik özelliği zayıf ve serbestleşmemiş tanelerin de manyetik kısma çekilebildiği belirtilmiştir. Bu nedenle manyetik ürün tenörünü artırmak için rulo dönüş hızının artırılması ve bölücü bıçak ayarının kapatılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Manyetik rulo konfigürasyonunun incelendiği deneylerin sonucuna göre, tane boyu irileştikçe daha kalın mıknatıs diziliminin tercih edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Arvidson ve Rademeyer (1997), rulo hızındaki artış, elde edilen manyetik olmayan ürün veriminde artış sağlamışlardır. Besleme miktarı arttıkça verimin de arttığı belirtilmiştir.

## 5.6. Yörünge Hesaplamaları

Her bir tanenin katettiği mesafelere göre izlediği yörünge belirlenmesi amacıyla Kopp (1984) tarafından geliştirilen ve literatürde yer alan manyetik çekim kuvveti eşitlikleri ile kopma açısı kavramı, temel hareket yasaları kullanılarak değerlendirilmiştir.

Ancak, Kopp tarafından geliştirilen eşitlik (33) kullanılarak yapılan hesaplamalarda kopma açısının hesaplanmasında temel olan manyetik ivme doğru bir şekilde hesaplanamamaktadır. Buna bağlı olarak da tanenin manyetik rulodan koparak atış hareketine başladığı nokta, yani kopma açısı belirlenememiştir. Kuvvet eşitliklerinde mıknatıslar arasında yer alan çelik kısmın kalınlığı kadar mesafenin “hava boşluğu” kabul edilmesi nedeniyle, manyetik alan gradyanlarının en yüksek değere sahip olduğu mıknatıs-çelik arayüzelerindeki karmaşık fizik yapısı göz ardı edilmektedir.

Kopma açısı değerleri, temel atış eşitlikleri ve deneysel ölçüm sonuçları kullanılarak hesaplanmış ve Kopp eşitliğine göre hesaplanan açı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hesaplamalardan elde edilen açı değerleri kullanılarak manyetik çekim kuvvetleri hesaplanmış, merkezkaç kuvveti ile arasındaki fark ve yerçekimi kuvveti bileşkesi ile hareket yönleri değerlendirilmiştir. Kopma açıları ve tanelerin katettikleri mesafeler gözönünde tutularak ayırımında etkin kuvvet çizelgeler üzerinde işaretlenmiştir.

Çizelge 5.7. Manyetit içermeyen küre şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırırda etkili kuvvet değerleri

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	52,0	0	<b><u>6,4</u></b>
	90	26,3	30,0	0	<b><u>25,8</u></b>
	135	-1,1	52,0	0	<b><u>58,0</u></b>
	185	-	61,0	0	<b><u>108,8</u></b>
	215	-	63,0	0	<b><u>147,0</u></b>
-22,4+19	45	40,4	60,0	0	<b><u>5,4</u></b>
	90	26,3	28,0	0	<b><u>21,5</u></b>
	135	-1,1	53,0	0	<b><u>48,5</u></b>
	185	-	61,0	0	<b><u>91,0</u></b>
	215	-	59,0	0	<b><u>122,9</u></b>
-19+13,2	45	40,4	49,0	0	<b><u>2,6</u></b>
	90	26,3	30,0	0	<b><u>10,3</u></b>
	135	-1,1	55,0	0	<b><u>23,2</u></b>
	185	-	62,0	0	<b><u>43,5</u></b>
	215	-	60,0	0	<b><u>58,8</u></b>
-13,2+9,5	45	40,4	51,0	0	<b><u>0,6</u></b>
	90	26,3	30,0	0	<b><u>2,4</u></b>
	135	-1,1	56,0	0	<b><u>5,5</u></b>
	185	-	63,0	0	<b><u>10,3</u></b>
	215	-	61,0	0	<b><u>14,0</u></b>
-9,5+6,7	45	40,5	48,0	0	<b><u>0,2</u></b>
	90	26,4	30,0	0	<b><u>0,7</u></b>
	135	-0,9	56,0	0	<b><u>1,6</u></b>
	185	-	63,0	0	<b><u>2,9</u></b>
	215	-	62,0	0	<b><u>4,0</u></b>
-6,7+4,75	45	41,0	46,0	0	<b><u>0,1</u></b>
	90	26,9	36,0	0	<b><u>0,4</u></b>
	135	-0,2	55,0	0	<b><u>1,0</u></b>
	185	-	63,0	0	<b><u>1,8</u></b>
	215	-	62,0	0	<b><u>2,4</u></b>
-4,75	45	43,1	45,0	0	<b><u>0,1</u></b>
	90	29,2	29,0	0	<b><u>0,3</u></b>
	135	2,7	55,0	0	<b><u>0,6</u></b>
	185	-	62,0	0	<b><u>1,1</u></b>
	215	-	62,0	0	<b><u>1,4</u></b>

**Çizelge 5.8. %0,25 Manyetit içeren küre şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırmada etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	52,0	18,7	<u>7,4</u>
	90	26,3	27,0	58,3	<u>29,7</u>
	135	-1,1	58,0	87,6	<u>66,7</u>
	185	-	58,0	146,2	<u>125,3</u>
	215	-	61,5	195,6	<u>169,3</u>
-22,4+19	45	40,4	50,0	12,2	<u>5,8</u>
	90	26,3	28,0	44,6	<u>23,3</u>
	135	-1,1	63,9	75,9	<u>52,4</u>
	185	-	62,8	120,7	<u>98,4</u>
	215	-	66,0	159,0	<u>133,0</u>
-19+13,2	45	40,4	52,0	7,0	<u>2,8</u>
	90	26,3	5,0	33,4	<u>11,1</u>
	135	-1,1	1,0	49,1	<u>25,0</u>
	185	-	66,0	59,3	<u>46,9</u>
	215	-	68,0	76,9	<u>63,4</u>
-13,2+9,5	45	41,0	47,0	1,4	<u>1,0</u>
	90	26,9	70,6	9,1	<u>3,9</u>
	135	-0,3	75,0	14,8	<u>8,8</u>
	185	-	68,0	21,2	<u>16,4</u>
	215	-	67,0	26,8	<u>22,2</u>
-9,5+6,7	45	40,8	18,0	2,2	<u>0,3</u>
	90	35,4	85,0	3,9	<u>1,3</u>
	135	10,4	85,0	5,5	<u>2,9</u>
	185	-	80,0	7,8	<u>5,5</u>
	215	-	68,5	9,0	<u>7,4</u>
-6,7+4,75	45	-11,8	4,0	1,0	<u>0,1</u>
	90	8,3	96,8	1,5	<u>0,4</u>
	135	33,6	88,5	1,9	<u>1,0</u>
	185	19,2	80,9	2,6	<u>1,8</u>
	215	-20,5	70,1	3,1	<u>2,5</u>
-4,75	45	-	140,0	0,1	<u>0,0</u>
	90	-	178,0	<u>0,1</u>	0,0
	135	-	118,0	<u>0,2</u>	0,1
	185	-	113,5	<u>0,3</u>	0,2
	215	-	113,7	<u>0,4</u>	0,3

**Çizelge 5.9. %0,5 Manyetit içeren küre şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırimda etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	50,0	15,1	<u>7,2</u>
	90	26,3	53,0	41,5	<u>28,9</u>
	135	-1,1	62,0	91,4	<u>65,0</u>
	185	-	63,5	150,8	<u>122,1</u>
	215	-	61,8	191,0	<u>164,9</u>
-22,4+19	45	40,4	49,0	11,3	<u>6,0</u>
	90	26,3	62,0	46,0	<u>24,0</u>
	135	-1,1	66,0	81,0	<u>54,1</u>
	185	-	67,0	129,8	<u>101,6</u>
	215	-	65,0	162,9	<u>137,2</u>
-19+13,2	45	40,4	48,0	5,2	<u>3,2</u>
	90	26,4	70,0	29,3	<u>12,6</u>
	135	-1,0	76,0	48,7	<u>28,4</u>
	185	-	73,0	71,8	<u>53,3</u>
	215	-	68,5	87,8	<u>72,0</u>
-13,2+9,5	45	41,4	13,0	8,2	<u>1,1</u>
	90	27,3	87,0	13,3	<u>4,3</u>
	135	0,3	101,5	20,9	<u>9,7</u>
	185	-	91,0	27,9	<u>18,2</u>
	215	-	74,3	31,1	<u>24,6</u>
-9,5+6,7	45	34,5	121,0	4,6	<u>0,4</u>
	90	41,7	124,3	5,7	<u>1,4</u>
	135	17,8	123,6	<u>7,5</u>	3,2
	185	-	117,7	<u>10,2</u>	6,0
	215	-	96,7	<u>11,5</u>	8,1
-6,7+4,75	45	-	172,0	<u>1,4</u>	0,1
	90	-	161,6	<u>1,9</u>	0,5
	135	-13,4	157,5	<u>2,6</u>	1,1
	185	32,3	166,0	<u>3,4</u>	2,1
	215	30,2	158,0	<u>4,3</u>	2,8
-4,75	45	-	196,0	<u>0,2</u>	0,0
	90	-	220,0	<u>0,2</u>	0,1
	135	-	201,0	<u>0,5</u>	0,3
	185	-	195,0	<u>0,8</u>	0,6
	215	-	211,0	<u>0,9</u>	0,8

**Çizelge 5.10. %0,75 Manyetit içeren küre şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırimda etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	50,0	16,6	<u>8,0</u>
	90	26,3	69,0	72,4	<u>31,9</u>
	135	-1,1	68,5	111,4	<u>71,7</u>
	185	-	67,7	173,1	<u>134,6</u>
	215	-	63,5	213,4	<u>181,9</u>
-22,4+19	45	40,4	52,0	13,7	<u>5,4</u>
	90	26,3	71,5	52,1	<u>21,8</u>
	135	-1,1	74,8	82,7	<u>49,0</u>
	185	-	70,0	120,7	<u>91,9</u>
	215	-	63,6	145,8	<u>124,2</u>
-19+13,2	45	40,4	80,0	24,8	<u>3,0</u>
	90	26,4	86,5	37,3	<u>12,1</u>
	135	-1,0	86,5	52,5	<u>27,3</u>
	185	-	76,2	71,0	<u>51,3</u>
	215	-	68,5	84,4	<u>69,3</u>
-13,2+9,5	45	41,9	142,0	14,8	<u>1,1</u>
	90	27,9	122,0	17,9	<u>4,4</u>
	135	1,0	122,5	<u>23,4</u>	9,9
	185	-	112,5	<u>31,4</u>	18,7
	215	-	94,9	35,8	<u>25,2</u>
-9,5+6,7	45	26,1	218,0	<u>0,7</u>	0,3
	90	40,2	223,0	<u>1,2</u>	1,1
	135	26,6	220,0	<u>2,8</u>	2,5
	185	-26,6	212,0	<u>5,4</u>	4,6
	215	-	208,0	<u>7,3</u>	6,3
-6,7+4,75	45	-	221,0	<u>0,2</u>	0,1
	90	-	224,0	<u>0,5</u>	0,4
	135	-	216,0	<u>1,2</u>	1,0
	185	-	210,0	<u>2,3</u>	1,9
	215	8,7	206,0	<u>3,0</u>	2,6
-4,75	45	-	228,0	<u>0,1</u>	0,0
	90	-	227,0	<u>0,2</u>	0,1
	135	-	218,0	<u>0,4</u>	0,3
	185	-	210,0	<u>0,7</u>	0,6
	215	-	210,0	<u>0,9</u>	0,8



