



**Research Paper / Makale**

**Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Ayırıcı ile Manganez Cevherinin Zenginleştirilmesi**

Selçuk ÖZGEN<sup>1a\*</sup>, Zeyni ARSOY<sup>2b</sup>, Bahri ERSOY<sup>2c</sup>

<sup>1</sup>Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

ozgens@tki.gov.tr

Received/Geliş: 20.04.2020

Accepted/Kabul: 12.06.2020

**Öz:** Gelişen teknoloji ile birlikte önemi her geçen gün artan yeraltı zenginliklerinin başında Mangan gelir. Mangan cevheri başta demir-çelik endüstrisi olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Önemi her geçen gün artan bu cevherin yüksek tenörlü kaynakları tükenmekte ve daha düşük tenörlü kaynakların kullanımı bir zorunluluk haline gelmektedir. Bu çalışmada, yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı ile yüksek silis içeriğine sahip manganez cevherinin zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Çalışmalar kapsamında Kütahya/Emet manganez ocaklarından alınan manganez cevheri kullanılmıştır. -0,8+0,25 mm tane boyutunda yapılan yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırma deneylerinde cihaza ait dört farklı parametre (besleme hızı, manyetik alan şiddeti, tambur dönüş hızı ve ayırıcı bıçak açısı) optimize edilmiştir. Sonuç olarak, %19,35 MnO içeren manganez cevherinden oldukça yüksek bir verim olan %91,42 verim ile %39,47 MnO içerikli ürün elde edilmiş ve çalışmada kullanılan tane boyutunun ideal bir boyut aralığı olduğu görülmüştür. Manyetik alan şiddeti, bıçak açıklığı ve tambur dönüş hızının artmasıyla, besleme hızının ise azalmasıyla mangan tenörünün arttığı ve ayrıca parametrelerin iç etkileşimlerinin bulunduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Manganez cevheri, Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı, Zenginleştirme

**Enrichment of Manganese Ore by High Field Violent Magnetic Separators**

**Abstract:** With the developing technology, Mangan is one of the underground riches whose importance is increasing day by day. Manganese ore is used in many sectors, especially in the iron and steel industry. The high-grade resources of this ore, whose importance is increasing day by day, are being exhausted and the use of lower-grade resources becomes an imperative. In this study, enrichment of manganese ore with high silica content was investigated by high field violent dry magnetic separator. Kütahya/Emet manganese ore was used in the study. In high field intensity dry magnetic separation experiments with a grain size of -0.8 + 0.25 mm, four different parameters (feed rate, magnetic field intensity, drum rotation speed and separator blade angle) of the device have been optimized. In high field violent dry magnetic separation experiments with -0.8+0.25 mm particle size; four different parameters (feed rate, magnetic field intensity, drum rotation speed and separator blade angle) of the device have been optimized. As a result, a product of 39.47% MnO content was obtained from manganese ore containing 19.35% MnO with recovery of 91.42%. The particle size used in the study was found to be an ideal size. It has been determined that manganese grade increases with increasing magnetic field intensity, blade span and drum rotation speed, and decreasing feed rate.

**Keywords:** Manganese ore, High Field Violent Magnetic Separators, Enrichment

**1. Giriş**

Günümüzün vazgeçilmezleri arasına giren mangan çeliğin mukavemetini, sertleştirme tabakası derinliğini, korozyon dayanımını artırırken, bükülme ve şekil verilmesini kolaylaştırır. Çelik

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Özgen, S., Arsoy, Z., Ersoy, B., "Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Ayırıcı ile Manganez Cevherinin Zenginleştirilmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(3); 1054-1062.

*How to cite this article*

Özgen, S., Arsoy, Z., Ersoy, B., "Enrichment of Manganese Ore by High Field Violent Magnetic Separators" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7(3); 1054-1062.

ORCID: <sup>a</sup> 0000-0002-2078-5349, <sup>b</sup> 0000-0001-5694-6338, <sup>c</sup> 0000-0002-0075-9039

üretiminde %1,5 mangan çeliği üretiminde ise %14'ün üzerinde mangan kullanılır. Ayrıca mangan, bakır, nikel, alüminyum, magnezyum, silisyumla yaptığı yüksek mukavemetli ve korozyona dayanıklı alaşımları, elektrik, makine, kimya sanayilerinde yaygın olarak kullanılır. Mangan yeryüzünde yaygın olarak gözlenmesine rağmen kullanımını belirleyen en önemli faktör cevherin kalitesidir. Manganez cevheri içerdiği manganez miktarına göre; manganezli demir (%5-10 Mn), demirli manganez (%10-35 Mn) ve manganez cevheri (%35'den fazla Mn) olarak sınıflandırılırlar. Kullanım alanlarına göre; metalürjik manganez cevheri (%46-48 Mn), batarya sanayi manganez cevheri (%78-85 MnO<sub>2</sub>), kimya sanayi manganez cevheri (%74-84 MnO<sub>2</sub>) ve diğer amaçlarda kullanılan manganez cevheri olarak sınıflandırılır [1].

