



ATIK MANYEZİT CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ: KARAKTERİZASYON, ÖZELLİKLER VE MANYETİK AYIRICI UYGULAMASI

Necmettin ERDOĞAN

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, AKSARAY
nerdogan@aksaray.edu.tr

(Geliş/Received: 10.07.2015; Kabul/Accepted in Revised Form: 30.07.2015)

ÖZET: Bu çalışmada, açık ocak manyezit işletmesinde stoklanmış, atık manyezit cevherinin zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için, kuru tip manyetik ayırma yöntemi ve permroll tipi sabit mıknatıslı manyetik ayırma cihazı kullanılmıştır. Bu çalışma için gerekli numuneler, manyezit üreticisi bir kuruluştan temin edilmiştir. Cevherlerinin karakterizasyon tayini ve özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; XRD, Optik ve kimyasal analizler yapılmıştır. Zenginleştirme çalışmaları sonucuna göre; ortalama %12,60 SiO₂ içeriğe sahip atık manyezit cevheri, ortalama %1,54 SiO₂ kalitesinde zenginleştirilebileceği ve ekonomiye geri kazandırılabilirliği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Manyezit, Atık cevher, Zenginleştirme, Manyetik ayırıcı, Manyetik ayırma

Enrichment of Waste Magnesite Ore: Characterization, Properties and Magnetic Separator Application

ABSTRACT: In this study, enrichment of waste magnesite ore, stocked in open pit magnesite mine was aimed. Therefore, dry type magnetic separation method and permroll type permanent magnet magnetic separation device was used. Required samples for this study have been obtained from a company of magnesite producer. XRD, Optical and chemical analyses were carried out in order to determination of properties and ore characterization. According to results of beneficiation studies; it is understood that waste magnesite ore which has average 12.60% SiO₂ content can be enriched quality of average 1.54% SiO₂ content by dry type magnetic separator devices, and it can be recycled into the economy.

Key Words: Magnesite, Waste ore, Beneficiation, Magnetic separator, Magnetic separation

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Manyezit, bir magnezyum karbonat mineralidir ve yer kabuğunda % 1,39 oranla en çok bulunan sekizinci elementtir (Akkoyun ve Ünver, 2001). Deniz suyunda ortalama % 0,13 bir konsantrasyon ile çözülmüş en bol bulunan üçüncü elementtir (Demirbaş, 2006). Manyezit, saf iken renksiz, diğer hallerde beyaz, sarı, gri ve siyaha kadar değişen renklerde bulunan bir mineraldir (Akkoyun ve Ünver, 2001).

Türkiye’de manyezit oluşumları sedimanter kayalara ve altere ultramafiklere bağlı olarak bulunmaktadır. Ülkemizde serpantinleşmiş ultramafik kayaların kırık ve çatlaklarında damar ve stokverk şeklinde oluşmuş manyezit yatakları daha yaygındır ve manyezit oluşum sınıflamasına göre Kraubath tipi manyezit yataklarına benzerlik göstermektedir. Manyezit yataklarının kökeninin belirlenmesinde manyezit oluşumunun yan kayacı, mineral içeriği, jeokimyasal özellikleri önemlidir. Manyezitin kalitesinin belirlenmesinde SiO₂, Fe₂O₃, CaO, Al₂O₃ içeriği önemlidir ve bu değerlere göre ekonomikliğinin değerlendirilmesi yapılmaktadır (Yılmaz ve Kuşçu, 2012).

Manyezit ($MgCO_3$), magnezyum oksit, magnezyum alaşımları (Ayvazoğluyüksel, 2011) ve bazik refrakter malzemesi için en önemli hammadde kaynağı olup (Amer ve Staden, 2010) (Yıldırım ve Akarsu, 2010). kimya ve seramik endüstrisinde, metalürjik fırınlarda bazik cürüflara karşı yüksek bir dirence sahiptir (Aslani ve diğ., 2010). Sinter magnezya neredeyse sadece şekilli ve şekilsiz refrakter uygulamalarında (Chowdhury, Rasul, ve Khan, 2002), yüksek dirençli sıcak yüzey refrakterleri olarak pek çok yıldan beri kullanılmaktadırlar. Sinter manyezit yada magnezya (MgO), çoğunlukla manyezitin kalsinasyonu vasıtasıyla üretilir. Bunun için, manyezit cevheri, 1400-1800°C sıcaklığa kadar ısıtılır, karbonatlar CO_2 olarak ortamdan uzaklaşır ve magnezya (MgO) üretilmiş olur (Aslani ve diğ., 2010). Termal analiz, manyezit cevherinin iki endotermik reaksiyona sahip olduğunu, bunlardan birincisinin 550°C de manyezit cevherinin, ikincisinde ise 850°C de dolomit cevherinin bozunmaya başladığını göstermektedir (Abdel-Aal ve diğ., 1996).

Günümüzde üretilen manyezit cevherinin % 90'dan fazlası sinter ve kostik kalsine manyezite dönüştürülür. Çelik yapımında kullanılan bazik refrakterlerin hammaddesi sinter manyezit (MgO), çoğunlukla yüksek kaliteli manyezit cevherlerinden elde edilir. Bu amaçla kullanılacak sinter manyezitte, yüksek MgO içeriği (>%95 MgO), 2:1 CaO/SiO_2 oranı 2 ve düşük demir içeriği (<%1 Fe_2O_3); kostik kalsine manyezitte ise % 80-90 MgO , %2,5 CaO , maksimum %3,5 SiO_2 ve %5 ateş kaybı gibi özellikler aranmaktadır (Uğur, 2010). Refrakter malzeme yapımında kullanılacak sinter manyezitin kalitesini belirleyen içeriklerin nasıl olduğu konusunda, sektörün lider kuruluşlarından Kümaş firmasının sinter manyezit kalite skalası Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kümaş sinter manyezit kalite skalası (Table 2. Sinter magnesite quality scale of Kümaş Co.) (Kümaş, 2015)

	Super Extra (%)	Extra (%)	Special (%)	Kalite 1 (%)	Kalite 2 (%)	Kalite 3 (%)	Kalite 4 (%)
SiO_2	0,00-0,80	0,81-1,00	1,01-1,20	1,21-1,80	1,81-2,50	2,51-3,50	3,51-4,50
CaO	0,00-1,80	0,00-1,80	1,81-2,00	2,01-2,20	2,21-2,30	2,31-2,50	2,51-2,80
Fe_2O_3	0,00-0,50	0,51-0,60	0,61-0,70	0,71-0,90	0,91-1,00	1,01-1,30	1,31-1,50
Al_2O_3	0,00-0,10	0,00-0,10	0,00-0,10	0,00-0,10	0,11-0,20	0,11-0,20	0,11-0,20