**Çizelge 5.11. %1 Manyetit içeren küre şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırimda etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	17,0	48,0	<u>7,0</u>
	90	26,3	85,0	84,2	<u>28,0</u>
	135	-1,1	82,5	116,2	<u>63,0</u>
	185	-	78,9	167,0	<u>118,3</u>
	215	-	75,3	203,9	<u>159,7</u>
-22,4+19	45	40,4	15,0	36,2	<u>5,0</u>
	90	26,3	89,0	63,4	<u>20,0</u>
	135	-1,1	86,0	86,0	<u>45,0</u>
	185	-	82,3	122,4	<u>84,5</u>
	215	-	75,6	146,0	<u>114,2</u>
-19+13,2	45	40,4	111,0	42,6	<u>3,4</u>
	90	26,4	115,0	54,0	<u>13,7</u>
	135	-1,0	99,0	65,6	<u>30,9</u>
	185	-	90,0	88,3	<u>58,0</u>
	215	-	83,0	104,7	<u>78,3</u>
-13,2+9,5	45	42,2	157,0	<u>13,8</u>	1,1
	90	28,2	158,5	<u>16,9</u>	4,4
	135	1,4	136,0	<u>23,5</u>	9,9
	185	-	122,0	<u>31,8</u>	18,5
	215	-	116,5	<u>38,0</u>	25,0
-9,5+6,7	45	21,1	235,0	<u>1,1</u>	0,3
	90	35,5	225,0	<u>1,4</u>	1,4
	135	31,4	218,0	<u>3,6</u>	3,1
	185	-15,2	213,0	<u>6,7</u>	5,8
	215	-	208,0	<u>9,2</u>	7,9
-6,7+4,75	45	-	235,0	<u>0,4</u>	0,1
	90	-	225,0	<u>0,5</u>	0,5
	135	-	218,0	<u>1,4</u>	1,2
	185	-	209,0	<u>2,7</u>	2,2
	215	-	205,0	<u>3,6</u>	3,0
-4,75	45	-	235,0	<u>0,1</u>	0,0
	90	-	227,0	<u>0,2</u>	0,1
	135	-	215,0	<u>0,4</u>	0,3
	185	-	206,0	<u>0,8</u>	0,6
	215	-	206,0	<u>1,0</u>	0,9

**Çizelge 5.12. Rulo eksenine paralel beslenen manyetit içermeyen silindirik şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırimda etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	49,0	0	<u>6,8</u>
	90	26,3	30,0	0	<u>27,4</u>
	135	-1,1	42,0	0	<u>61,6</u>
	185	-	54,0	0	<u>115,6</u>
	215	-	58,0	0	<u>156,2</u>
-22,4+19	45	40,4	45,0	0	<u>5,1</u>
	90	26,3	29,0	0	<u>20,5</u>
	135	-1,1	21,0	0	<u>46,1</u>
	185	-	55,0	0	<u>86,5</u>
	215	-	57,0	0	<u>116,9</u>
-19+13,2	45	40,4	49,0	0	<u>2,8</u>
	90	26,3	28,0	0	<u>13,7</u>
	135	-1,1	20,0	0	<u>30,9</u>
	185	-	56,0	0	<u>58,0</u>
	215	-	48,0	0	<u>78,3</u>
-13,2+9,5	45	40,4	48,0	0	<u>1,1</u>
	90	26,3	25,0	0	<u>4,4</u>
	135	-1,1	41,0	0	<u>9,9</u>
	185	-	55,0	0	<u>18,5</u>
	215	-	43,0	0	<u>25,0</u>
-9,5+6,7	45	40,5	50,0	0	<u>0,3</u>
	90	26,4	30,0	0	<u>1,4</u>
	135	-0,9	42,0	0	<u>3,1</u>
	185	-	55,0	0	<u>5,8</u>
	215	-	47,0	0	<u>7,9</u>
-6,7+4,75	45	41,0	50,0	0	<u>0,1</u>
	90	26,9	29,0	0	<u>0,5</u>
	135	-0,2	44,0	0	<u>1,2</u>
	185	-	55,0	0	<u>2,2</u>
	215	-	50,0	0	<u>3,0</u>
-4,75	45	43,1	50,0	0	<u>0,0</u>
	90	29,2	28,0	0	<u>0,1</u>
	135	2,7	41,0	0	<u>0,3</u>
	185	-	55,0	0	<u>0,6</u>
	215	-	50,0	0	<u>0,9</u>

**Çizelge 5.13. Rulo eksenine paralel beslenen %0,25 manyetit içeren silindirik şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	49,0	13,9	<u>7,4</u>
	90	26,3	56,0	47,3	<u>29,7</u>
	135	-1,1	61,0	92,3	<u>66,7</u>
	185	-	62,0	152,4	<u>125,3</u>
	215	-	63,0	197,9	<u>169,3</u>
-22,4+19	45	40,4	51,0	13,4	<u>5,8</u>
	90	26,3	55,0	35,9	<u>23,3</u>
	135	-1,1	62,0	73,7	<u>52,4</u>
	185	-	63,0	120,9	<u>98,4</u>
	215	-	63,0	155,5	<u>133,0</u>
-19+13,2	45	40,4	48,0	4,6	<u>2,8</u>
	90	26,3	63,0	21,8	<u>11,1</u>
	135	-1,1	67,0	38,0	<u>25,0</u>
	185	-	64,0	58,2	<u>46,9</u>
	215	-	63,5	74,4	<u>63,4</u>
-13,2+9,5	45	41,0	55,0	3,1	<u>1,0</u>
	90	26,9	89,0	12,3	<u>3,9</u>
	135	-0,3	83,0	16,2	<u>8,8</u>
	185	-	56,0	18,8	<u>16,4</u>
	215	-	62,0	25,8	<u>22,2</u>
-9,5+6,7	45	40,8	100,0	3,7	<u>0,3</u>
	90	35,4	100,0	4,6	<u>1,3</u>
	135	10,4	95,0	6,0	<u>2,9</u>
	185	-	77,0	7,7	<u>5,5</u>
	215	-	66,0	8,9	<u>7,4</u>
-6,7+4,75	45	-11,8	118,0	1,4	<u>0,1</u>
	90	8,3	100,0	1,5	<u>0,4</u>
	135	33,6	105,0	2,2	<u>1,0</u>
	185	19,2	96,0	2,9	<u>1,8</u>
	215	-20,5	69,5	3,0	<u>2,5</u>
-4,75	45	-	155,0	<u>0,1</u>	0,0
	90	-	170,0	<u>0,2</u>	0,0
	135	-	141,0	<u>0,2</u>	0,1
	185	-	126,0	<u>0,3</u>	0,2
	215	-	110,0	<u>0,4</u>	0,3

**Çizelge 5.14. Rulo eksenine paralel beslenen %0,5 manyetit içeren silindirik şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırimda etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	50,0	15,1	<u>7,2</u>
	90	26,3	65,0	59,8	<u>28,9</u>
	135	-1,1	82,0	119,4	<u>65,0</u>
	185	-	70,0	160,3	<u>122,1</u>
	215	-	66,5	198,0	<u>164,9</u>
-22,4+19	45	40,4	49,0	11,3	<u>6,0</u>
	90	26,3	85,0	72,3	<u>24,0</u>
	135	-1,1	87,0	104,4	<u>54,1</u>
	185	-	73,0	136,9	<u>101,6</u>
	215	-	67,0	165,4	<u>137,2</u>
-19+13,2	45	40,4	100,0	35,5	<u>3,2</u>
	90	26,4	92,0	41,5	<u>12,6</u>
	135	-1,0	99,0	60,3	<u>28,4</u>
	185	-	86,0	79,2	<u>53,3</u>
	215	-	70,0	88,7	<u>72,0</u>
-13,2+9,5	45	41,4	135,0	14,5	<u>1,1</u>
	90	27,3	118,0	17,2	<u>4,3</u>
	135	0,3	119,5	<u>22,6</u>	9,7
	185	-	111,0	<u>30,5</u>	18,2
	215	-	87,0	33,6	<u>24,6</u>
-9,5+6,7	45	34,5	180,0	<u>3,5</u>	0,4
	90	41,7	160,0	<u>5,4</u>	1,4
	135	17,8	191,0	<u>5,6</u>	3,2
	185	-	147,0	<u>10,3</u>	6,0
	215	-	104,8	11,9	<u>8,1</u>
-6,7+4,75	45	-	172,0	<u>1,4</u>	0,1
	90	-	161,6	<u>1,9</u>	0,5
	135	-13,4	201,0	<u>1,8</u>	1,1
	185	32,3	174,0	<u>3,3</u>	2,1
	215	30,2	177,0	<u>4,0</u>	2,8
-4,75	45	-	168,0	<u>0,4</u>	0,0
	90	-	220,0	<u>0,2</u>	0,1
	135	-	222,0	<u>0,3</u>	0,3
	185	-	200,0	<u>0,7</u>	0,6
	215	-	210,0	<u>0,9</u>	0,8

**Çizelge 5.15. Rulo eksenine paralel beslenen %0,75 manyetit içeren silindirik şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımda etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	112,0	99,6	<u>8,0</u>
	90	26,3	77,0	84,6	<u>31,9</u>
	135	-1,1	79,0	127,4	<u>71,7</u>
	185	-	67,7	173,1	<u>134,6</u>
	215	-	63,5	213,4	<u>181,9</u>
-22,4+19	45	40,4	123,0	71,9	<u>5,4</u>
	90	26,3	96,0	74,6	<u>21,8</u>
	135	-1,1	89,0	96,2	<u>49,0</u>
	185	-	77,0	128,0	<u>91,9</u>
	215	-	74,0	157,1	<u>124,2</u>
-19+13,2	45	40,4	143,0	40,6	<u>3,0</u>
	90	26,4	120,0	48,8	<u>12,1</u>
	135	-1,0	110,0	61,7	<u>27,3</u>
	185	-	100,0	82,4	<u>51,3</u>
	215	-	86,0	94,2	<u>69,3</u>
-13,2+9,5	45	41,9	185,0	<u>10,0</u>	1,1
	90	27,9	179,0	<u>14,3</u>	4,4
	135	1,0	167,0	<u>21,6</u>	9,9
	185	-	140,0	<u>32,4</u>	18,7
	215	-	125,0	<u>38,8</u>	25,2
-9,5+6,7	45	26,1	235,0	<u>0,9</u>	0,3
	90	40,2	223,0	<u>1,2</u>	1,1
	135	26,6	220,0	<u>2,8</u>	2,5
	185	-26,6	212,0	<u>5,4</u>	4,6
	215	-	225,0	<u>6,3</u>	6,3
-6,7+4,75	45	-	221,0	<u>0,2</u>	0,1
	90	-	224,0	<u>0,5</u>	0,4
	135	-	216,0	<u>1,2</u>	1,0
	185	-	210,0	<u>2,3</u>	1,9
	215	8,7	206,0	<u>3,0</u>	2,6
-4,75	45	-	228,0	<u>0,1</u>	0,0
	90	-	227,0	<u>0,2</u>	0,1
	135	-	218,0	<u>0,4</u>	0,3
	185	-	210,0	<u>0,7</u>	0,6
	215	-	210,0	<u>0,9</u>	0,8