Ülkemizde bilinen manganez yatakları hemen hemen her bölgeye dağılmış olan küçük rezervli cevher yataklarıdır. Çeşitli dezavantajları nedeniyle düşük manganez oksit içeren yataklarının %90'ı çalıştırılmamakta olup ancak %10'u özel sektör tarafından sadece zengin Mn içeren kısımları alınarak işletilmektedir. Geri kalan düşük tenörlü kısımlar ise işletilmeden bırakılmaktadır. Birkaç küçük işletmeci ise basit zenginleştirme yöntemleri ile satılabilir seviyeye ulaşmaya çalışmaktadır.

Mangana olan talebin artışı ile manganca zengin kaynaklar (>%40 Mn) pirometalurjik üretim için uygun olsa da manganca fakir olan kaynaklar ve ikincil kaynaklar ise pirometalurjik proseslerdeki yüksek sermaye ve üretim maliyetleri sebebiyle ekonomik olmayıp bu kaynaklar için hidrometalurjik yöntemler pirometalurjik üretim yöntemlerine göre daha uygun olarak görülmektedir [2]. Dünya piyasasında taleplerin minimum %40 Mn tenör içeriğine sahip olduğu düşünüldüğünde ülkemizden çıkarılan sınırlı miktarda yüksek tenörlü mangan cevheri iç piyasa talebini bile karşılayamamaktadır. Bu durumda manganez cevheri ihracatından daha çok ithal edilerek ülkemiz endüstri kuruluşların talepleri karşılanmaya çalışılmaktadır. Bunun yanında günümüzde mangan tenörü yüksek kaynaklarımızın giderek azalması ise ileride daha stratejik öneme sahip olacağı düşünülen manganın ithalatını ve dışa bağımlılığını artıracaktır. Bu yüzden düşük tenörlü mangan yataklarımızın en ekonomik yöntemlerle zenginleştirilmesi gerekmektedir.

Manganez cevheri beraberinde bulunan yan minerallerin türüne ve serbestleşme boyutuna göre farklı zenginleştirme metotları kullanılarak zenginleştirilebilmektedir. Bunlar; flotasyon, kimyasal liç, boyuta veya yoğunluk farkına göre zenginleştirme yöntemleri, elektrostatik ve manyetik ayırıcılardır. Burada en önemli husus zenginleştirme verimi ve ekonomiktir. En yaygın kullanılan yöntemlerden birisi flotasyondur. Ateşok [3] tarafından yapılan bir çalışmada, Trakya-Binkılıç, Erzincan ve Uşak bölgelerinden temin edilen oksitli manganez cevherlerine flotasyon yöntemi uygulanmıştır. Sonuç olarak %78 MnO<sub>2</sub> tenörlü konsantrenin kazanılabileceği, ancak Uşak bölgesi cevherlerinin flotasyon yöntemine uygun olmadığı belirlenmiştir. El Hazeq vd. [4], Mısır/Sinai bölgesinden temin ettikleri düşük tenörlü manganez cevherlerinden (%8,52 Mn) indirgeyici olarak H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanarak hidroklorik asit liçi ile mangan kazanmaya çalışmışlardır. Optimum koşullarda; 0,4 M H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve 2 M HCl kullanılarak 60-95 °C sıcaklıkta 1/12 katı sıvı oranında %97'nin üstünde verim mangan kazanmayı başarmışlardır. Hariprasad vd. [5], manganez kazanmak için sülfürik asit liçinde indirgeyici olarak talaş tozu kullanılarak bir takım deneyler yapmışlardır. Farklı parametrelerde yaptıkları deneylerde en iyi sonucu 8 saat liç süresinde, %5 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> konsantrasyonunda, %10 pulp yoğunluğunda ve %5 talaş tozu kullanılarak %98 verimle elde etmişlerdir.

Malayoğlu [6], Balıkesir bölgesine ait düşük tenörlü mangan cevherinin zenginleştirilmesini farklı boyutlarda jig ve sallantılı masa ile araştırmıştır. Sonuç olarak %47 Mn tenörlü konsantreyi %64 verimle elde etmiştir. Benzer bir çalışmada ise iri boyutta jig ince boyutta sallantılı masa ile denemeler yapılmış ve %25 verimle %15 Mn tenörlü konsantre jig ürünü olarak alınırken, %15 verimle %27 Mn tenörlü konsantre sallantılı masa ürünü olarak alınmıştır [7, 8].