Manyezit cevheri, ana bileşik MgO ve çok düşük içerikte de CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 ve Al_2O_3 bileşiklerine sahiptir. Cevherin XRD analizinde, ana mineral olarak manyezit ($MgCO_3$), minör mineraller olarak da dolomit ve aragonitin olduğunu gösterir (Abdel-Aal ve diğ., 1994). Manyezit mineralinin optik ve mineralojik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Manyezit cevherinin zenginleştirilmesi, fiziksel ve kimyasal metotlar kullanılarak gerçekleştirilir (Amer ve Staden, 2010). Manyezit cevherinin zenginleştirilmesi için endüstride kullanılan en yaygın yöntemler; elle ayıklama, boyut küçültme, manyetik, elektrostatik, ağır ortam, optik ayırma, flotasyon ve kalsinasyon iken, seçimli hidrasyon, çözündürme-yeniden çöktürme, aglomerasyon, seçimli koagülasyon ve flokülasyon yöntemleri laboratuvar aşamasında denenmektedir. Ülkemizdeki çeşitli bölgelerdeki manyezit cevherlerinin zenginleştirilmesi için manyetik ayırma, manyetik ayırma+liç ve kalsinasyon, kalsinasyon, elle ayıklama, gravite, manyetik ayırma ve flotasyon, manyezit yüzey özellikleri ve flokülasyonu, kolon flotasyonu, amin flotasyonu, flotasyon ve manyetik ayırma çalışmaları yapılmıştır (Bentli ve diğ., 2004).

Tanelerin manyetik duyarlılık farklılıklara göre minerallerin birbirinden ayrılması işlemine manyetik ayırma denir (Dobbins, Dunn, ve Sherrell, 2009) (Drzymala, 2007). Bu konuda ıslak veya kuru çeşitli konfigürasyonda cihazlar yapılarak kullanılmaktadır. Endüstriyel manyetik ayırıcılar; Yaş yüksek yoğunluklu elektromanyetik ayırıcılar (WHIMS), yaş düşük yoğunluklu tambur (drum) tipi ayırıcılar (LIMS), kuru yüksek yoğunluklu silindir (roll) tipi manyetik (IRM) ayırıcılar, kuru düşük yoğunluklu tambur tipi manyetik ayırıcılar ya da "soyucu" mıknatıslar, kuru yüksek yoğunluklu nadir toprak element alaşımlı tambur tipi (RED) ayırıcılar ve kuru yüksek yoğunluklu nadir toprak element alaşımlı silindir tipi (RER) manyetik ayırıcılar, şeklinde sınıflandırılabilir (Dobbins, Domenico ve Dunn, 2007).

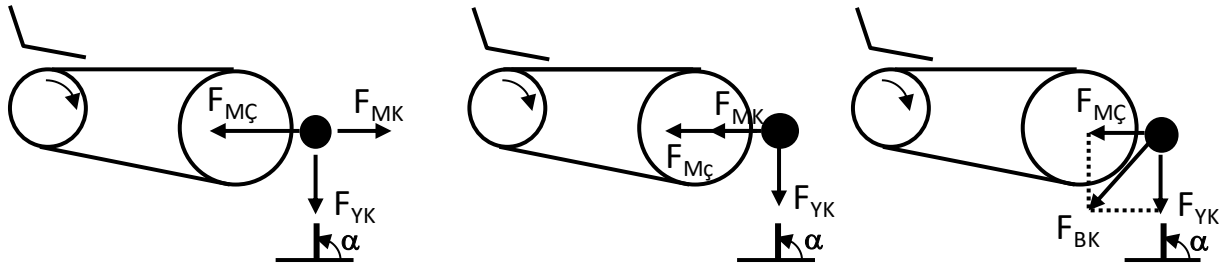
Manyetik ayırma ekipmanları uzun zamandan beri, mineral ve çeşitli malzemeleri geri kazanmak için geniş bir şekilde kullanılmıştır. (Dobbins ve diğ., 2009). Son 20 yılda, yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar, özellikle zayıf manyetik özelliğe sahip demir cevherlerinin zenginleştirilmesinde ve endüstriyel hammaddelerde bulunan manyetik safsızlıkların atılmasında yaygın olarak kullanılmıştır. Kullanımındaki bu artış daha ekonomik ve daha pratik manyetik ayırıcıların geliştirilmesine neden olmuştur, özellikle nadir toprak elementlerden yapılmış yüksek alan şiddetli sürekli mıknatısların yapımından sonra hızlı bir gelişme görülmüştür. Yüksek alan şiddetli sürekli mıknatıslı manyetik ayırıcılar elektromanyetik ayırıcılara göre, ekonomik ve teknik özelliklerinin daha üstün olmasından dolayı kullanım alanı hızla genişlemiş ve ilk olarak refrakter hammaddelerin demirli minerallerden arıtılmasında kullanılmıştır (Ekmekci, 1990).

Tablo 2. Manyezit mineralinin optik ve mineralojik özellikleri (Table 1. optical and mineralogical properties of the mineral magnesite) (MTA, 2015) (Erdoğan ve Yıldız, 1995)

Parametreler	Özellikler
Kimyasal bileşimi	MgCO ₃
Kristal sistemi	Hekzagonal
Kristal biçimi	Kristalleri yaygın değildir; genellikle rombohedral; nadiren prizmatik; levhamsı, masif, kompakt, orta-ince taneli, tebeşirimsi, bazen lamelli yada lifsi
Sertlik	3,5-4,5 mohs
Özgül ağırlık	2,7-3,1
Dilininim	{1011} Mükemmel
Renk ve Şeffaflık	Renksiz, beyaz, gri, sarımsı-kahverengi, şeffaf, yarı şeffaf
Çizgi Rengi	Beyaz
Parlaklık	Camsı, donuk, mat
Optik işareti	(-) Negatif
Optik engebe	Mikroskop tablasının çevrilmesi esnasında, kalsit ve dolomitte olduğu gibi, optik engebede bir değişim varlığı gözlenir
Sönme	Dilininim izlerine göre simetrik sönme gösterir
Çift kırma	Çok kuvvetlidir. Girişim renkleri, yüksek dizilere ait beyaz-ince grisi renkleridir
İkizlenme	Görülmez
Ayırıcı özellikleri	Kalsitte olduğu gibi, soğuk seyreltik HCl' den etkilenir ve köpürerek çözünür
Bulunuşu	Manyezit, kalsite göre daha az bulunur ve genellikle sedimanter kayalarda oluşur. Magnezyumca zengin metamorfik ve magmatik kayaların karbonik asit içeren sularla altere edilmesi sonucu meydana gelir. Serpantinleşmiş kaya kütlelerinde sıkça rastlanır. Talkşist gibi magnezyumca zengin metamorfik kayalardaki damarlarda da oluşur