**Çizelge 5.16. Rulo eksenine paralel beslenen %1 manyetit içeren silindirik şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırimda etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	17,0	48,0	<u>7,0</u>
	90	26,3	110,0	107,2	<u>28,0</u>
	135	-1,1	94,0	129,0	<u>63,0</u>
	185	-	89,0	179,0	<u>118,3</u>
	215	-	83,0	213,5	<u>159,7</u>
-22,4+19	45	40,4	115,0	63,7	<u>5,0</u>
	90	26,3	111,0	77,1	<u>20,0</u>
	135	-1,1	103,0	98,0	<u>45,0</u>
	185	-	100,0	135,7	<u>84,5</u>
	215	-	85,0	154,3	<u>114,2</u>
-19+13,2	45	40,4	158,0	<u>42,9</u>	3,4
	90	26,4	128,0	56,3	<u>13,7</u>
	135	-1,0	132,0	<u>73,7</u>	30,9
	185	-	132,0	<u>100,8</u>	58,0
	215	-	105,0	115,5	<u>78,3</u>
-13,2+9,5	45	42,2	235,0	<u>3,5</u>	1,1
	90	28,2	211,0	<u>7,7</u>	4,4
	135	1,4	210,0	<u>13,4</u>	9,9
	185	-	210,0	<u>22,1</u>	18,5
	215	-	175,0	<u>35,5</u>	25,0
-9,5+6,7	45	21,1	235,0	<u>1,1</u>	0,3
	90	35,5	224,0	<u>1,5</u>	1,4
	135	31,4	218,0	<u>3,6</u>	3,1
	185	-15,2	210,0	<u>7,0</u>	5,8
	215	-	208,0	<u>9,2</u>	7,9
-6,7+4,75	45	-	193,0	<u>1,0</u>	0,1
	90	-	184,0	<u>1,6</u>	0,5
	135	-	215,0	<u>1,5</u>	1,2
	185	-	208,0	<u>2,7</u>	2,2
	215	-	205,0	<u>3,6</u>	3,0
-4,75	45	-	202,0	<u>0,2</u>	0,0
	90	-	224,0	<u>0,2</u>	0,1
	135	-	215,0	<u>0,4</u>	0,3
	185	-	209,0	<u>0,8</u>	0,6
	215	-	206,0	<u>1,0</u>	0,9

**Çizelge 5.17. Rulo eksenine dik beslenen manyetit içermeyen silindir şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırırda etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	49,0	0	<u>6,8</u>
	90	26,3	30,0	0	<u>27,4</u>
	135	-1,1	21,0	0	<u>61,6</u>
	185	-	14,0	0	<u>115,6</u>
	215	-	14,0	0	<u>156,2</u>
-22,4+19	45	40,4	48,0	0	<u>5,1</u>
	90	26,3	28,0	0	<u>20,5</u>
	135	-1,1	21,0	0	<u>46,1</u>
	185	-	16,0	0	<u>86,5</u>
	215	-	14,0	0	<u>116,9</u>
-19+13,2	45	40,4	50,0	0	<u>2,8</u>
	90	26,3	28,0	0	<u>13,7</u>
	135	-1,1	20,0	0	<u>30,9</u>
	185	-	16,0	0	<u>58,0</u>
	215	-	23,0	0	<u>78,3</u>
-13,2+9,5	45	40,4	48,0	0	<u>1,1</u>
	90	26,3	29,0	0	<u>4,4</u>
	135	-1,1	18,0	0	<u>9,9</u>
	185	-	14,0	0	<u>18,5</u>
	215	-	29,0	0	<u>25,0</u>
-9,5+6,7	45	40,5	50,0	0	<u>0,3</u>
	90	26,4	29,0	0	<u>1,4</u>
	135	-0,9	19,0	0	<u>3,1</u>
	185	-	14,0	0	<u>5,8</u>
	215	-	31,2	0	<u>7,9</u>
-6,7+4,75	45	41,0	50,0	0	<u>0,1</u>
	90	26,9	29,0	0	<u>0,5</u>
	135	-0,2	41,4	0	<u>1,2</u>
	185	-	46,0	0	<u>2,2</u>
	215	-	36,0	0	<u>3,0</u>
-4,75	45	43,1	50,0	0	<u>0,0</u>
	90	29,2	28,0	0	<u>0,1</u>
	135	2,7	41,0	0	<u>0,3</u>
	185	-	46,0	0	<u>0,6</u>
	215	-	36,0	0	<u>0,9</u>

**Çizelge 5.18. Rulo eksenine dik beslenen %0,25 manyetit içeren silindirik şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımda etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	39,0	17,1	<u>7,4</u>
	90	26,3	28,0	56,8	<u>29,7</u>
	135	-1,1	26,0	96,9	<u>66,7</u>
	185	-	21,0	163,0	<u>125,3</u>
	215	-	20,0	208,4	<u>169,3</u>
-22,4+19	45	40,4	38,0	14,7	<u>5,8</u>
	90	26,3	29,0	43,4	<u>23,3</u>
	135	-1,1	20,0	83,2	<u>52,4</u>
	185	-	19,0	130,4	<u>98,4</u>
	215	-	32,8	148,3	<u>133,0</u>
-19+13,2	45	40,4	29,0	12,3	<u>2,8</u>
	90	26,3	55,5	17,4	<u>11,1</u>
	135	-1,1	47,3	26,4	<u>25,0</u>
	185	-	16,0	63,7	<u>46,9</u>
	215	-	23,0	76,4	<u>63,4</u>
-13,2+9,5	45	41,0	121,0	12,8	<u>1,0</u>
	90	26,9	86,0	11,9	<u>3,9</u>
	135	-0,3	74,0	14,6	<u>8,8</u>
	185	-	56,0	18,8	<u>16,4</u>
	215	-	38,5	23,6	<u>22,2</u>
-9,5+6,7	45	40,8	145,0	4,3	<u>0,3</u>
	90	35,4	120,0	5,2	<u>1,3</u>
	135	10,4	104,0	6,4	<u>2,9</u>
	185	-	84,0	8,1	<u>5,5</u>
	215	-	67,0	8,9	<u>7,4</u>
-6,7+4,75	45	-11,8	165,0	<u>1,3</u>	0,1
	90	8,3	126,0	1,8	<u>0,4</u>
	135	33,6	112,7	2,2	<u>1,0</u>
	185	19,2	93,0	2,8	<u>1,8</u>
	215	-20,5	74,6	3,2	<u>2,5</u>
-4,75	45	-	159,0	<u>0,1</u>	0,0
	90	-	170,0	<u>0,2</u>	0,0
	135	-	145,0	<u>0,2</u>	0,1
	185	-	129,0	<u>0,3</u>	0,2
	215	-	144,0	<u>0,4</u>	0,3



**Çizelge 5.19. Rulo eksenine dik beslenen %0,5 manyetit içeren silindir şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	97,0	78,4	<u>7,2</u>
	90	26,3	72,4	70,5	<u>28,9</u>
	135	-1,1	51,5	75,3	<u>65,0</u>
	185	-	15,0	167,3	<u>122,1</u>
	215	-	12,0	214,1	<u>164,9</u>
-22,4+19	45	40,4	100,0	67,6	<u>6,0</u>
	90	26,3	71,0	57,0	<u>24,0</u>
	135	-1,1	57,0	69,7	<u>54,1</u>
	185	-	36,0	113,4	<u>101,6</u>
	215	-	27,0	160,5	<u>137,2</u>
-19+13,2	45	40,4	123,0	41,7	<u>3,2</u>
	90	26,4	70,0	29,3	<u>12,6</u>
	135	-1,0	76,0	48,7	<u>28,4</u>
	185	-	73,0	71,8	<u>53,3</u>
	215	-	68,5	87,8	<u>72,0</u>
-13,2+9,5	45	41,4	177,0	<u>11,1</u>	1,1
	90	27,3	139,0	<u>17,7</u>	4,3
	135	0,3	98,5	20,5	<u>9,7</u>
	185	-	93,0	28,2	<u>18,2</u>
	215	-	84,5	33,1	<u>24,6</u>
-9,5+6,7	45	34,5	190,0	<u>2,9</u>	0,4
	90	41,7	215,0	<u>2,2</u>	1,4
	135	17,8	220,0	<u>3,6</u>	3,2
	185	-	149,0	<u>10,2</u>	6,0
	215	-	137,0	<u>12,5</u>	8,1
-6,7+4,75	45	-	190,0	<u>1,0</u>	0,1
	90	-	161,6	<u>1,9</u>	0,5
	135	-13,4	157,5	<u>2,6</u>	1,1
	185	32,3	166,0	<u>3,4</u>	2,1
	215	30,2	158,0	<u>4,3</u>	2,8
-4,75	45	-	191,0	<u>0,3</u>	0,0
	90	-	220,0	<u>0,2</u>	0,1
	135	-	200,0	<u>0,5</u>	0,3
	185	-	200,0	<u>0,7</u>	0,6
	215	-	195,0	<u>1,0</u>	0,8

**Çizelge 5.20. Rulo eksenine dik beslenen %0,75 manyetit içeren silindirik şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımda etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	47,0	11,4	<u>8,0</u>
	90	26,3	71,0	75,5	<u>31,9</u>
	135	-1,1	56,0	90,7	<u>71,7</u>
	185	-	36,0	150,2	<u>134,6</u>
	215	-	26,0	214,3	<u>181,9</u>
-22,4+19	45	40,4	102,0	62,4	<u>5,4</u>
	90	26,3	71,5	52,1	<u>21,8</u>
	135	-1,1	60,5	67,1	<u>49,0</u>
	185	-	45,5	92,5	<u>91,9</u>
	215	-	50,0	130,1	<u>124,2</u>
-19+13,2	45	40,4	141,0	40,8	<u>3,0</u>
	90	26,4	131,0	50,0	<u>12,1</u>
	135	-1,0	105,5	60,3	<u>27,3</u>
	185	-	77,5	71,7	<u>51,3</u>
	215	-	64,5	82,0	<u>69,3</u>
-13,2+9,5	45	41,9	186,0	<u>9,8</u>	1,1
	90	27,9	228,0	<u>5,1</u>	4,4
	135	1,0	168,5	<u>21,5</u>	9,9
	185	-	120,5	32,0	<u>18,7</u>
	215	-	91,0	35,1	<u>25,2</u>
-9,5+6,7	45	26,1	194,5	<u>2,0</u>	0,3
	90	40,2	220,0	<u>1,4</u>	1,1
	135	26,6	230,0	<u>2,8</u>	2,5
	185	-26,6	230,0	<u>4,9</u>	4,6
	215	-	200,0	<u>7,7</u>	6,3
-6,7+4,75	45	-	200,0	<u>0,7</u>	0,1
	90	-	227,0	<u>0,5</u>	0,4
	135	-	225,0	<u>1,0</u>	1,0
	185	-	209,0	<u>2,3</u>	1,9
	215	8,7	198,0	<u>3,2</u>	2,6
-4,75	45	-	200,0	<u>0,2</u>	0,0
	90	-	225,0	<u>0,1</u>	0,1
	135	-	216,0	<u>0,4</u>	0,3
	185	-	210,0	<u>0,7</u>	0,6
	215	-	210,0	<u>0,9</u>	0,8