Wu vd [9] tarafından yapılan bir çalışmada düşük tenörlü manganez cevherinden önce kavurma sonra ise yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma yaparak mangan kazanmaya çalışılmıştır. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı kullandıkları çalışmalarında %10,39 tenörlü mangan cevherinden %22,75 tenörlü konsantreyi %89,88 verim ile elde etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise düşük tenörlü mangan cevheri gravite ve manyetik ayırıcı ile zenginleştirmeye çalışılmışlar ve %26 tenörlü cevherden %45 tenörlü konsantreyi %69 verimle üretmişlerdir [10]. Kuşuoğlu [11] yaptığı tez çalışmasında düşük tenörlü mangan cevherinin flotasyon ve manyetik ayırma ile zenginleştirilmesini araştırmıştır. Yaptığı çalışmalar neticesinde manyetik ayırma ile %6,71 Mn içeren cevherden %58,02 verimle %26,85 Mn içerikli konsantre üretmeyi başarmıştır.

Mangan cevherinin içerdiği safsızlıkların türü ve miktarı değiştiğinde uygulanacak yöntemde doğrudan değişiklik göstermektedir. Ancak literatürde bu konuda ciddi anlamda eksikliklerin olduğu ve ülkemizin düşük tenörlü mangan yataklarına yeterli araştırmanın yapılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada ise Kütahya/Emet bölgesinden temin edilen yüksek silis içerikli düşük tenörlü mangan cevherinin yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı ile zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda manganez cevheri farklı parametrelerde ayarlanan kuru manyetik ayırıcı ile zenginleştirmiş ve çalışma parametrelerinin zenginleştirmeye etkisi belirlenmiştir.

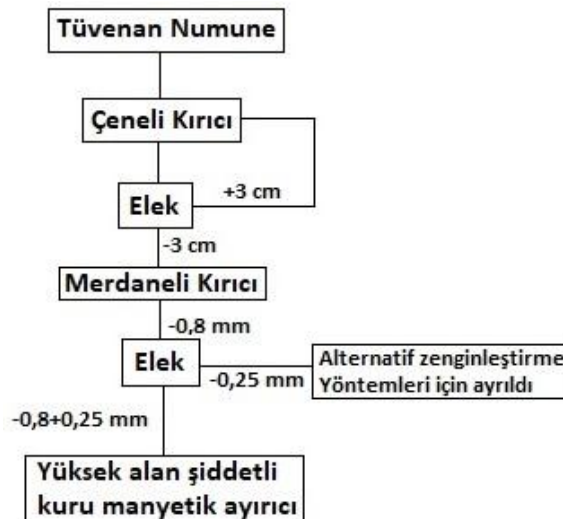
## 2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında Kütahya/Emet bölgesinden temin edilen yüksek silisli mangan cevherleri kullanılmıştır. Tüvenan numunenin mineralojik analizi Shimadzu marka XRD-6000 model X ışınları difraksiyonu cihazıyla  $\text{CuK}\alpha$  radyasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, numuneye ait X-Işını spektrumu Şekil 1'de verilmiştir. XRD grafiğinden de görüldüğü gibi ana mangan minerali olarak ramsdelit minerali ile birlikte az miktarda todorokit minerali eşlik etmektedir.

**Tablo 1.** Manganez Cevherinin Kimyasal Analizi.

Oksit	$\text{SiO}_2$	$\text{MnO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{BaO}$	$\text{ZnO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$	K.K.
<b>Miktar (%)</b>	53,86	19,35	17,38	1,61	1,03	0,32	0,23	0,11	0,021	5,32