Manyetik ayırma cihazlar ilk başlarda, sadece manyetit gibi ferromanyetik minerallerin zenginleştirilmesi için kullanılmakta iken, bugün tüm paramanyetik minerallerin zenginleştirilmesi için kullanılabilir. Son yıllarda geliştirilen süper iletkenler ile manyetik ayırma yöntemi de gelişmiş ve en yüksek manyetik alan şiddeti 2,4 Tesla seviyelerinden 5 Tesla seviyelerine kadar çıkmıştır. Bu durum, çok düşük manyetik duyarlılığı olan pirit gibi minerallerin bile zenginleştirilebilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca, ayırma boyutları da birkaç mikron seviyelerine kadar düşmüş ve koloidal yapıdaki çamurlardan demirli minerallerin ayrılmasına olanak sağlamıştır. Eddy-akımlı ayırıcılar sayesinde, alüminyum gibi demir içermeyen maddeler ayrılabilir ve yeni geliştirilen manyetik sıvılarla platin grubu metallerin etkili bir şekilde zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır (Hacıfazlıoğlu, 2011).

Manyetik ayırma yönteminin çalışma prensibi, Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de verilen semboller; FMÇ: Manyetik çekim kuvveti, FMK: Merkezkaç kuvveti, FYK: Yerçekimi kuvveti, FBK: Bileşke kuvveti, α: Ayırma bıçak açısını göstermektedir. Manyetik bir tanenin, manyetik ayırma cihazı tarafından tutulabilmesi için, "FMÇ > FMK > FYK" eşitliğinin (Kaya, 1993) sağlanması gerekmektedir.



Şekil 1. Manyetik ayırma yöntemi çalışma prensibi (Figure 1. The working principle of magnetic separation method)

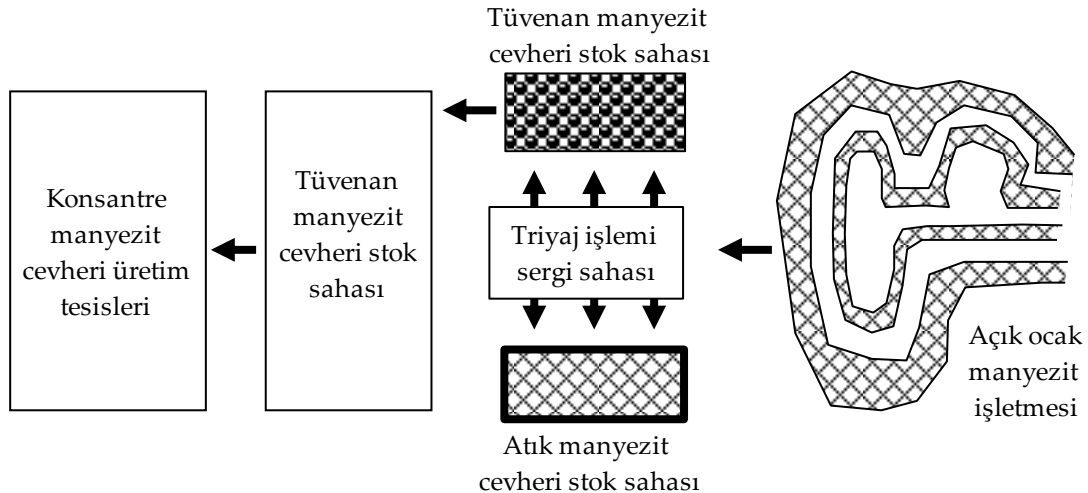
Refrakter malzeme üretiminde kullanılmayacak kalitedeki manyezit cevherleri, magnezyum bileşikleri üretimi için ideal bir hammadde kaynağıdır. Magnezyum bileşikleri, manyezit cevherinin HCl veya H₂SO₄ asitleri ile asit liçi (Erdogan, 2013) (Özdemir, Çakır, ve Kipçak, 2009) (LaVerne ve Tandon, 2005) metoduyla üretilmektedir. MgCl₂, MgSO₄ ve Mg(OH)₂ magnezyum bileşiklerinden bazılarıdır.

Bu deneysel çalışmada, atık manyezit cevherinin, manyetik ayırıcı cihazı ile zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için, stok sahasının üç farklı noktasından alınmış temsili numuneler, yıkanmış, kırılmış, kurutulmuş, sınıflandırılmış ve Permroll tipi sabit mıknatıslı manyetik ayırıcı cihazına beslenmiştir. Zenginleştirme çalışmaları sonunda, ortalama %12,60 SiO₂ içeriği ile refrakter kalite olarak hiçbir işe yaramayan atık manyezit cevheri, -20+1 mm ürün grubunda ortalama %1,54 SiO₂ içeriği ile Kumaş konsantre manyezit cevheri kalite skalasına göre üçüncü kalitede cevher olarak zenginleştirilmiş ve ekonomiye geri kazandırılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Malzeme (Material)

Bu çalışmada, atık manyezit cevheri kullanılmış olup gerekli numuneler, manyezit üreticisi bir firmadan temin edilmiştir. Atık manyezit cevherinin, konsantre manyezit cevher üretiminin hangi aşamasında ortaya çıktığının gösterilmesi adına, konsantre manyezit cevher üretimi akım şeması Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'e göre; açık ocak manyezit işletmesinde, delme patlatma yöntemiyle üretilen manyezit cevheri, triyaj işlemi sergi sahasına getirilir. İş makineleri yardımıyla serilen malzeme, işçiler vasıtasıyla el ile ayıklanır. El ile ayıklama işlemi sırasında, manyezit cevherleri, tüvenan manyezit cevher stok sahasına, diğerleri ise atık manyezit cevheri stok sahasında stoklanır. Bu çalışmada; atık manyezit cevheri stok sahasının üç farklı noktasından temsili numuneler alınmış ve No:1, No:2 ve No:3 olarak isimlendirilmiştir.