**Çizelge 5.21. Rulo eksenine dik beslenen %1 manyetit içeren silindir şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırırda etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	142,0	93,8	<u>7,0</u>
	90	26,3	77,0	74,3	<u>28,0</u>
	135	-1,1	68,0	97,1	<u>63,0</u>
	185	-	65,0	148,2	<u>118,3</u>
	215	-	66,5	191,8	<u>159,7</u>
-22,4+19	45	40,4	166,0	<u>58,6</u>	5,0
	90	26,3	112,0	77,5	<u>20,0</u>
	135	-1,1	87,0	86,8	<u>45,0</u>
	185	-	69,0	109,9	<u>84,5</u>
	215	-	68,5	139,1	<u>114,2</u>
-19+13,2	45	40,4	208,0	<u>16,0</u>	3,4
	90	26,4	188,0	<u>39,5</u>	13,7
	135	-1,0	129,0	<u>73,5</u>	30,9
	185	-	89,0	87,8	<u>58,0</u>
	215	-	79,9	102,9	<u>78,3</u>
-13,2+9,5	45	42,2	207,0	<u>5,3</u>	1,1
	90	28,2	234,0	<u>6,5</u>	4,4
	135	1,4	225,0	<u>9,9</u>	9,9
	185	-	170,0	<u>29,7</u>	18,5
	215	-	159,0	<u>37,5</u>	25,0
-9,5+6,7	45	21,1	209,0	<u>1,5</u>	0,3
	90	35,5	228,0	<u>1,6</u>	1,4
	135	31,4	218,0	<u>3,6</u>	3,1
	185	-15,2	213,0	<u>6,7</u>	5,8
	215	-	209,0	<u>9,1</u>	7,9
-6,7+4,75	45	-	209,0	<u>0,6</u>	0,1
	90	-	228,0	<u>0,6</u>	0,5
	135	-	217,0	<u>1,4</u>	1,2
	185	-	205,0	<u>2,8</u>	2,2
	215	-	206,0	<u>3,6</u>	3,0
-4,75	45	-	209,0	<u>0,2</u>	0,0
	90	-	223,0	<u>0,2</u>	0,1
	135	-	218,0	<u>0,4</u>	0,3
	185	-	210,0	<u>0,8</u>	0,6
	215	-	206,0	<u>1,0</u>	0,9

**Çizelge 5.22. Manyetit içermeyen küp şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırimda etkili kuvvet değerleri**

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	51,0	0	<u>6,8</u>
	90	26,3	33,0	0	<u>27,4</u>
	135	-1,1	21,0	0	<u>61,6</u>
	185	-	16,0	0	<u>115,6</u>
	215	-	3,0	0	<u>156,2</u>
-22,4+19	45	40,4	53,0	0	<u>5,1</u>
	90	26,3	30,0	0	<u>20,5</u>
	135	-1,1	20,0	0	<u>46,1</u>
	185	-	17,0	0	<u>86,5</u>
	215	-	7,0	0	<u>116,9</u>
-19+13,2	45	40,4	50,0	0	<u>2,8</u>
	90	26,3	29,0	0	<u>13,7</u>
	135	-1,1	20,0	0	<u>30,9</u>
	185	-	16,5	0	<u>58,0</u>
	215	-	1,2	0	<u>78,3</u>
-13,2+9,5	45	40,4	47,0	0	<u>1,1</u>
	90	26,3	30,0	0	<u>4,4</u>
	135	-1,1	19,0	0	<u>9,9</u>
	185	-	15,5	0	<u>18,5</u>
	215	-	0,0	0	<u>25,0</u>
-9,5+6,7	45	40,5	46,0	0	<u>0,3</u>
	90	26,4	26,0	0	<u>1,4</u>
	135	-0,9	18,5	0	<u>3,1</u>
	185	-	2,7	0	<u>5,8</u>
	215	-	0,0	0	<u>7,9</u>
-6,7+4,75	45	41,0	46,0	0	<u>0,1</u>
	90	26,9	26,0	0	<u>0,5</u>
	135	-0,2	13,5	0	<u>1,2</u>
	185	-	0,0	0	<u>2,2</u>
	215	-	0,0	0	<u>3,0</u>
-4,75	45	43,1	45,0	0	<u>0,0</u>
	90	29,2	26,0	0	<u>0,1</u>
	135	2,7	0,0	0	<u>0,3</u>
	185	-	0,0	0	<u>0,6</u>
	215	-	0,0	0	<u>0,9</u>

Çizelge 5.23. %0,25 Manyetit içeren küp şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	97,7	81,1	<u>7,4</u>
	90	26,3	62,0	56,8	<u>29,7</u>
	135	-1,1	21,0	104,4	<u>66,7</u>
	185	-	14,0	173,1	<u>125,3</u>
	215	-	12,0	219,8	<u>169,3</u>
-22,4+19	45	40,4	104,0	68,2	<u>5,8</u>
	90	26,3	68,4	52,2	<u>23,3</u>
	135	-1,1	52,0	61,3	<u>52,4</u>
	185	-	14,0	135,9	<u>98,4</u>
	215	-	13,0	171,5	<u>133,0</u>
-19+13,2	45	40,4	123,5	36,8	<u>2,8</u>
	90	26,3	81,7	31,8	<u>11,1</u>
	135	-1,1	75,1	42,4	<u>25,0</u>
	185	-	40,3	49,8	<u>46,9</u>
	215	-	33,6	70,2	<u>63,4</u>
-13,2+9,5	45	41,0	164,0	<u>11,6</u>	1,0
	90	26,9	115,7	15,4	<u>3,9</u>
	135	-0,3	94,0	17,9	<u>8,8</u>
	185	-	69,9	21,6	<u>16,4</u>
	215	-	7,5	29,6	<u>22,2</u>
-9,5+6,7	45	40,8	170,6	<u>3,6</u>	0,3
	90	35,4	165,5	<u>4,8</u>	1,3
	135	10,4	126,0	<u>6,9</u>	2,9
	185	-	102,1	8,9	<u>5,5</u>
	215	-	108,1	<u>11,1</u>	7,4
-6,7+4,75	45	-11,8	169,8	<u>1,2</u>	0,1
	90	8,3	179,4	<u>1,4</u>	0,4
	135	33,6	175,7	<u>2,0</u>	1,0
	185	19,2	150,3	<u>3,2</u>	1,8
	215	-20,5	153,0	<u>3,8</u>	2,5
-4,75	45	-	169,6	<u>0,1</u>	0,0
	90	-	181,0	<u>0,1</u>	0,0
	135	-	184,0	<u>0,2</u>	0,1
	185	-	191,5	<u>0,3</u>	0,2
	215	-	169,3	<u>0,4</u>	0,3

Çizelge 5.24. %0,5 Manyetit içeren küp şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımında etkili kuvvet değerleri

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	116,0	92,6	<u>7,2</u>
	90	26,3	76,4	75,9	<u>28,9</u>
	135	-1,1	65,9	97,2	<u>65,0</u>
	185	-	61,6	147,9	<u>122,1</u>
	215	-	31,4	186,2	<u>164,9</u>
-22,4+19	45	40,4	145,1	80,0	<u>6,0</u>
	90	26,3	91,5	78,5	<u>24,0</u>
	135	-1,1	82,0	99,3	<u>54,1</u>
	185	-	63,7	125,7	<u>101,6</u>
	215	-	35,5	149,6	<u>137,2</u>
-19+13,2	45	40,4	193,5	<u>23,8</u>	3,2
	90	26,4	148,5	<u>51,0</u>	12,6
	135	-1,0	107,1	63,2	<u>28,4</u>
	185	-	78,3	75,0	<u>53,3</u>
	215	-	52,4	77,1	<u>72,0</u>
-13,2+9,5	45	41,4	188,3	<u>9,1</u>	1,1
	90	27,3	210,0	<u>7,8</u>	4,3
	135	0,3	188,0	<u>17,8</u>	9,7
	185	-	109,8	30,3	<u>18,2</u>
	215	-	74,6	31,2	<u>24,6</u>
-9,5+6,7	45	34,5	190,3	<u>2,9</u>	0,4
	90	41,7	230,0	<u>1,8</u>	1,4
	135	17,8	217,0	<u>3,8</u>	3,2
	185	-	143,2	<u>10,3</u>	6,0
	215	-	97,4	11,6	<u>8,1</u>
-6,7+4,75	45	-	188,0	<u>1,1</u>	0,1
	90	-	225,0	<u>0,5</u>	0,5
	135	-13,4	215,0	<u>1,4</u>	1,1
	185	32,3	167,2	<u>3,4</u>	2,1
	215	30,2	139,2	<u>4,4</u>	2,8
-4,75	45	-	197,0	<u>0,2</u>	0,0
	90	-	227,0	<u>0,1</u>	0,1
	135	-	217,0	<u>0,4</u>	0,3
	185	-	214,0	<u>0,6</u>	0,6
	215	-	211,0	<u>0,9</u>	0,8

Çizelge 5.25. %0,75 Manyetit içeren küp şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırırda etkili kuvvet değerleri

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	199,0	<u>51,6</u>	8,0
	90	26,3	95,4	108,6	<u>31,9</u>
	135	-1,1	69,8	113,5	<u>71,7</u>
	185	-	51,8	146,4	<u>134,6</u>
	215	-	36,4	196,8	<u>181,9</u>
-22,4+19	45	40,4	204,4	<u>29,4</u>	5,4
	90	26,3	126,7	89,0	<u>21,8</u>
	135	-1,1	74,8	82,7	<u>49,0</u>
	185	-	66,1	116,4	<u>91,9</u>
	215	-	43,5	125,9	<u>124,2</u>
-19+13,2	45	40,4	201,0	<u>18,5</u>	3,0
	90	26,4	168,4	<u>43,8</u>	12,1
	135	-1,0	138,2	<u>65,2</u>	27,3
	185	-	80,2	73,2	<u>51,3</u>
	215	-	69,1	84,8	<u>69,3</u>
-13,2+9,5	45	41,9	202,0	<u>6,5</u>	1,1
	90	27,9	198,7	<u>10,5</u>	4,4
	135	1,0	204,8	<u>14,7</u>	9,9
	185	-	134,1	<u>32,5</u>	18,7
	215	-	123,8	<u>38,8</u>	25,2
-9,5+6,7	45	26,1	198,8	<u>1,8</u>	0,3
	90	40,2	220,0	<u>1,4</u>	1,1
	135	26,6	217,0	<u>2,9</u>	2,5
	185	-26,6	181,2	<u>7,0</u>	4,6
	215	-	152,6	<u>9,5</u>	6,3
-6,7+4,75	45	-	198,7	<u>0,7</u>	0,1
	90	-	225,0	<u>0,4</u>	0,4
	135	-	224,0	<u>1,0</u>	1,0
	185	-	179,6	<u>2,9</u>	1,9
	215	8,7	152,7	<u>3,9</u>	2,6
-4,75	45	-	198,7	<u>0,2</u>	0,0
	90	-	224,0	<u>0,1</u>	0,1
	135	-	215,0	<u>0,4</u>	0,3
	185	-	178,3	<u>0,9</u>	0,6
	215	-	154,6	<u>1,2</u>	0,8

Çizelge 5.26. %1 Manyetit içeren küp şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırırda etkili kuvvet değerleri