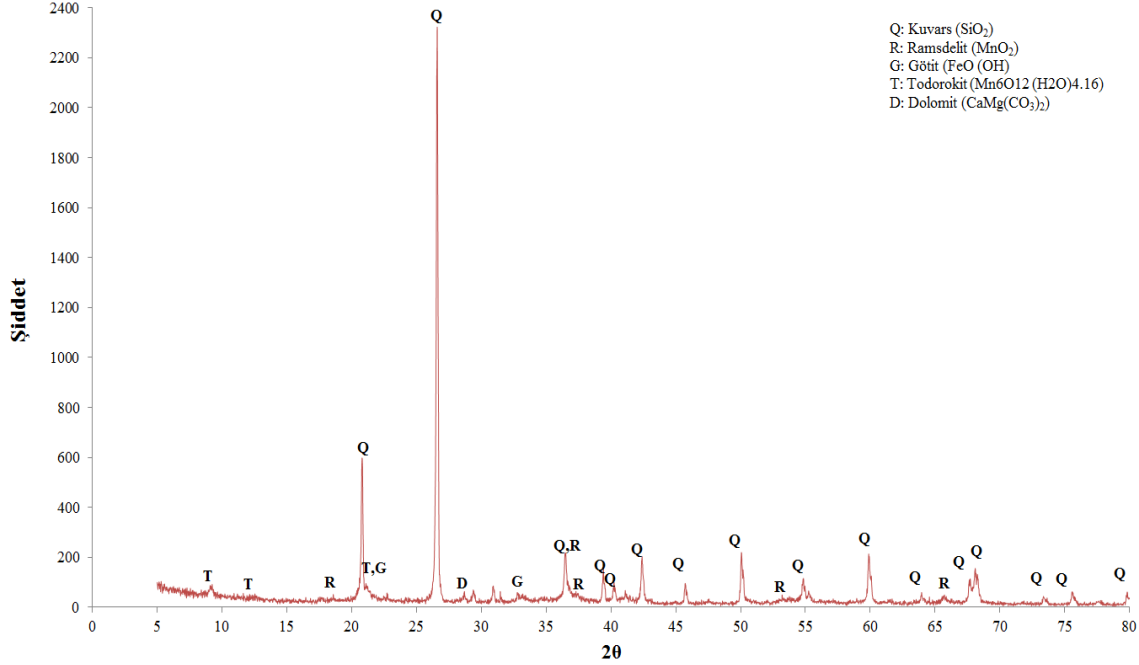
Temin edilen numunelerin XRF analizi ise Rigaku marka ZSX primus II model cihazda yapılmıştır. 100 mikron altına getirilen numuneler tablet haline getirilerek XRF cihazında elementer analizleri yapılmış ve Çizelge 1'de verilmiştir. Bu sonuçlardan numunelerin %19,35 MnO içerdiği ve %53,86 oranında  $\text{SiO}_2$  içerdiği görülmüştür.



**Şekil 1.** Numune hazırlama akım şeması.

## 2.1 Mangan Hazırlama

Kütahya/Emet'ten alınan tüvenan manganez cevheri önce çeneli kırıcı ve sonrasında merdaneli kırıcı yardımıyla kırılmış ve sonrasında  $-0,8+0,25$  mm tane boyutu sınıflandırılarak zenginleştirme işlemleri için ayrılmıştır. Deneylerde kullanılacak numunelerin hazırlanma akım şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Manganez cevherinin XRD analizi.

## 2.2 Mangan Zenginleştirme

İki farklı boyutta hazırlanan mangan cevherinin zenginleştirme deneyleri OUTOTEC MLH(13)115-5 marka yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı ile yapılmıştır (Şekil 3). Çalışma kapsamında cihaza ait manyetik alan şiddeti (**MA**), ayırıcı bıçak açısı (**BA**), tambur dönüş hızı (**TH**) ve besleme hızı (**BH**) değişken parametre olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan değişkenlere ait maksimum ve minimum değerler Çizelge 2'de verilmiştir. Elde edilen mangan konsantre ürünler kurutularak tartılmış ve mangan analizleri yapılarak deneye ait zenginleştirme verimleri hesaplanmıştır.



Şekil 3. Yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı.

**Tablo 2.** Deney parametreleri.

Bağımsız Değişken	Sembol	Alt Sınır	Üst Sınır
Manyetik Alan Şiddeti (Gauss)	MA	8.000	12.000
Ayırıcı Bıçak Açısı (Derece)	BA	22	27
Tambur Dönüş Hızı (rpm)	TH	25	75
Besleme Hızı (g/dk)	BH	250	750

### 2.3 Deney Tasarımı

Son yıllarda hemen hemen her bilim dalında kullanılan istatistiksel yöntemlerin ve deney tasarımının amacı, minimum zaman, kaynak ve harcama ile maksimum anlamlı verileri elde etmektir. Geleneksel deney tasarım yöntemlerinde yüksek malzeme maliyeti, uzun zaman alması ve en önemlisi fazla sayıda analiz ile yüksek maliyetler oluşturmaktadır. Geleneksel yöntemlerde her bir parametrenin deney üzerindeki etkisini araştırmak için diğer bütün parametreler sabit tutulmakta ve her seferinde farklı bir parametre denenmektedir. Bu şekilde hem deney sayısı artmakta hem de parametreler arası iç etkileşim gözardı edilmektedir. Bu yüzden geleneksel yöntemlerle yapılacak çalışmalarda parametreler ve seviyeleri sınırlı sayıda tutulmakta ve sonuca ulaşmak zorlaşmaktadır. Deney tasarımı, farklı alanlarda kullanılabilirdiği gibi madencilik alanındaki çalışmalarda da rastlamak mümkündür [12]. Bu çalışma kapsamında da istatistiksel deney tasarım yöntemlerinden faydalanılarak yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı kullanılarak manganez cevheri zenginleştirilmiştir. Zenginleştirme deneylerinde merkezi kompozit tasarımı olan Box-Behnken deney tasarımı yöntemi kullanılmıştır. Bu sayede manganez zenginleştirmeyi tanımlayan modeller üretilmiştir, Deney tasarımı ve bu işlemleri tanımlayan bütün işlemler Minitab® 16 bilgisayar programı ile yapılmıştır. Bu program kullanılarak hazırlanan 27 deney (3 merkez nokta) seti Çizelge 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Zenginleştirme deney seti