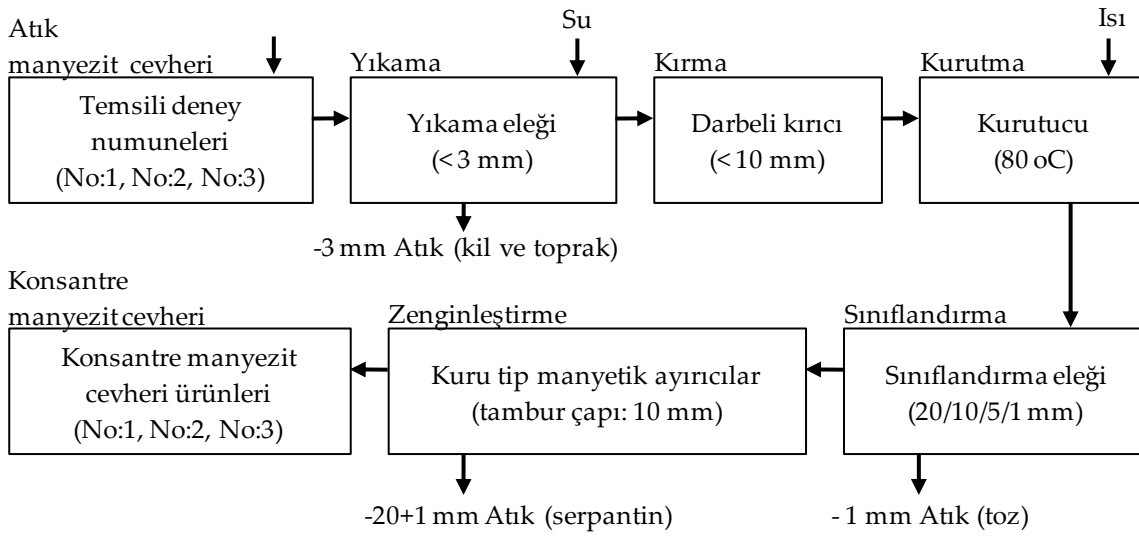
Şekil 2. Konsantre manyezit cevheri üretimi akım şeması (Figure 2. concentrate magnesite ore production flow chart)

Yöntem (Method)

Deneysel çalışmalarda, manyetik ayırma yöntemi ve Permroll tipi sabit mıknatıslı manyetik ayırıcılar kullanılmıştır. Sabit mıknatısın özellikleri; manyetik alan şiddeti 1,2 tesla, manyetik tambur çapı 10 cm, manyetik tambur uzunluğu 120 cm'dir. Ayrıca mikroskopik analiz, Leica EZ4D marka mikroskop cihazı ile yapılmıştır.

Atık manyezit cevherini zenginleştirme deney planı, Şekil 3'de verilmiştir. Deney planı; temsili numune alma, yıkama, kırma, kurutma, sınıflandırma, zenginleştirme aşamalarından oluşmaktadır.

Bu çalışma için, atık manyezit cevherini zenginleştirme deneysel parametreleri belirlenmiş ve Tablo 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Atık manyezit cevherini zenginleştirme deney planı (Figure 3. Waste magnesite ore enrichment test plan)

Tablo 3. Deney parametreleri (Table 3. Test parameters)

	No:1			No:2			No:3		
	-20+10 mm	-10+5 mm	-5+1 mm	-20+10 mm	-10+5 mm	-5+1 mm	-20+10 mm	-10+5 mm	-5+1 mm
Kurutma sıcaklığı (°C)	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Manyetik alan gücü (tesla)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Besleme miktarı (t/h)	18	15	13	18	15	13	18	15	13
Manyetik tambur hızı (d/d)	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Manyetik tambur çapı (mm)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Ayırma bıçak açısı (α, °C)	85	90	95	85	90	95	85	90	95

Atık manyezit cevheri stok sahasının, üç farklı noktasından, temsili olarak alınan numuneler, deney planına göre, elek açıklığı 3 mm olan yıkama eleğiyle yıkanmış, kırıcı çıkış açıklığı 10 mm olarak ayarlanmış darbeli kırıcıda tüm numuneler 10 mm'nin altında geçecek şekilde kırılmış, ortam sıcaklığı 80°C sıcaklıktaki kurutucu ile kurutulmuştur. Daha sonra, elek açıklıkları 20 mm, 10 mm, 5 mm ve 1 mm olan sınıflandırma eleği ile tüm malzeme gruplandırılmıştır. Gruplandırılmış tüm malzemeler her biri ayrı ayrı, 1,2 tesla gücünde, 100 mm çapında, 120 mm uzunluğundaki manyetik tambura sahip manyetik

ayırıcıya beslenerek zenginleştirilmiştir. Manyetik ayırma cihazı, ayırma bıçak açaları ise iri boyuttan ince boyuta doğru sırasıyla 85, 90 ve 95°C olarak uygulanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Karakterizasyon (Characterization)

Numunenin mineralojik yapısını belirlemek amacıyla, Leica EZ4D stereo mikroskop ile optik analiz yapılmış ve analiz sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre numunelerin; manyezit, serpantin, kalsedon ve opal minerallerinden meydana geldiği görülmüştür. (Erdogan, Yersel, ve Celebi, 2013) Erdoğan ve ark., 2013, tarafından yapılmış çalışmada, Kümaş atık manyezit tozunun XRD analizine göre, numunenin; manyezit, serpantin, kuvars, kalsit ve dolomit minerallerinden meydana geldiği ifade edilmiştir. (Erdogan, Kaya, Batar, ve Kahraman, 2004) Ayrıca, artık manyezit tozunun XRD grafiği incelendiğinde, ana mineral olarak manyezit, yan taş olarak serpantin, kalsit, dolomit ve kuvars minerallerinden oluştuğu gözlenmektedir. Bu sonuçlara göre; atık manyezit cevheri; manyezit, serpantin, kalsedon, opal, kuvars, kalsit ve dolomit minerallerinden meydana geldiği anlaşılmaktadır. Ayrıca numune içerisinde yer alan minerallerin mezür ile yoğunluk ölçümleri yapılmış ve sonuçları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Numunelerin optik ve yoğunluk özellikleri (Table 4. Optical and density properties of the samples)

Mineral adı	Renk	Parlaklık	Özgül ağırlık (g/cm ³)
Manyezit 1	Beyaz	Mat	2,69
Manyezit 2	Beyaz	Mat	2,74
Serpantin 1	Açık kahverengi	Mat	2,45
Serpantin 2	Kahverengi	Mat	2,54
Serpantin 3	Siyah	Mat	2,47
Kromlu serpantin	Siyah	Mat	2,60
Açık sarı serpantin	Açık sarı	Mat	2,30
Siyah serpantin	Siyah	Mat	2,47
Kırmızı serpantin	Kırmızı	Mat	2,17
Yeşil serpantin	Yeşil	Mat	2,37
Kalsedon 1	Açık mavi	Şeffaf	2,58
Kalsedon 2	Beyaz	Şeffaf	2,57
Opal	Açık mavi	Şeffaf	2,48

Kalite Skalası (Quality Scale)