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	188,3	<u>59,2</u>	7,0
	90	26,3	157,6	<u>108,7</u>	28,0
	135	-1,1	97,4	132,2	<u>63,0</u>
	185	-	74,7	161,6	<u>118,3</u>
	215	-	49,2	166,1	<u>159,7</u>
-22,4+19	45	40,4	189,0	<u>41,7</u>	5,0
	90	26,3	162,4	<u>75,5</u>	20,0
	135	-1,1	146,2	<u>106,3</u>	45,0
	185	-	73,9	114,7	<u>84,5</u>
	215	-	71,3	141,9	<u>114,2</u>
-19+13,2	45	40,4	197,0	<u>23,6</u>	3,4
	90	26,4	218,5	<u>18,6</u>	13,7
	135	-1,0	220,0	<u>34,6</u>	30,9
	185	-	103,9	94,7	<u>58,0</u>
	215	-	100,8	113,8	<u>78,3</u>
-13,2+9,5	45	42,2	195,4	<u>7,9</u>	1,1
	90	28,2	222,0	<u>5,1</u>	4,4
	135	1,4	218,0	<u>11,5</u>	9,9
	185	-	165,0	<u>30,4</u>	18,5
	215	-	153,6	<u>38,0</u>	25,0
-9,5+6,7	45	21,1	197,9	<u>2,3</u>	0,3
	90	35,5	210,0	<u>2,5</u>	1,4
	135	31,4	217,7	<u>3,7</u>	3,1
	185	-15,2	211,0	<u>6,9</u>	5,8
	215	-	209,6	<u>9,0</u>	7,9
-6,7+4,75	45	-	199,4	<u>0,8</u>	0,1
	90	-	206,4	<u>1,1</u>	0,5
	135	-	197,0	<u>2,0</u>	1,2
	185	-	216,5	<u>2,5</u>	2,2
	215	-	207,0	<u>3,5</u>	3,0
-4,75	45	-	199,1	<u>0,2</u>	0,0
	90	-	203,2	<u>0,3</u>	0,1
	135	-	196,9	<u>0,6</u>	0,3
	185	-	208,0	<u>0,8</u>	0,6
	215	-	207,0	<u>1,0</u>	0,9



Çizelge 5.27. Manyetit içermeyen disk şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırımda etkili kuvvet değerleri

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	50,0	0	<u>6,8</u>
	90	26,3	28,0	0	<u>27,4</u>
	135	-1,1	24,0	0	<u>61,6</u>
	185	-	38,0	0	<u>115,6</u>
	215	-	31,0	0	<u>156,2</u>
-22,4+19	45	40,4	48,0	0	<u>5,1</u>
	90	26,3	28,0	0	<u>20,5</u>
	135	-1,1	21,0	0	<u>46,1</u>
	185	-	16,0	0	<u>86,5</u>
	215	-	14,0	0	<u>116,9</u>
-19+13,2	45	40,4	50,0	0	<u>2,8</u>
	90	26,3	28,0	0	<u>13,7</u>
	135	-1,1	20,0	0	<u>30,9</u>
	185	-	16,0	0	<u>58,0</u>
	215	-	23,0	0	<u>78,3</u>
-13,2+9,5	45	40,4	48,0	0	<u>1,1</u>
	90	26,3	29,0	0	<u>4,4</u>
	135	-1,1	18,0	0	<u>9,9</u>
	185	-	14,0	0	<u>18,5</u>
	215	-	29,0	0	<u>25,0</u>
-9,5+6,7	45	40,5	50,0	0	<u>0,3</u>
	90	26,4	29,0	0	<u>1,4</u>
	135	-0,9	19,0	0	<u>3,1</u>
	185	-	14,0	0	<u>5,8</u>
	215	-	31,2	0	<u>7,9</u>
-6,7+4,75	45	41,0	50,0	0	<u>0,1</u>
	90	26,9	29,0	0	<u>0,5</u>
	135	-0,2	41,4	0	<u>1,2</u>
	185	-	46,0	0	<u>2,2</u>
	215	-	36,0	0	<u>3,0</u>
-4,75	45	43,1	50,0	0	<u>0,0</u>
	90	29,2	28,0	0	<u>0,1</u>
	135	2,7	41,0	0	<u>0,3</u>
	185	-	46,0	0	<u>0,6</u>
	215	-	36,0	0	<u>0,9</u>

Çizelge 5.28. %0,25 Manyetit içeren disk şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırırda etkili kuvvet değerleri

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	39,0	17,1	<u>7,4</u>
	90	26,3	28,0	56,8	<u>29,7</u>
	135	-1,1	26,0	96,9	<u>66,7</u>
	185	-	21,0	163,0	<u>125,3</u>
	215	-	20,0	208,4	<u>169,3</u>
-22,4+19	45	40,4	38,0	14,7	<u>5,8</u>
	90	26,3	29,0	43,4	<u>23,3</u>
	135	-1,1	20,0	83,2	<u>52,4</u>
	185	-	19,0	130,4	<u>98,4</u>
	215	-	32,8	148,3	<u>133,0</u>
-19+13,2	45	40,4	29,0	<u>12,3</u>	2,8
	90	26,3	55,5	<u>17,4</u>	11,1
	135	-1,1	47,3	<u>26,4</u>	25,0
	185	-	16,0	63,7	<u>46,9</u>
	215	-	23,0	76,4	<u>63,4</u>
-13,2+9,5	45	41,0	48,0	<u>1,6</u>	1,0
	90	26,9	29,0	<u>7,2</u>	3,9
	135	-0,3	18,0	<u>14,3</u>	8,8
	185	-	14,0	<u>22,7</u>	16,4
	215	-	29,0	25,6	<u>22,2</u>
-9,5+6,7	45	40,8	50,0	<u>0,7</u>	0,3
	90	35,4	29,0	<u>2,4</u>	1,3
	135	10,4	19,0	<u>4,7</u>	2,9
	185	-	14,0	<u>7,6</u>	5,5
	215	-	31,2	8,4	<u>7,4</u>
-6,7+4,75	45	-11,8	50,0	<u>0,2</u>	0,1
	90	8,3	29,0	<u>0,8</u>	0,4
	135	33,6	41,4	<u>1,1</u>	1,0
	185	19,2	46,0	<u>1,9</u>	1,8
	215	-20,5	36,0	2,7	<u>2,5</u>
-4,75	45	-	50,0	<u>0,0</u>	0,0
	90	-	28,0	<u>0,1</u>	0,0
	135	-	41,0	<u>0,1</u>	0,1
	185	-	46,0	<u>0,2</u>	0,2
	215	-	36,0	0,3	<u>0,3</u>

Çizelge 5.29. %0,5 Manyetit içeren disk şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırırda etkili kuvvet değerleri

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	50,0	<u>15,1</u>	7,2
	90	26,3	53,0	<u>41,5</u>	28,9
	135	-1,1	62,0	91,4	<u>65,0</u>
	185	-	63,5	150,8	<u>122,1</u>
	215	-	61,8	191,0	<u>164,9</u>
-22,4+19	45	40,4	49,0	<u>11,3</u>	6,0
	90	26,3	62,0	<u>46,0</u>	24,0
	135	-1,1	66,0	<u>81,0</u>	54,1
	185	-	67,0	129,8	<u>101,6</u>
	215	-	65,0	162,9	<u>137,2</u>
-19+13,2	45	40,4	48,0	<u>5,2</u>	3,2
	90	26,4	70,0	<u>29,3</u>	12,6
	135	-1,0	76,0	<u>48,7</u>	28,4
	185	-	73,0	<u>71,8</u>	53,3
	215	-	68,5	<u>87,8</u>	72,0
-13,2+9,5	45	41,4	13,0	<u>8,2</u>	1,1
	90	27,3	87,0	<u>13,3</u>	4,3
	135	0,3	101,5	<u>20,9</u>	9,7
	185	-	91,0	<u>27,9</u>	18,2
	215	-	74,3	<u>31,1</u>	24,6
-9,5+6,7	45	34,5	121,0	<u>4,6</u>	0,4
	90	41,7	124,3	<u>5,7</u>	1,4
	135	17,8	123,6	<u>7,5</u>	3,2
	185	-	117,7	<u>10,2</u>	6,0
	215	-	96,7	<u>11,5</u>	8,1
-6,7+4,75	45	-	172,0	<u>1,4</u>	0,1
	90	-	161,6	<u>1,9</u>	0,5
	135	-13,4	157,5	<u>2,6</u>	1,1
	185	32,3	166,0	<u>3,4</u>	2,1
	215	30,2	158,0	<u>4,3</u>	2,8
-4,75	45	-	196,0	<u>0,2</u>	0,0
	90	-	220,0	<u>0,2</u>	0,1
	135	-	201,0	<u>0,5</u>	0,3
	185	-	195,0	<u>0,8</u>	0,6
	215	-	211,0	<u>0,9</u>	0,8

Çizelge 5.30. %0,75 Manyetit içeren disk şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırırda etkili kuvvet değerleri

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	50,0	<u>16,6</u>	8,0
	90	26,3	69,0	<u>72,4</u>	31,9
	135	-1,1	68,5	<u>111,4</u>	71,7
	185	-	67,7	173,1	<u>134,6</u>
	215	-	63,5	213,4	<u>181,9</u>
-22,4+19	45	40,4	52,0	<u>13,7</u>	5,4
	90	26,3	71,5	<u>52,1</u>	21,8
	135	-1,1	74,8	<u>82,7</u>	49,0
	185	-	70,0	<u>120,7</u>	91,9
	215	-	63,6	145,8	<u>124,2</u>
-19+13,2	45	40,4	80,0	<u>24,8</u>	3,0
	90	26,4	86,5	<u>37,3</u>	12,1
	135	-1,0	86,5	<u>52,5</u>	27,3
	185	-	76,2	<u>71,0</u>	51,3
	215	-	68,5	<u>84,4</u>	69,3
-13,2+9,5	45	41,9	142,0	<u>14,8</u>	1,1
	90	27,9	122,0	<u>17,9</u>	4,4
	135	1,0	122,5	<u>23,4</u>	9,9
	185	-	112,5	<u>31,4</u>	18,7
	215	-	94,9	<u>35,8</u>	25,2
-9,5+6,7	45	26,1	218,0	<u>0,7</u>	0,3
	90	40,2	223,0	<u>1,2</u>	1,1
	135	26,6	220,0	<u>2,8</u>	2,5
	185	-26,6	212,0	<u>5,4</u>	4,6
	215	-	208,0	<u>7,3</u>	6,3
-6,7+4,75	45	-	221,0	<u>0,2</u>	0,1
	90	-	224,0	<u>0,5</u>	0,4
	135	-	216,0	<u>1,2</u>	1,0
	185	-	210,0	<u>2,3</u>	1,9
	215	8,7	206,0	<u>3,0</u>	2,6
-4,75	45	-	228,0	<u>0,1</u>	0,0
	90	-	227,0	<u>0,2</u>	0,1
	135	-	218,0	<u>0,4</u>	0,3
	185	-	210,0	<u>0,7</u>	0,6
	215	-	210,0	<u>0,9</u>	0,8

Çizelge 5.31. %1 Manyetit içeren disk şekilli tanelerin hesaplanan kopma açısı ve ayırırda etkili kuvvet değerleri