Deney No	Bağımsız Değişken				Deney No	Bağımsız Değişken			
	MA	BA	TH	BH		MA	BA	TH	BH
1	10,000	27	25	500	15	8,000	25	25	500
2	8,000	25	50	750	16	8,000	27	50	500
3	8,000	25	75	500	17	8,000	23	50	500
4	12,000	27	50	500	18	10,000	25	75	750
5	10,000	25	50	500	19	12,000	25	25	500
6	12,000	23	50	500	20	8,000	25	50	250
7	10,000	25	75	250	21	10,000	27	75	500
8	10,000	23	25	500	22	12,000	25	75	500
9	12,000	25	50	750	23	10,000	23	50	250
10	10,000	25	50	500	24	10,000	27	50	750
11	10,000	23	75	500	25	10,000	25	25	750
12	10,000	25	50	500	26	10,000	27	50	250
13	10,000	25	25	250	27	10,000	23	50	750
14	12,000	25	50	250					

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı ile yapılan manganez deneylerine ait deney sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir. Yapılan 27 adet deney serisinde %35,57-39,80 MnO tenör ve %27,68-91,42 verim aralığında değişen sonuçlar elde edilmiştir. 27 deney içerisinde en dikkat çeken sonuç ise deney no 21'de elde edilmiştir. Burada %39,47 MnO tenörlü konsantrasyon %91,42 verimle elde edilmiştir. Bu

deneyde manyetik alan şiddeti 10.000 Gauss, ayırıcı bıçak açıklığı 27°, tambur dönüş hızı 75 rpm ve besleme hızı 500 g/dk olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılarak MnO tenörü ve verimi için hesaplanan 2. dereceden regrasyon modelleri Denklem 1 ve 2’de verilmiştir.

$$\%MnO = 86,9945 - 4,88 \times 10^{-3} \times MA - 1,987 \times BA + 0,12 \times TH - 1,147 \times 10^{-2} \times BH - 3,33 \times 10^{-9} \times MA^2 - 9,3 \times 10^{-3} \times BA^2 + 2,79 \times 10^{-4} \times TH^2 + 4,46 \times 10^{-7} \times BH^2 + 2,1 \times 10^{-4} \times MA \times BA + 5,3 \times 10^{-6} \times MA \times TH - 7,40 \times 10^{-7} \times MA \times BH - 4,85 \times 10^{-3} \times BA \times TH + 9,1 \times 10^{-4} \times BA \times BH - 1,11 \times 10^{-4} \times TH \times BH \quad (1)$$

$$\%Verim = 357,479 - 0,12 \times MA + 13,37 \times BA + 5,24 \times TH + 2,54 \times 10^{-2} \times BH + 1,25 \times 10^{-6} \times MA^2 - 9,8 \times 10^{-1} \times BA^2 + 1,88 \times 10^{-3} \times TH^2 - 1,09 \times 10^{-5} \times BH^2 + 3,9 \times 10^{-3} \times MA \times BA + 4,54 \times 10^{-5} \times MA \times TH - 3,3 \times 10^{-6} \times MA \times BH - 1,74 \times 10^{-1} \times BA \times TH + 5,8 \times 10^{-3} \times BA \times BH - 2,67 \times 10^{-3} \times TH \times BH \quad (2)$$

### 3.1. Deney parametrelerinin mangan tenörüne etkisi

Sonuçların daha iyi anlaşılması ve mangan tenörüne yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı değişken parametrelerin etkisini görmek için elde edilen sonuçlar ve regrasyon modelleri kullanılarak üç boyutlu (3B) grafikler çizilmiştir (Şekil 2). Şekillerde yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcının ikişerli değişkenlerinin mangan tenörüne etkisi karşılaştırılmıştır. Çizimler için diğer iki değişkenin orta seviyesi kullanılmıştır.