Bu çalışmalarda referans olarak kullanılmak üzere, manyezit cevherinin kalite skalasının oluşturulmasında, sektörün lider kuruluşu olan Kümaş firmasının internet sitesinde yayınladığı bilgilerden yararlanılmıştır. Bunun için; Kümaş firmasının internet sitesinde yayınlanan, sinter manyezit kimyasal analiz tablosundan, “Tablo 2. Kümaş sinter manyezit kalite tablosu (Kümaş, 2015)” oluşturulmuştur. Tablo 2’den de “Tablo 5. Kümaş konsantre manyezit cevheri kalite skalası” verisi üretilmiştir. Tablo 5’deki veriler üretilirken, ağırlık kaybı metodu kullanılmıştır. İşlem şöyle gerçekleştirilmiştir: Sinter manyezitin kimyasal formülü MgO olup molekül ağırlığı 40,3044 gram’dır. Manyezit mineralinin kimyasal formülü MgCO₃ olup molekül ağırlığı 84,3142 gram’dır. Manyezit mineralini, sinter manyezit formuna dönüştürmek için, manyezit mineralinin bünyesinden CO₂’nin

uzaklaştırılması ile mümkün olmaktadır. Bu dönüştürme işlemi sırasında; $84,3142 \text{ (MgCO}_3\text{)} / 40,3044 \text{ (MgO)} = 2,091935$ kat ağırlık kaybı oluşmaktadır. Bu ağırlık kaybından dolayı, cevher bünyesinde yer alan diğer bileşiklerin de göreceli olarak ağırlık oranlarının azalmasına neden olacaktır. Başka bir ifadeyle %0,80 SiO₂ içeriğinde sinter manyezit üretebilmek için, $0,80 / 2,091935 = \%0,38$ SiO₂ içeriğine sahip konsantre manyezit cevherini kullanmak gerekmektedir. Bu hesaplama metodu kullanılarak, "Tablo 5. Kümaş konsantre manyezit cevheri kalite skalasında" yer alan veriler üretilmiştir. Bu veriler de bu deneysel çalışmalarda referans bilgi olarak kullanılmıştır.

Tablo 5. Kümaş konsantre manyezit cevheri kalite skalası (Table 5. Concentrated magnesite ore quality scale of Kümaş Company)

	Super Extra (%)	Extra (%)	Special (%)	Kalite 1 (%)	Kalite 2 (%)	Kalite 3 (%)	Kalite 4 (%)
SiO ₂	0,00-0,38	0,39-0,48	0,49-0,57	0,58-0,86	0,87-1,20	1,21-1,67	1,68-2,15
CaO	0,00-0,86	0,00-0,86	0,87-0,96	0,97-1,05	1,06-1,10	1,01-1,20	1,21-1,34
Fe ₂ O ₃	0,00-0,24	0,25-0,29	0,30-0,33	0,34-0,43	0,44-0,48	0,49-0,62	0,63-0,72
Al ₂ O ₃	0,00-0,05	0,00-0,05	0,00-0,05	0,00-0,05	0,06-0,10	0,06-0,10	0,06-0,10

SiO₂ İçeriği (SiO₂ Content)

Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler üzerinde yapılan mineralojik analiz sonuçlarına göre, numunelerin; manyezit, serpantin, kalsedon ve opal minerallerinden meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca Tablo 6'da verilen kimyasal analiz sonuçlarına göre de; CaO, Fe₂O₃ ve Al₂O₃ bileşiklerinin analiz değerlerinde kendi aralarında çok fazla bir değişkenlik göstermediği, asıl değişkenliğin SiO₂ bileşiğinde olduğu anlaşılmıştır. Bütün bu sebeplerden dolayı, bu deneysel çalışmalarda, zenginleştirme kriteri olarak SiO₂ bileşiğinin artması/azalması referans alınmıştır.

Ayrıca, manyezit cevheri yan taşının, çok büyük oranda serpantin kayacından meydana geldiği bilinmektedir. Örnek olarak; Tablo 6'da verilmiş olan No:3 Serpantin kayacının kimyasal içeriği olarak; %SiO₂: 30,66, %CaO: 1,23, %Fe₂O₃: 7,85 ve %Al₂O₃: 0,77 oranındaki bileşiklere sahip olduğu görülmektedir. Serpantin kayacında bulunan %7,85 oranındaki Fe₂O₃ bileşiği, serpantin kayacının mıknaş tarafından tutulmasını sağlamaktadır. Bu durum, aynı zamanda %30,66 oranındaki SiO₂ bileşiğinin de ortamdan uzaklaştırılmasını sağlamış olmaktadır. Böylece cevherdeki SiO₂ bileşiği azaltılarak zenginleştirilmektedir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler, deney sonrası elde edilen ürün ve atıkların kimyasal analizleri yapılmış, alınan sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6'da verilen analiz sonuçlarına göre;

No:1 numunesinin SiO₂ değeri %11,80 (atık) iken, zenginleştirme işlemi sonrasında; -20+10 mm ürün grubunda, %1,42 (3. Kalite), -10+5 mm ürün grubunda %1,62 (3. Kalite) ve -5+1 mm ürün grubunda ise %1,77 (4. Kalite) değerleri elde edilmiştir.

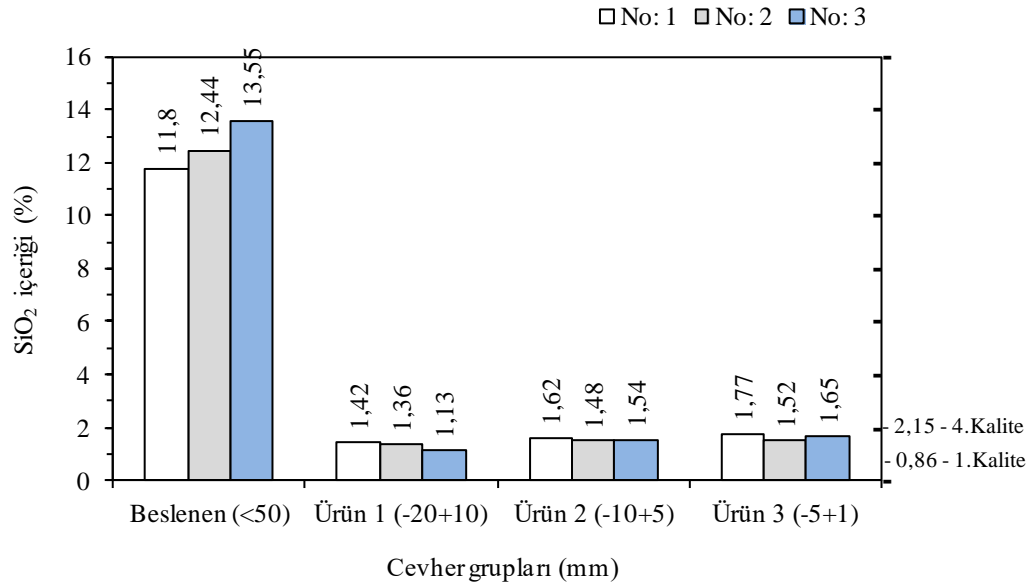
No:2 numunesinin SiO₂ değeri %12,44 (atık) iken, zenginleştirme işlemi sonrasında, -20+10 mm ürün grubunda, %1,36 (3. Kalite), -10+5 mm ürün grubunda %1,48 (3. Kalite) ve -5+1 mm ürün grubunda ise %1,52 (3. Kalite) değerleri elde edilmiştir.