Tane Boyu (mm)	Rulo hızı (devir/dk)	Kopma Açısı (Kopp Eşitliği)	Kopma Açısı (Geri Hesaplama)	F-manyetik	F-merkezkaç
+22,4	45	40,4	17,0	<u>48,0</u>	7,0
	90	26,3	85,0	<u>84,2</u>	28,0
	135	-1,1	82,5	<u>116,2</u>	63,0
	185	-	78,9	<u>167,0</u>	118,3
	215	-	75,3	<u>203,9</u>	159,7
-22,4+19	45	40,4	15,0	<u>36,2</u>	5,0
	90	26,3	89,0	<u>63,4</u>	20,0
	135	-1,1	86,0	<u>86,0</u>	45,0
	185	-	82,3	<u>122,4</u>	84,5
	215	-	75,6	<u>146,0</u>	114,2
-19+13,2	45	40,4	111,0	<u>42,6</u>	3,4
	90	26,4	115,0	<u>54,0</u>	13,7
	135	-1,0	99,0	<u>65,6</u>	30,9
	185	-	90,0	<u>88,3</u>	58,0
	215	-	83,0	<u>104,7</u>	78,3
-13,2+9,5	45	42,2	195,0	<u>7,9</u>	1,1
	90	28,2	215,0	<u>6,8</u>	4,4
	135	1,4	220,0	<u>11,1</u>	9,9
	185	-	211,0	<u>21,8</u>	18,5
	215	-	207,0	<u>29,2</u>	25,0
-9,5+6,7	45	21,1	193,0	<u>2,6</u>	0,3
	90	35,5	214,0	<u>2,2</u>	1,4
	135	31,4	218,0	<u>3,6</u>	3,1
	185	-15,2	232,0	<u>6,4</u>	5,8
	215	-	205,0	<u>9,4</u>	7,9
-6,7+4,75	45	-	189,0	<u>1,1</u>	0,1
	90	-	235,0	<u>0,8</u>	0,5
	135	-	218,0	<u>1,4</u>	1,2
	185	-	209,0	<u>2,7</u>	2,2
	215	-	205,0	<u>3,6</u>	3,0
-4,75	45	-	190,0	<u>0,3</u>	0,0
	90	-	201,0	<u>0,3</u>	0,1
	135	-	216,0	<u>0,4</u>	0,3
	185	-	208,0	<u>0,8</u>	0,6
	215	-	208,0	<u>1,0</u>	0,9

Tüm çizelgeler değerlendirildiğinde manyetit içermeyen taneler için etkili olan kuvvetlerden merkezkaç kuvvetin hesaplanmasında bir problem bulunmamaktadır. Ancak, artan manyetit içeriğine bağlı olarak manyetik çekim kuvvetinde beklenen artış hesaplamalara yansımamaktadır. Manyetit içeriği %0.25 olan tane ile manyetit içeriği %1 olan tanelerin manyetik alınganlıkları arasındaki farkın neden olması beklenen manyetik çekim kuvvetindeki artış Kopp eşitliğinde sonuç vermemektedir.

Manyetit içeriği en yüksek olan tanelerin hareketleri ile hesaplama sonuçları karşılaştırıldığında asal kuvvetin manyetik çekim kuvveti olduğu görülmektedir. Ancak, en yüksek manyetit içeriğine sahip taneler ile en düşük manyetit içeriğine sahip olan tanelere etkiyen manyetik çekim kuvveti değerleri arasındaki farklar çok düşüktür.

Çizelgelerde tane hareketine etki ederek yörüngeyi, dolayısıyla tanenin katettiği mesafeyi belirleyen asal kuvvetler işaretlenmiştir. Ancak, hesaplamalara göre belirlenen asal kuvvet ile tanelerin katettikleri mesafeler ve kopma açıları karşılaştırıldığında hesaplanan ile ölçülen arasında uyumsuzluklar gözlenmektedir.

Sadece geri hesaplama ile bulunan kopma açısı değerleri değerlendirildiğinde tanelerin katettikleri mesafe değerleri ile tanenin banttandırıldığı noktaların koordinatları ve izlediği yörüngeler uyum göstermektedir.

Manyetik çekim kuvveti hesaplamasında kullanılan eşitliğin, tane hareketlerini incelerken tüm ayırım koşullarında güvenilir sonuç vermediği anlaşılmaktadır. Tane hareketlerini inceleyebilmek için yerçekimi ve merkezkaç kuvvet değerleri ile kopma açısının yanısıra tanelere etki eden manyetik çekim kuvvetinin net olarak hesaplanabilmesi, yörüngelerin sağlıklı bir şekilde hesaplanabilmesini sağlayacaktır.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yürütülen çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile rulo tipi manyetik ayırıcıda ayırımı etkileyen değişkenlerin etkileri ortaya konmuştur. Sonuçlar, literatürle uyum göstermektedir. Bu sonuçlar ışığında, daha kapsamlı çalışmalar için bir dizi öneride bulunulmuştur.

- Rulo tipi kuru manyetik ayırıcılar, halen gelişimi devam etmekte olan ekonomik ve etkili manyetik ayırıcılardır. Bu ayırıcılar kullanılarak ayrılan malzemenin fiziksel özellikleri ile ekipman parametrelerinin hassas şekilde ayarlanması ile yüksek kalitede ürünlerin diğer manyetik ayırıcılara göre daha düşük maliyetle elde edilmesi mümkündür.
- Deneysel çalışma kapsamında tane hareketlerine olan etkileri incelenen tane boyu, manyetik alınganlık, şekil ve rulo hızı ayırım üzerinde belirgin etkilere sahiptir.
- Farklı şekillere sahip taneleri tanımlamak için standart bir değer olarak Wadell Küresellik Faktörünün kullanımı fayda sağlamakta ve tane şekli ile tane hareketlerinin değişimi ortaya koyulabilmektedir.
- Küresellik değeri çok düşük olan disk şekilli taneler manyetik çekim kuvvetlerinden en çok etkilenen şekle sahiptir. Küresellik değeri büyüdükçe tanelerin manyetik çekim kuvvetinden etkilenmeye başladıkları tane boyları büyümektedir.
- Küresellik değeri arttıkça tanelerin rulo hızından etkilenme davranımı zayıflamaktadır. Bu tanelerin farklı tane boylarında katettikleri mesafeler de birbirine yakındır.
- Tane boyu sınıflandırması yapılması ve manyetik ayırıcıya dar tane boyu aralıklarında besleme yapılması bir zorunluluktur. Geniş bir tane boyu aralığına sahip besleme yapılması durumunda farklı manyetik alınganlığa

ve şekle sahip tanelerin sadece tane boyları farklı olduğu ve ayırımında etkin olan kuvvetlerden farklı derecelerde etkilenecekleri için, aynı ürün içinde yer almaları istenmeyen bir sonuçtur.

- Aynı şekil ve tane boyuna sahip tanelerden farklı manyetik alınganlığa sahip olanların ayrılması için kontrol edilmesi gereken değişkenler rulo hızı ve bölücü bıçak konumudur.
- Çok düşük alınganlığa sahip olan ve manyetik olmayan ürün olarak ayrılması istenen malzeme için yüksek rulo hızlarında ve düşük bölücü bıçak açısı değerlerinde çalışılması gerekmektedir. Küreselliği en düşük olan disk şekilli taneler için iri tane boylarında 90-185 devir/dk rulo hızlarında 105°'ye kadar bıçak açılarında çalışılması durumunda manyetik alınganlığı olmayan taneler yüksek alınganlıkları tanelerden ayrılacaktır. Tane boyu küçüldükçe düşük rulo hızlarında bıçak açısı 90°'ye düşürülmeli ya da rulo hızı 185 devir/dk'ya yükseltilmelidir. Küresellik arttıkça rulo hızının düşürülmesi ve bölücü bıçak açısının azaltılması gerekmektedir. Rulo eksenine dik beslenen silindirik şekilli tanelerden iri boyutta ayırım yapabilmek için rulo hızı 45-90 devir/dk'ya ayarlanmalı, bölücü bıçak konumu da 90°'de kalmalıdır. Tane boyu küçüldükçe rulo hızı 135 devir/dk'ya, bölücü bıçak konumu da 105°'ye yükseltilebilir. Küresellik faktörü 1 olan farklı alınganlığa sahip iri tane boyundaki taneler düşük rulo hızlarında dahi manyetik çekimden kurtulabilmektedir. Bu yüzden en düşük rulo hızında ve 90° bölücü bıçak açısı değerinde çalışılarak manyetik ürün manyetik olmayanlardan ayrılacaktır.
- Özellikle yüksek manyetik alınganlığa sahip iri boyutlu tanelerin bölücü bıçak en büyük açıda sahip olsa da yüksek rulo hızlarında manyetik olmayan ürün olarak değerlendirilme olasılığı mevcuttur.
- Tane boyu irileştikçe rulo konfigürasyonu da değiştirilmelidir. Daha etkin bir ayırım için 4 mm mıknatıs:1 mm çelik dizilimi iri tane boyundaki malzemenin ayırımı için yeterli olmamaktadır. Çok iri boyutlu besleme yapılacaksa 12 mm mıknatıs:4 mm çelik dizilimi tercih edilmelidir.



- Deneysel çalışma kapsamında öz şekilli taneler hazırlanmış olsa da boyut küçültme sonrasında manyetik ayırıcıya beslenen cevherler gözönüne alındığında küresellik faktörünün kesin bir şekilde hesaplanamayacağı açıktır. Yine de, besleme içindeki farklı şekillere sahip malzemelerin şekillerindeki farkların ve dağılımlarının belirlenmesi, ayırım koşullarının ayarlanması aşamasında fayda sağlayacaktır.
- Tane yörüngelerinin belirlenmesi için geliştirilmiş olan manyetik çekim kuvveti ve kopma açısı eşitlikleri, çok karmaşık fiziksel ilişkilerin var olduğu manyetik ayırma işlemini ifade etmemektedir. Farklı fiziksel özelliklere sahip taneler kullanılarak yapılacak deneysel çalışmalar ile manyetik çekim kuvveti hesaplamasında yaşanan olumsuzluklar giderilebilecektir. Nitekim, Orhan vd. (2006) nin çalışmasında Kopp eşitliğinde (33) mevcut olan manyetik çekim kuvveti ampirik bir eşitlik haline dönüştürülmüş ve deneysel sonuçlar yüksek uyum ile hesaplanabilmiştir.
- Dar tane boyu aralıkları ve her bir manyetik alınganlık değeri için ayrı ayrı olmak üzere, daha basit ampirik eşitlikler kullanılarak manyetik ayırıcının performansının tahmin edilebileceği öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

Arnold, 2002, Permanent magnet training manual, The Arnold Engineering Company.

Arvidson, B.R., 1984, New high-intensity roll separator using permanent magnets, CIM 23rd Annual Conference of Metallurgists, Quebec, August 19-22, pp.1-22.

Arvidson, B.R., 1985, Two new magnetic separators improving industrial minerals cleaning, SME-AIME Annual Meeting, New York, 85-77.

Arvidson, B.R., 1988, Industrial minerals beneficiation with Permroll® magnetic separator, II. International Mineral Processing Symposium, İzmir, pp. 147-164.

Arvidson, B.R., 1990, Recent developments in dry high intensity magnetic separation, Australian IMM 1990 Annual Conference, pp. 1 - 16.

Arvidson, B.R., Rademeyer, L., 1997, Rare-earth magnetic separators for mineral sands applications, Heavy Minerals 97 Conference, SAIMM Journal, pp.129-136.

Arvidson, B.R., Henderson, D., 1997, Rare-earth magnetic separation equipment and applications development, Minerals Engineering Vol.10, No. 2, pp. 127-137.