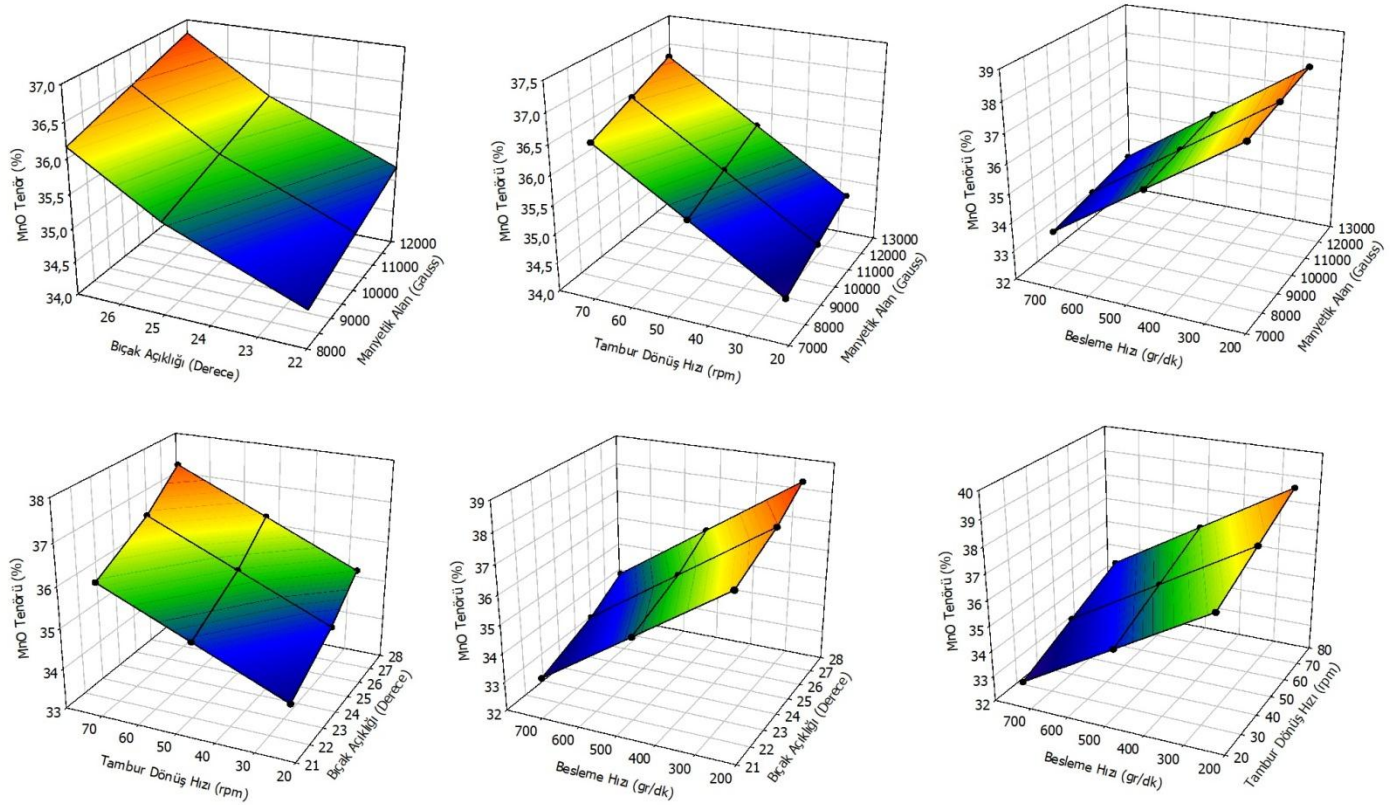
Şekil 2a’da bıçak açıklığı ve manyetik alan şiddetinin mangan tenörüne etkisi görülmektedir. Mangan tenörünün maksimum değeri, bıçak açıklığı ve manyetik alan şiddetinin maksimum olduğu noktada elde edilmiştir. Her iki değişkenin artışıyla mangan tenörü artmaktadır. Çünkü ayırıcı bıçak açısı arttıkça mangan dışındaki mineraller ve mangana bağlı olan serbestleşmemiş minerallerde atık tarafına düşmeye başlamaktadır. Aynı durum daha yüksek manyetik alan şiddeti uygulandığında da görülmektedir. Bu iki değişkene göre daha kaliteli mangan üretmek için bıçak açıklığını ve manyetik alan şiddetini yüksek tutmak gerekmektedir. 3B yüzey grafiğinin gösterdiği bir başka sonuç ise iki değişkenin iç etkileşiminin olduğudur. Eğimli bir yüzeyin gözlenmesi bu iki parametrenin birbirlerini etkileyebildiğidir. Aynı manyetik alan şiddetinde bıçak açıklığı artınca mangan tenörünün arttığı da gözlenmiştir. Yani bu durumu şöyle anlatmak daha doğru olacaktır; iki parametrenin bileşke kuvveti daha büyük olmaktadır. Bu yüzden sonuçların birlikte değerlendirilmesi daha doğru olacaktır. Daha yüksek tenörlü mangan elde etmek için manyetik alan şiddeti ve bıçak açıklığı birlikte artırılmalıdır.