No:3 numunesinin SiO₂ değeri %13,55 (atık) iken zenginleştirme işlemi sonrasında, -20+10 mm ürün grubunda, %1,13 (2. Kalite), -10+5 mm ürün grubunda %1,54 (3. Kalite) ve -5+1 mm ürün grubunda ise %1,65 (3. Kalite) değerleri elde edilmiştir.

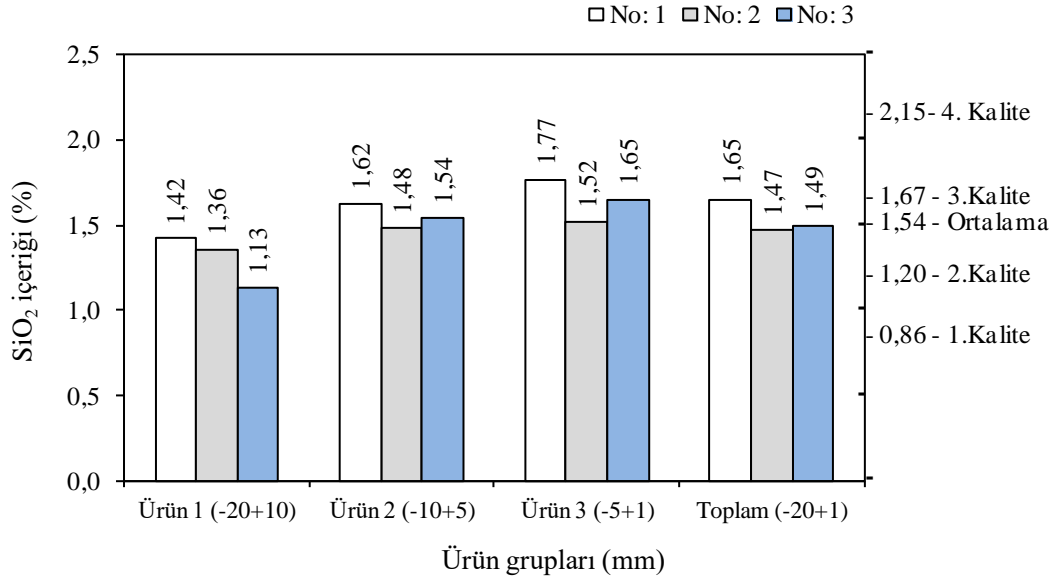
Her üç grup numunenin zenginleştirme sonrasında toplamda, ara ürünün SiO₂ değeri ortalama %6,50, toz atık malzemenin SiO₂ değeri ortalama %12,0 ve atık (serpantin) SiO₂ değeri ise ortalama %30,0 civarında olduğu görülmüştür.

Tablo 6. Beslenen, ürün ve atık cevherlerin kimyasal analiz sonuçları (Table 6. Results of chemical analysis of fed, product and waste ores)

	Beslenen (Atık manyezit cevheri) <50 mm	Ürünler (Konsantre cevher)			Ara ürün -20+1 mm	Atık 1	Atık 2	
		-20+10 mm	-10+5 mm	-5+1 mm		(Toz) <1 mm	(Serpantin) -20+1 mm	
No:1	% SiO ₂	11,80	1,42	1,62	1,77	6,76	12,42	31,80
	% CaO	1,25	1,18	1,19	1,21	1,25	1,28	1,25
	% Fe ₂ O ₃	1,55	0,51	0,50	0,48	1,52	1,42	7,51
	% Al ₂ O ₃	0,75	0,08	0,09	0,08	0,65	0,88	0,92
No:2	% SiO ₂	12,44	1,36	1,48	1,52	5,64	11,88	29,62
	% CaO	1,22	1,20	1,20	1,18	1,20	1,29	1,22
	% Fe ₂ O ₃	1,44	0,52	0,50	0,47	1,80	1,35	8,02
	% Al ₂ O ₃	0,80	0,09	0,10	0,10	0,72	0,78	0,86
No:3	% SiO ₂	13,55	1,13	1,54	1,65	6,88	12,13	30,66
	% CaO	1,24	1,19	1,20	1,22	1,27	1,26	1,23
	% Fe ₂ O ₃	1,39	0,53	0,48	0,30	1,65	1,66	7,85
	% Al ₂ O ₃	0,81	0,07	0,08	0,10	0,88	0,69	0,77



Şekil 4. Beslenen cevher ve ürün gruplarının SiO₂ içeriği (Figure 4. Content of SiO₂ of fed ore and product groups)



Şekil 5. Ürün (konsantre cevher) gruplarının SiO₂ içeriği (Figure 5. Content of SiO₂ of product groups)

Zenginleştirme işlemi sonrasında; Ürünler (konsantre manyezit cevheri), Ara Ürün, Atık 2 (serpantin) elde edilmiştir. Ayrıca, sınıflandırma işlemi sırasında da 1 mm den küçük taneler "Atık 1" olarak sistem dışına çıkmıştır.

Kimyasal analiz sonucunda elde edilmiş ve Tablo 6'da verilmiş değerlere göre "SiO₂ içerik" grafikleri çizilmiş ve sonuçlar Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir.

Zenginleştirme Verimi (Enrichment Yield)

Numuneler manyetik ayırıcıdan geçirildikten (zenginleştirildikten) sonra elde edilen veriler Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 7'de verilen bilgilere göre, Şekil 6 ve Şekil 7'deki grafikler çizilmiştir. Tablo 7'deki veriler değerlendirildiğinde;