Arvidson, B.R., 2000, Recent developments of rare-earth magnetic roll and drum separators, SME Annual Meeting, February 28 – March 1, 00-140, pp.1-11.

Bateman, 2006, Permroll® Katalog.

Barret, P.J., 1980, The shape of rock particles, a critical review, Sedimentology, 27 (1), 15-22.

Bayraktar, İ., Gülsoy, Ö.Y., Can, N.M., Orhan, E.C., 2003, Magmatik ve metamorfik kayaçlardan feldispat üretimi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Seminer Notları, MTA, Ankara, 36s.

Cuttle, J., 1994, Report on the initial separation of vermiculite ore, Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Mineral Resources Division, Vancouver, Minfile 093K101, pp.1-17.

Davy, M., 1990, Rare earth magnets in mineral sands processing, Indust. Min. Proc. Suppl., p. 9-11.

Demirel, H., Ekmekçi, Z., 1990, Concentration of hematitic iron ores with dry high intensity magnetic separator, III. International Mineral Processing Symposium, İstanbul, pp. 172-180.

Demirel, H., Ekmekçi, Z., 1992, Concentration of hematitic-limonitic iron ores by high intensity permanent magnetic separator, 1991 SME Annual Meeting Denver, Colorado, February 25-28, 91-47, pp. 1-7.

Demirel, H., Ekmekçi, Z., Ergün, Ş.L., Gülsoy, Ö.Y., 1992, Manyezit cevherleri üzerinde manyetik ayırma akım şeması geliştirmesi, IV. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Cilt 2, 576-587s.

Ekmekçi, Z., 1990, Karakuz demir cevherinin manyetik ayırma ile zenginleştirilmesini etkileyen parametrelerin incelenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 81s.

Ekmekçi, Z., 1990, Yüksek alan şiddetli sürekli mıknatıslı manyetik ayırıcılar : özellikleri ve uygulamalar, Madencilik, Cilt XXIX, S. 3, 39-46 s.

Ennis, J.E., Dunn, F., 2000, The magnetic separation of particles, International Application Published Under the Patent Cooperation Treaty, Patent No. WO 00/64588, PCT/IB00/00482.

Ersayın, S., Ergün, Ş.L., Gülsoy, Ö.Y., 1991, Manyezit artıklarının manyetik ayırıcılarla zenginleştirilmesi, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 12. Kongresi, Ankara, 253-264 s.

Gülsoy, Ö.Y., Bayraktar, İ., Can, N.M., 2003, Altere granitlerden yüksek potasyumlu feldispat üretimi, Madencilik, 42 (3), 3-9.

Gülsoy, Ö.Y., Orhan, E.C., 2004, Importance of magnet-steel configuration in dry high intensity permanent magnetic rolls : theoretical and practical approach, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 38, 301-309.

Gülsoy, Ö.Y., Orhan, E.C., Can, N.M., 2004, Bursa-Orhaneli siyenitlerinden feldispat üretimi, Madencilik, Cilt43, Sayı 4, s. 17-28.

Gülsoy, Ö.Y., Can, N.M., Bayraktar, İ., 2005, Production of potassium feldspar concentrate from a low-grade pegmatitic ore in Turkey, Trans. Inst. Min. Metall. C., Vol.114, pp.80-86.

Israelson, A.F., 1978, Magnetic separation of minerals, Mining Magazine, Sept., pp. 212-219.

Jiles, D., 1991, Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, Chapman & Hall, New York.

Kaymakçı, 2001 Nuretdin Kaymakçı, Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Sedimantoloji Ders notları

Koca H., Koca, S., Kockar, O.M., 2000, Upgrading of Kütahya region lignites by mild pyrolysis and high intensity dry magnetic separation, Minerals Engineering, Vol.13, No. 6, pp. 657-661.

Kopp, J., 1984, Permanent magnet disk separators, IEEE Trans. Magn., Vol. Mag-20, No. 5, pp.1204-1206.

Marinescu, M., Marinescu, N., Unkelbach, K.H., Schanbel, H.G., Hock, S., Kramming, H., Wagner, R., Zoller, R., 1989, New permanent magnetic separator with Nd-Fe-B meets theoretical predictions, IEEE Transactions on Magnetics, Vol.25, No.3, pp. 2732-2738.

Mizoguchi, T., Sakai, I., Inomata, K., 1986, Nd-Fe-B-Co-Al based permanent magnets with improved magnetic properties and temperature characteristics, Appl. Phys. Lett., 48, p.1309.

Morten, R.H., Haavard, S., Arnljot, H.O., 2003, Method for removing impurities from silicon-containing residues, US patent No. 2,380, 995, WO03018207

Oberteuffer, J.A., 1974, Magnetic separation : a review of principles, devices, applications, IEEE Trans. Magn. 10 (2), pp. 223-238.

Orhan, E.C., Gülsoy, Ö.Y., Hassoy, H., 2006, Discrete element modeling of 2D particle motion in permanent magnetic rolls, Proceedings of the XXIII International Mineral Processing Congress, İstanbul, Vol.3, pp. 1872-1877.

Peter, D.C., Micu, E., Petrean, L.E., 2001, Evaluation of magnetic forces in a magnetic separator with permanent magnets, New Developments in Mineral Processing, Proceedings of the 9th Balkan Mineral Processing Congress, İstanbul, pp. 97-100.

Phan, V.T., Raman, V.K., 2005, Method for removing contaminants from fluid streams, U. S. Patent Number 09/940,178; International Patent Application No. PCT/US/39925, WO2005082524.

Powers, M. C., 1953 A new roundness scale for sedimentary particles. Journal of Sedimentary Petrology, v. 23, p. 117-119.

Rodewald, W., 1985, Magnetization and aging of sintered Nd-Fe-B magnets, J.Less Common Metals, 111, p.77.

Schieber, M.M., 1967, Experimental magnetochemistry, North-Holland Publ.Co., Amsterdam.

Sagawa, M., Fujimura, S., Yamamoto, H., Matsura, Y., Hiraga, K., 1984, Permanent magnet materials based on the rare-earth-iron-boron tetragonal compounds, IEEE Trans. Mag., MAG-20, p.1584.

Saklar, S., Oktay, C., 2003, Yozgat bölgesi granitlerinin feldispatyonünden zenginleştirilmesi, MTA Dergisi 127, 103-108.

Schulz, N.F., 1970, Separation Efficiency, Trans. AIME, Vol. 247, p. 81-87.

Street, B.G., 1984, Future development trends in the production of sintered permanent magnets, Met. Powder Rep., 32, p.581.

Svoboda, J., 1987, Magnetic methods for the treatment of minerals, Elsevier, Amsterdam, 692 pp.

Şensöğüt, N., 1996, Konya Krom Magnezit Tuğla Sanayi T.A.Ş. triyaj ve manyetik ayırıcı atıklarının permroll manyetik ayırıcısıyla zenginleştirilmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 70s.

Thompson, R., Oldfield,F., 1986, Environmental Magnetism, Allen and Unwin, London, 227 pp.

Wadell, H., 1935, Volume, shape and roundness of rock particles, J. Geol., 43, 250–280.

# **EKLER**

EK 1 – Küp Şekli tanelerin katettikleri mesafe ölçümleri

Manyetit İçermeyen		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,162	10,5	12,8	16,5	20	21,8
-22,4+19	4,610	10,5	13,1	16,3	20,3	22,1
-19+13,2	2,558	9,8	12,3	15,6	19,9	21,7
-13,2+9,5	0,960	9,6	11,8	15,0	19,3	21,4
-9,5+6,7	0,324	9,1	11,5	14,8	18,8	20,5
-6,7+4,75	0,126	8,7	11,0	14,3	18,0	20,0
-4,75	0,029	8,3	10,5	13,5	17,5	19,8

%0,25 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,679	5,3	9,0	15,2	18,7	23,0
-22,4+19	5,246	4,8	8,4	12,4	19,7	22,7
-19+13,2	2,500	2,9	6,7	8,5	17,3	22,6
-13,2+9,5	0,876	-1,3	2,0	4,7	10,8	22,1
-9,5+6,7	0,293	-2,0	-4,3	-1,5	2,1	-0,2
-6,7+4,75	0,098	-2,0	-5,8	-8,4	-8,3	-10,5
-4,75	0,010	-2,0	-6,0	-9,2	-13,0	-13,0

%0,5 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,508	3,8	7,5	10,3	15,3	21,0
-22,4+19	5,415	0,9	5,6	7,3	12,6	20,4
-19+13,2	2,842	-4,0	-2,1	2,3	8,8	16,8
-13,2+9,5	0,969	-3,6	-7,9	-9,2	0,3	10,3
-9,5+6,7	0,318	-3,8	-8,4	-11,2	-7,0	-0,5
-6,7+4,75	0,112	-3,6	-8,5	-11,2	-10,7	-10,6
-4,75	0,030	-4,4	-8,4	-11,1	-14,2	-15,5

%0,75 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	7,175	-3,0	5,1	9,6	15,3	20,3
-22,4+19	4,900	-3,5	0,9	6,8	12,1	18,9
-19+13,2	2,734	-4,7	-4,3	-3,1	8,3	12,2
-13,2+9,5	0,995	-4,8	-7,2	-10,3	-5,1	-4,2
-9,5+6,7	0,247	-4,5	-9,6	-11,7	-12,0	-10,3
-6,7+4,75	0,101	-4,5	-9,7	-11,8	-12,0	-12,2
-4,75	0,031	-4,2	-10,0	-12,0	-12,0	-11,0

%1 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,3	-3,5	-2,9	4,4	9,9	17,7
-22,4+19	4,5	-3,6	-3,5	-4,0	10,1	11,6
-19+13,2	3,1	-4,3	-8,2	-12,0	2,0	2,3
-13,2+9,5	1,0	-4,2	-8,3	-11,4	-10,0	-10,2
-9,5+6,7	0,3	-4,4	-7,9	-11,4	-16,2	-18,0
-6,7+4,75	0,1	-4,6	-7,8	-10,1	-16,1	-18,3
-4,75	0,0	-4,5	-7,6	-10,1	-15,8	-17,5

EK – 2 Küre Şekli tanelerin katettikleri mesafe ölçümleri

Manyetit İçermeyen		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	5,8	11	12,1	12,4	13,2	14
-22,4+19	4,8	11,2	12,0	12,2	13,4	15,0
-19+13,2	2,3	11,1	11,5	11,9	12,9	14,7
-13,2+9,5	0,6	10,4	11,2	11,5	12,5	14,4
-9,5+6,7	0,2	10,2	11,1	11,5	12,3	14,0
-6,7+4,75	0,1	10,2	11,1	11,5	12,4	14,0
-4,75	0,1	10,1	11,0	11,4	12,5	13,9

%0,25 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,8	10,0	12,0	11,5	14,0	14,5
-22,4+19	5,2	9,9	10,8	10,6	12,9	13,2
-19+13,2	2,6	9,4	9,5	9,6	11,9	12,5
-13,2+9,5	0,9	7,6	7,8	8,4	11,3	12,6
-9,5+6,7	0,3	5,9	6,0	6,2	8,1	12,0
-6,7+4,75	0,2	4,8	4,3	5,5	7,7	11,5
-4,75	0,1	0,8	-1,0	-0,3	-1,0	-2,0