**Tablo 4.** Zenginleştirme deney sonuçları.

Deney No	%MnO	%Verim	Deney No	%MnO	%Verim
1	37,49	58,93	15	36,37	36,65
2	36,24	49,21	16	38,16	68,52
3	38,35	69,15	17	36,57	37,28
4	38,80	81,83	18	37,55	72,11
5	37,68	59,55	19	37,01	49,96
6	37,21	50,58	20	38,49	56,59
7	39,80	79,49	21	39,47	91,42
8	35,90	27,68	22	38,99	82,45
9	36,88	62,52	23	38,01	47,62
10	37,68	59,55	24	37,36	71,49
11	37,87	60,18	25	35,57	39,62
12	37,68	59,55	26	39,61	78,86
13	37,82	46,99	27	35,76	40,24
14	39,13	69,89			



Şekil 2b'de ise tambur dönüş hızı ve manyetik alan şiddetinin mangan tenörüne etkisi görülmektedir. Bir önceki şekilde olduğu gibi iki parametrenin de maksimum olduğu noktada en yüksek mangan tenörü üretilmektedir. Benzer iç etkileşim burada da görülmektedir. İki parametrenin birlikte artması daha yüksek mangan tenörü elde edilmesini sağlamaktadır. Bunun ana nedeni düşük oranda serbestleşme sağlamış taneler tambura zayıf olarak tutunmaktadır. Yavaş devirlerde konsantre haznesine düşebilirken daha yüksek tambur dönüş hızlarında merkezkaç kuvvetinin etkisiyle atık haznesine fırlatılmaktadır. Bu sayede yüksek tambur hızlarında yüksek tenörler elde edilirken orantılı olarak zenginleştirme verimi de düşmektedir. Bu yüzden daha yüksek tenörlü mangan üretmek için manyetik alan şiddeti ile birlikte tambur dönüş hızını da artırmak faydalı olacaktır. Şekil 2c'de besleme hızı ve manyetik alan şiddetinin mangan tenörü üzerine etkisi görülmektedir. Önceki iki şekilde manyetik alan şiddetinin maksimum olduğu noktada en yüksek mangan tenörünün elde edildiği görülmüştü. Burada ise manyetik alan şiddetinin maksimum değerine ilaveden besleme hızının minimum olması gerekmektedir. Daha yavaş bir besleme ile daha temiz bir konsantre elde edilmektedir. Bunun ana sebebi, tanelerin üst üste yığılma oluşturmadan manyetik alana maruz kalması ve daha hassas bir ayırmanın gerçekleştirilmesidir. Ayrıca 3B yüzey grafiğinden iç etkileşimin önceki iki grafiğe göre çok düşük olduğu görülmektedir. Örneğin 250 g/dk besleme hızında neredeyse 3 farklı manyetik alan şiddetinden de aynı mangan tenörü elde edilmektedir. Burada baskın olan parametre besleme hızıdır.



Şekil 2. Deney parametrelerinin mangan tenörüne etkisi.

Şekil 2d'de ise tambur dönüş hızı ve bıçak açıklığının mangan tenörü üzerine etkisi görülmektedir. Şekil 2a'da bıçak açıklığının maksimum değerinin, Şekil 2b'de ise tambur dönüş hızının maksimum değerinin kullanıldığı deneylerde maksimum mangan konsantrasyonunun elde edildiği görülmüştü. Bu iki değişkenin birlikte değerlendirildiği durumda ise durum değişmemiş ve en temiz konsantre tambur dönüş hızı ve bıçak açıklığının maksimum değerinde elde edilmiştir. Zenginleştirme verimi ise tenörle ters orantılı olduğu için tambur dönüş hızı ve bıçak açıklığını artırdığımızda düşmektedir. Yine 3B yüzey grafiğinin çapraz açılı bir şekilde yükselmesi iç etkileşimlerinin oldukları görülmektedir. Şekli 2e'de besleme hızı ve bıçak açıklığının mangan tenörüne etkisi