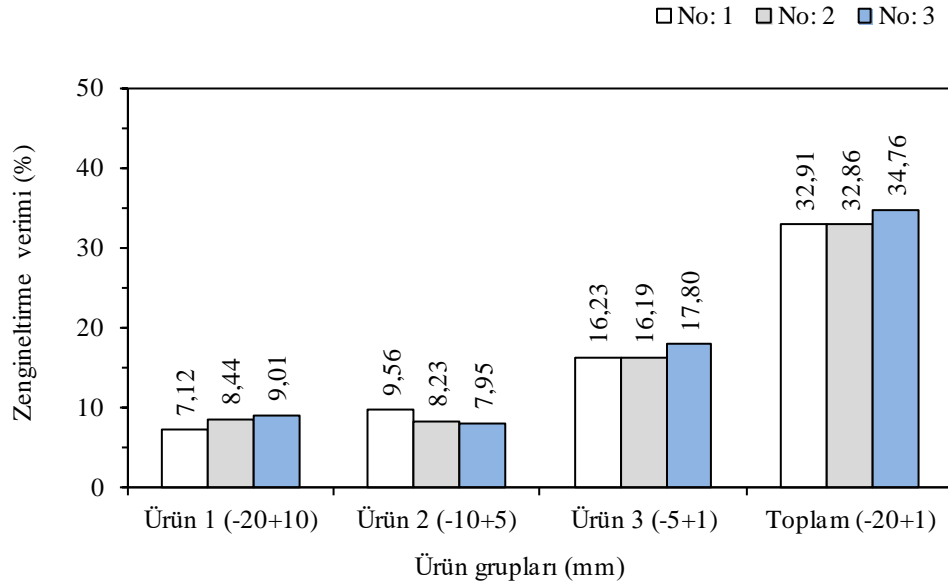
No:1 numunesi; -20+10 mm ürün grubunda %7,12 verimle, -10+5 mm ürün grubunda %9,56 verimle ve -5+1 mm ürün grubunda ise %16,23 verimle zenginleştirildiği görülmüştür. Ayrıca, %15,12 verimle ara ürün, %5,82 verimle atık toz (<1mm) ve %46,15 verimle atık serpantin elde edilmiştir.

No:2 numunesi; -20+10 mm ürün grubunda %8,44 verimle, -10+5 mm ürün grubunda %8,23 verimle ve -5+1 mm ürün grubunda ise %16,19 verimle zenginleştirildiği görülmüştür. Ayrıca, %13,11 verimle ara ürün, %6,01 verimle atık toz (<1mm) ve %48,02 verimle atık serpantin elde edilmiştir

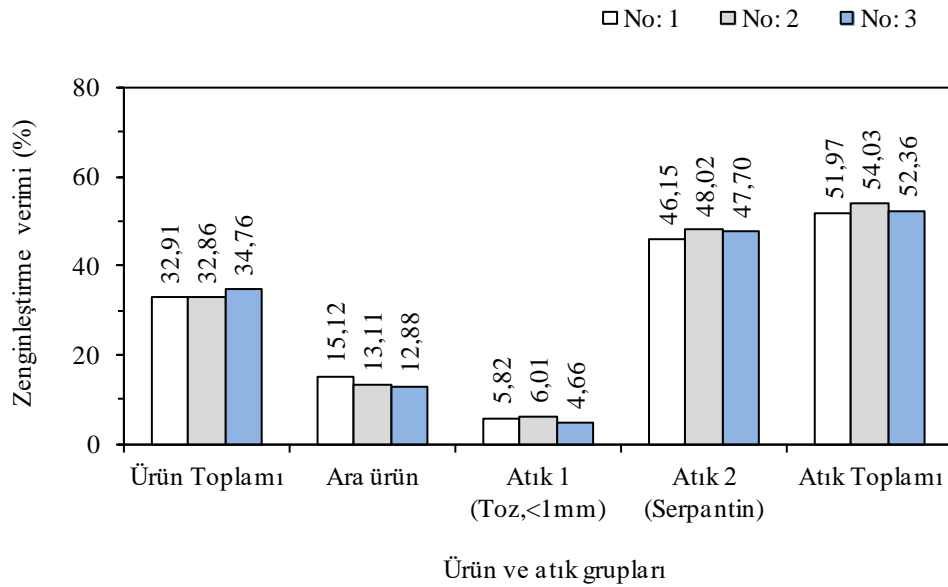
No:3 numunesi; -20+10 mm ürün grubunda %9,01 verimle, -10+5 mm ürün grubunda %7,95 verimle ve -5+1 mm ürün grubunda ise %17,80 verimle zenginleştirildiği görülmüştür. Ayrıca, %12,88 verimle ara ürün, %4,66 verimle atık toz (<1mm) ve %47,70 verimle atık serpantin elde edilmiştir

Tablo 7. Ürün ve atık cevherlerinin verim oranları (Table 7. Yield rates of product and waste ores)

	Ürün (Konsantre Cevher)				Ara Ürün -20+1 mm	Atk 1 (Toz) <1 mm	Atk 2 (serpantin) -20+1 mm
	-20+10 mm	-10+5 mm	-5+1 mm	Toplam (-20+1 mm)			
No: 1 (%)	7,12	9,56	16,23	32,91	15,12	5,82	46,15
No: 2 (%)	8,44	8,23	16,19	32,86	13,11	6,01	48,02
No: 3 (%)	9,01	7,95	17,80	34,76	12,88	4,66	47,70



Şekil 6. Ürün gruplarının zenginleştirme verimleri (Figure 6. Enrichment yields of product groups)



Şekil 7. Ürün ve atık gruplarının zenginleştirme verimleri (Figure 7. Enrichment yields of product and waste groups)

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, atık manyezit cevherinin, manyetik ayırma cihazı kullanılarak zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için önce atık manyezit cevherinin mineralojik ve kimyasal içeriklerinin belirlenmesi için, optik ve kimyasal analizler yapılmış, alınmış sonuçlar Tablo 4 ve 6'da verilmiştir. Tablo 6'da verilmiş olan kimyasal analiz verileri değerlendirildiğinde; CaO, Fe₂O₃ ve Al₂O₃ bileşik değerlerinin kendi aralarında çok fazla değişkenlik göstermediği, ancak SiO₂ bileşik verilerinin majör değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Bu durumu Tablo 4'de verilen mineral dağılımı da desteklemektedir. Bu sebeplerden dolayı, bu çalışmada zenginleştirme kriteri olarak SiO₂ bileşik içeriğinin değişkenliği referans alınmıştır.

Atık manyezit cevheri stok sahasından alınmış temsili numuneler, yıkanmış, darbeli kırıcıda kırılmış, 80°C sıcaklıkta kurutulmuş, 20, 10, 5 ve 1 mm elekler kullanılarak sınıflandırılmış ve manyetik ayırma cihazından geçirilerek zenginleştirme işlemine tabii tutulmuştur. Zenginleştirme işlemi sonucunda alınmış sonuçlar, Tablo 8’de özet olarak verilmiştir.