%0,5 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,8	9,7	9,7	10,9	12,7	14,4
-22,4+19	5,2	8,8	8,9	10,2	11,8	13,5
-19+13,2	2,7	7,2	8,0	8,3	10,2	12,3
-13,2+9,5	0,9	5,6	5,8	3,2	5,2	10,4
-9,5+6,7	0,3	2,8	0,7	-1,1	-1,8	3,2
-6,7+4,75	0,1	-2,2	-4,0	-6,3	-10,5	-11,3
-4,75	0,1	-4,3	-11,2	-10,3	-17,9	-19,2

%0,75 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,5	8,0	8,3	9,8	11,7	13,9
-22,4+19	5,1	7,3	8,0	8,7	11,1	13,9
-19+13,2	3,0	6,2	6,1	6,3	9,3	12,3
-13,2+9,5	0,8	1,0	1,1	-0,7	-0,4	3,9
-9,5+6,7	0,2	-5,7	-12,2	-17,7	-19,5	-22,0
-6,7+4,75	0,1	-5,8	-12,3	-17,3	-19,5	-22,0
-4,75	0,0	-6,0	-12,2	-17,7	-19,5	-22,0

%1 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,5	6,0	6,5	7,3	8,8	10,4
-22,4+19	5,2	5,8	5,9	6,5	7,8	10,3
-19+13,2	3,0	4,0	2,2	3,9	5,7	7,9
-13,2+9,5	1,1	-0,6	-3,4	-3,0	-2,5	-2,4
-9,5+6,7	0,3	-12,1	-13,4	-15,6	-16,0	-18,9
-6,7+4,75	0,1	-12,3	-10,6	-17,8	-19,2	-22,1
-4,75	0,1	-11,5	-8,6	-15,7	-19,7	-22,0



EK- 3 Banda Dik Beslenen Silindir Şekli tanelerin katettikleri mesafe ölçümleri

Manyetit İçermeyen		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,5	10,8	13,0	16,2	21,8	23,2
-22,4+19	5,0	10,6	12,9	15,9	21,1	22,9
-19+13,2	2,6	9,9	12,6	15,3	20,0	21,7
-13,2+9,5	1,1	9,9	12,4	15,1	19,9	21,0
-9,5+6,7	0,3	9,7	12,0	14,9	19,4	20,8
-6,7+4,75	0,2	9,5	11,6	13,2	16,0	20,0
-4,75	0,0	9,1	11,5	13,2	16,0	20,0

%0,25 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,6	7,0	11,0	15,0	20,0	22,0
-22,4+19	5,0	6,9	10,6	14,6	20,1	20,7
-19+13,2	2,8	6,5	9,3	12,9	18,8	20,0
-13,2+9,5	1,0	2,8	5,9	8,4	14,2	19,7
-9,5+6,7	0,2	0,4	1,1	2,5	6,9	12,5
-6,7+4,75	0,1	-1,5	0,3	0,7	4,3	10,0
-4,75	0,0	-1,0	-5,0	-4,7	-4,5	-9,2

%0,5 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,6	5,3	7,9	12,4	20,0	22,7
-22,4+19	5,3	4,9	8,0	11,6	17,9	21,4
-19+13,2	2,6	2,8	6,2	9,6	15,0	17,8
-13,2+9,5	0,9	-2,6	-1,2	3,7	4,6	7,1
-9,5+6,7	0,2	-3,8	-8,0	-10,7	-8,0	-7,5
-6,7+4,75	0,1	-3,8	-8,0	-10,9	-11,8	-13,2
-4,75	0,0	-3,9	-8,0	-11,0	-15,0	-17,0

%0,75 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,4	7,4	8,0	11,8	18,0	19,0
-22,4+19	5,2	4,8	7,9	11,0	16,5	17,3
-19+13,2	2,8	1,1	0,0	2,4	8,9	13,7
-13,2+9,5	1,0	-3,5	-8,4	-7,5	2,4	5,0
-9,5+6,7	0,3	-4,2	-9,0	-15,5	-15,5	-20,0
-6,7+4,75	0,0	-4,2	-9,0	-15,0	-15,5	-19,3
-4,75	0,0	-4,3	-9,0	-15,5	-15,8	-20,0

%1 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,7	1,2	7,3	9,9	12,3	13,0
-22,4+19	5,1	-1,3	2,7	6,2	11,1	12,3
-19+13,2	2,7	-5,2	-6,3	-1,8	5,8	8,5
-13,2+9,5	0,9	-5,1	-9,2	-13,4	-10,8	-11,6
-9,5+6,7	0,3	-5,3	-9,0	-13,2	-16,9	-20,2
-6,7+4,75	0,1	-5,2	-9,0	-12,4	-16,0	-19,8
-4,75	0,0	-5,2	-9,0	-12,2	-16,2	-18,5

EK – 4 Banda Paralel Beslenen Silindir Şekli tanelerin katettikleri mesafe ölçümleri

Manyetit İçermeyen		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,5	11,2	12,0	13,5	14,7	15,5
-22,4+19	5,0	11,1	12,0	13,3	14,5	15,7
-19+13,2	2,6	10,7	11,9	13,1	14,3	17,7
-13,2+9,5	1,1	10,8	11,9	13,2	14,2	18,8
-9,5+6,7	0,3	10,5	11,8	13,2	14,4	17,8
-6,7+4,75	0,2	10,5	11,7	13,0	14,2	17,0
-4,75	0,0	10,2	11,6	13,0	14,0	17,0

%0,25 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,6	9,0	9,5	11,0	13,0	14,0
-22,4+19	5,0	9,0	9,5	10,8	12,7	14,0
-19+13,2	2,6	8,4	8,6	9,8	12,3	13,7
-13,2+9,5	0,7	6,7	5,5	6,8	14,2	14,0
-9,5+6,7	0,2	4,5	3,9	4,2	8,8	12,8
-6,7+4,75	0,1	3,0	3,8	2,3	3,5	11,6
-4,75	0,0	-1,7	-5,0	-4,2	-4,0	1,0

%0,5 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,6	7,4	6,8	7,2	11,0	13,0
-22,4+19	5,3	6,6	6,2	6,4	10,1	12,8
-19+13,2	2,6	4,7	5,2	3,8	6,6	11,8
-13,2+9,5	0,9	1,5	1,5	-0,3	-0,1	6,0
-9,5+6,7	0,2	-2,9	-3,8	-9,6	-7,7	0,7
-6,7+4,75	0,1	-2,2	-4,5	-10,2	-11,5	-13,8
-4,75	0,0	-1,8	-8,0	-11,0	-16,0	-17,0

%0,75 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,4	4,1	7,4	8,0	11,6	13,8
-22,4+19	5,2	3,0	4,8	5,8	9,1	10,5
-19+13,2	2,8	0,8	1,4	1,2	2,7	6,9
-13,2+9,5	1,0	-3,7	-5,6	-7,2	-6,1	-4,7
-9,5+6,7	0,3	-8,0	-13,7	-16,1	-15,7	-21,0
-6,7+4,75	0,0	-7,5	-9,0	-11,5	-15,5	-19,0
-4,75	0,0	-7,5	-11,5	-13,8	-15,5	-20,0

%1 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,7	6,0	3,6	5,0	6,0	7,8
-22,4+19	5,1	3,8	2,8	3,1	2,9	7,3
-19+13,2	2,7	-0,7	0,4	-2,3	-4,7	0,7
-13,2+9,5	0,9	-7,3	-7,9	-10,2	-13,3	-13,2
-9,5+6,7	0,3	-7,4	-10,2	-13,6	-17,7	-20,5
-6,7+4,75	0,1	-4,1	-6,2	-12,1	-16,7	-20,5
-4,75	0,1	-4,7	-9,0	-12,2	-16,0	-19,7

EK- 5 Disk Şekli tanelerin katettikleri mesafe ölçümleri

Manyetit İçermeyen		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,79	9,5	12,1	16	17,9	21
-22,4+19	5,2	10,2	12,2	15,1	20,9	22,3
-19+13,2	2,6	9,7	11,9	15,0	20,4	21,8
-13,2+9,5	0,9	9,1	11,4	14,8	19,6	20,9
-9,5+6,7	0,3	9,0	11,1	14,7	19,3	20,6
-6,7+4,75	0,2	8,9	11,0	14,6	19,1	19,9
-4,75	0,0	8,8	11,0	14,5	19,0	19,5

%0,25 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,9	2,3	5,3	8,5	18,0	21,0
-22,4+19	5,1	0,1	2,6	6,0	16,1	19,1
-19+13,2	2,8	-3,3	-3,4	-1,3	11,1	17,0
-13,2+9,5	0,8	-3,1	-7,0	-9,0	-1,3	6,2
-9,5+6,7	0,3	-3,0	-7,0	-9,0	-2,0	1,0
-6,7+4,75	0,2	-2,8	-7,0	-9,0	-2,0	1,0
-4,75	0,0	-3,0	-7,0	-9,0	-1,3	1,0

%0,5 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	5,95	-3,5	-5,7	2,4	5,6	17,8
-22,4+19	4,9	-4,8	-8,9	-8,6	3,8	11,4
-19+13,2	2,6	-4,6	-8,7	-11,6	-10,9	-6,2
-13,2+9,5	1,0	-4,9	-8,7	-12,0	-16,0	-17,5
-9,5+6,7	0,3	-4,8	-8,7	-12,0	-15,5	-17,5
-6,7+4,75	0,1	-5,0	-8,8	-12,0	-16,0	-17,7
-4,75	0,0	-5,2	-8,7	-11,7	-16,0	-18,0

%0,75 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,7	-4,3	-8,5	-11,5	3,3	13,0
-22,4+19	5,2	-4,3	-8,4	-11,7	-2,2	9,9
-19+13,2	2,8	-4,4	-8,3	-11,6	-14,7	-3,4
-13,2+9,5	1,0	-4,4	-8,8	-11,2	-17,0	-21,2
-9,5+6,7	0,4	-4,2	-9,3	-11,5	-16,8	-21,5
-6,7+4,75	0,2	-4,0	-9,5	-12,0	-16,5	-20,2
-4,75	0,1	-4,4	-9,2	-12,5	-16,7	-20,2

%1 Manyetit		Ölçülen Mesafe (cm)				
T.B.Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	45 dev/dk	90 dev/dk	135 dev/dk	185 dev/dk	215 dev/dk
+22,4	6,36	-4,375	-8	-7,5	-3,25	-2,6
-22,4+19	5,2	-4,3	-8,3	-12,2	-13,4	-8,5
-19+13,2	2,7	-4,3	-8,3	-12,3	-15,6	-17,1
-13,2+9,5	0,9	-4,3	-8,1	-12,3	-15,9	-18,8
-9,5+6,7	0,3	-4,1	-8,1	-12,2	-16,0	-19,0
-6,7+4,75	0,2	-3,7	-8,0	-13,0	-16,5	-19,0
-4,75	0,0	-3,8	-7,5	-12,7	-16,5	-19,0

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : HAKAN HASSOY

Doğum Yeri : ÖDEMiŞ

Doğum Yılı : 1975

Medeni Hali : EVLİ

### Eğitim ve Akademik Durumu

Lise : ÖDEMiŞ LİSESİ (1988-1991)

Lisans : HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ MADEN  
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ (1991-1996)

Yüksek Lisans : HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ MADEN  
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ (1996-1999)

Yabancı Dil : İNGİLİZCE

İş Tecrübesi : \* ARAŞTIRMA GÖREVLİSİ - HACETTEPE  
ÜNİVERSİTESİ MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ  
(1997-2006)

\* ÇAYELİ BAKIR İŞLETMELERİ A.Ş. (2006 - )