görülmektedir. Benzer durum burada da görülmüş olup, iki değişken parametrenin iç etkileşime sahip oldukları gözlenmiştir. En yüksek konsantrasyon tenörüne minimum besleme hızında ve maksimum bıçak açıklığında ulaşılmıştır. Şekil 2f'de ise besleme hızı ve tambur dönüş hızının mangan tenörüne birlikte etkisi görülmektedir. Daha önceki grafiklerden besleme hızının minimum, tambur dönüş hızının ise maksimum olduğu noktalarda en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Burada da iki değişken parametre birlikte değerlendirildiğinde de benzer sonuç elde edilmiş ve iç etkileşime sahip oldukları görülmüştür.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Kütahya/Emet bölgesi düşük tenörlü yüksek silisli manganez cevherinin zenginleştirilmesi yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı ile zenginleştirilmiştir. Çalışmada istatistiksel deney tasarımı yöntemlerinden yararlanarak optimum deney şartları belirlenmiş ve mangan tenörü ve veriminin ikinci dereceden regresyon analizleri çıkarılmıştır. Deney parametrelerinin ve iç etkileşimlerinin belirlenmesi için 3D grafikler çizilerek mangan tenörüne etkileri belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda optimum şartlarda %39,47 MnO tenörlü konsantrasyon %91,42 verimle elde edilmiştir. Bu değerler ile düşük tenörlü ve yüksek silisli manganez cevherinin düşük işletme giderleri ile satılabilir tenörlere ulaşılabileceği görülmüştür.

Her bir deney parametresi ayrı ayrı değerlendirildiğinde manyetik alan şiddeti, bıçak açıklığı ve tambur dönüş hızının artmasıyla, besleme hızının ise azalmasıyla mangan tenörünün arttığı belirlenmiştir. 3B grafiklerin en önemli özelliği de iç etkileşimleri görebilmektir. Burada da parametreler arası iç etkileşimler gözlenmiş ve parametrelerin birbirlerini pozitif yönde etkilediği, sadece besleme hızı ve manyetik alan şiddeti birlikte değerlendirildiğinde iç etkileşimlerinin olmadığı görülmüştür.

#### Kaynaklar

- [1]. DPT, 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı: Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Metal Madenler Alt Komisyonu, Ankara.
- [2]. Kılıçaslan, E., "Elektrolitik Mangan Üretiminde Kullanılan Mangan Sülfat Çözeltisinin Yüksek Karbonlu Ferromanganın Liçi Yoluyla Eldesi Ve Proses Optimizasyonu", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013, 93 p.
- [3]. Ateşok, G., "Limonitli Manganez Cevherlerinin Değerlendirilmesi", Tübitak VI. Bilim Kongresi, 1977, İzmir.
- [4]. El Hazek, M.N., Lasheen, T.A., and Helal, A.S., "Reductive Leaching of Manganese from Low Grade Sinai Ore in HCl Using H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> as Reductant", Hydrometallurgy, 2006, 84:187-191.
- [5]. Hariprasad, D., Dash, B., Ghosh, M.K., and Anands, S., "Leaching of Manganese Ores Using Sawdust as a Reductant", Minerals Engineering, 2007, 20:1293-1295.
- [6]. Malayoğlu, U., "Study on the Gravity Processing of Manganese Ores", Asian Journal of Chemistry, 2010, 22(4):3292-3298.
- [7]. Singh, V., Ghosh, T.K., Ramamurthy, Y., and Tathavadkar, V., "Beneficiation and Agglomeration Process to Utilize Low-Grade Ferruginous Manganese Ore Fines", International Journal of Mineral Processing, 2011, 99:125-132.
- [8]. Gül, T., Cöcen, E.İ., Tufan, E., ve Kılınç Aksay, E., "Erzurum Karayazı Manganez Cevherinin Fiziksel Ayırma Yöntemleri ile Zenginleştirilmesi", Türkiye 26. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, 2019, Antalya.
- [9]. Wu, Y., Shi, B., Ge, W., Yan, C.J., and Yang, X., "Magnetic Separation and Magnetic Properties of Low-Grade Manganese Carbonate Ore", The Minerals, Metals & Materials Society, 2015, 67, 2.



- [10]. Mishra, P.P., Mohapatra, B.K. ve Mahanta, K., “Upgradation of Low-Grade Siliceous Manganese Ore from Bonai-Keonjhar Belt, Orissa, India”. *Journal of Mineral & Materials Characterization & Engineering*, 2009, 8(1): 47-56.
- [11]. Kuęuoęlu, O., “Düşük Tenörlü Mangan Cevherinin Flotasyon ve Manyetik Ayırmayla Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi”, Cumhuriyet Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2015, 108 p.
- [12]. Özgen, S., Sezgin, Ö, “Studies on Hydrocyclone to Produce Clean Coal from Turkish Lignite Tailings (Tunçbilek/Kütahya and Soma/Manisa)”, *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 2014, 1(1): 12-18.