Tablo 8. Beslenen cevher ve ürün (konsantre cevher) SiO₂ içerikleri ve zenginleştirme verimleri (Table 8. Yield rates and SiO₂ contents of products and feed ores)

	Beslenen Cevher SiO ₂ İçeriği (%)	Ürün (Konsantre Cevher) SiO ₂ İçeriği (%)				Ürün (Konsantre Cevher) Zenginleştirme Verimi (%)			
		-20+1 mm	-20+10 mm	-10+5 mm	-5+1 mm	Ortalama -20+1	-20+10 mm	-10+5 mm	-5+1 mm
No: 1	11,80	1,42	1,62	1,77	1,65	7,12	9,56	16,23	32,91
No: 2	12,44	1,36	1,48	1,52	1,47	8,44	8,23	16,19	32,86
No: 3	13,55	1,13	1,54	1,65	1,49	9,01	7,95	17,80	34,76
Ortalama	12,60	1,29	1,55	1,65	1,54	8,19	8,58	16,74	33,51

Tablo 8’deki verilere göre; ortalama %12,60 SiO₂ içeriğine sahip numunelerin tamamı (No:1 + No:2 + No:3), -20+10 mm ürün boyutunda %1,29 SiO₂ kalite (3. Kalite) ve %8,19 zenginleştirme verimi oranıyla, -10+5 mm ürün boyutunda %1,55 SiO₂ kalite (3. Kalite) ve %8,58 zenginleştirme verimi oranıyla, -5+1 mm ürün boyutunda %1,65 SiO₂ kalite (3. Kalite) %16,74 zenginleştirme verimi oranıyla, toplam -20+1 mm ürün grubunda ise, ortalama %1,54 SiO₂ kalite (3. Kalite) ve %33,51 zenginleştirme verimi oranıyla zenginleştirildiği görülmüştür.

Bu sonuçlara göre; ortalama %12,60 SiO₂ içeriği ile refrakter kalite olarak hiçbir işe yaramayan atık manyezit cevheri, Permroll tipi sabit mıknatıslı manyetik ayırıcı ile zenginleştirme işlemine tabii tutularak, -20+1 mm ürün grubunda ortalama %1,54 SiO₂ içeriği ile Kümaş konsantre manyezit cevheri kalite skalasına göre üçüncü kalitede cevher olarak zenginleştirilmiş ve ekonomiye geri kazandırılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Abdel-Aal, E.A., Ibrahim, I.A., Rasha, M.M., and Ismal, A.K., 1994. "Hydrometallurgical Processing of Egyptian Magnesite Ore for Production of Magnesium Sulphate", *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, 165–175.
- Abdel-Aal, E.A., Ibrahim, I.A., Rashad, M.M., and Ismail, A.K., 1996, "Hydrometallurgical Processing of Egyptian Magnesite Ore", *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, 30, 207–216.
- Akkoyun, Ö., and Ünver, B., 2001, "Küçük Ölçekli Manyezit İşletmelerinde Üretim Veriminin Artırılması İçin Öncelikle Ne Yapılabilir ? - Bir Örnek", *In Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi* (pp. 75–80).
- Amer, A.M., and Staden, V., 2010, "Hydrometallurgical Processing of Low Grade Egyptian Magnesite", *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 44, 5–12.
- Aslani, S., Hashemi, H.R.S.B., and Arianpour, F., 2010, "Beneficiation of Iranian Magnesite Ores by Reverse Flotation Process and Its Effects on Shaped and Unshaped Refractories Properties", *Bulletin of Materials Science*, 33(6), 697–705. <http://doi.org/10.1007/s12034-011-0150-0>
- Ayvazoğluyüksel, G., 2011, *Atık Elektro filtre Manyezit Tozlarının Çözünme Davranışının Optimizasyonu ve Geri Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Bentli, I., Erdogan, N., Birici, B., Topal, U., and Şahbaz, O., 2004, "Manyezit Ara Ürünün Kalsinasyon-Manyetik Ayırma Yöntemleriyle Zenginleştirilmesi", *Uluslararası 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu* (pp. 216–221).

- Chowdhury, A.A., Rasul, M.G., and Khan, M.M.K., 2002, "Thermodynamic Processes and Characterisation of Dead Burned Magnesia: A Review", *Recent Advances in Energy and Environment Thermodynamic*, 344–349.
- Demirbas, A., 2006, "Acetic Acid Leaching of Magnesia from Magnesite Via Calcination", *Indian Journal of Chemical Technology*, 13(2), 135–138.
- Dobbins, M., Domenico, J., and Dunn, P., 2007, "A Discussion of Magnetic Separation Techniques for Concentrating Ilmenite and Chromite Ores", *In The 6th International Heavy Minerals Conference "Back to Basics", The Southern African Institute of Mining and Metallurgy* (pp. 197–204).
- Dobbins, M., Dunn, P., and Sherrell, I., 2009, "Recent Advances in Magnetic Separator Designs and Applications", *In The 7th International Heavy Minerals Conference "What next", The Southern African Institute of Mining and Metallurgy* (pp. 63–70).
- Drzymala, J., 2007, "Mineral Processing, Foundations of Theory and Practice of Minerallurgy", Wroclaw: Wroclaw University of Technology.
- Ekmekci, Z., 1990, "Yüksek Alan Şiddetli Sürekli Miknatıslı Uygulamalar", *Madencilik Dergisi*, XXIX(3), 39–46.
- Erdogan, N., 2013, "Recycling of Waste Magnesite Powders", *Ekoloji*, 22(86), 75–83. <http://doi.org/10.5053/ekoloji.2013.869>
- Erdogan, N., Kaya, M., Batar, T., and Kahraman, B., 2004, "Artık Manyezit Tozundan Yüksek Safılıkta Sinter Magnezit Üretimi. *Int 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu* (pp. 291–299).
- Erdogan, N., Yersel, E., and Celebi, C., 2013, "Production of High Quality Magnesium Chloride from Recycled", *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 49(2), 557–566. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.5277/ppmp130216>
- Erdogan, N., and Yıldız, R., 1995, *Magnezit ve Bazik Refrakter Malzeme Teknolojisi*, Eskişehir: lale Ofset. 150.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2011, "Manyetik Ayırmadaki Son Gelişmeler ve Alternatif Manyetik Ayırıcı Tiplerinin Tanıtılması", *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 24(1), 75–93.
- Kaya, M., 1993, *Magnezit ve Bazik Refrakter Teknolojisi*, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Kümaş, 2015, "Sinter Manyezit Kalite Tablosu", Retrieved from http://www.kumasref.com/DBM_sinter.aspx
- LaVerne, J.A, and Tandon, L., 2005, "H₂ and Cl₂ Production in the Radiolysis of Calcium and Magnesium Chlorides and Hydroxides", *Journal of Physical Chemistry A*, 109, 2861–2865.
- MTA, 2015, "Manyezit Mineralojik Özellikleri", Retrieved from <http://www.mta.gov.tr/v2.0/madenler/mineraller/index.php?id=manyezit>
- Özdemir, M., Çakır, D., and Kıpçak, I., 2009, "Magnesium Recovery from Magnesite Tailings by Acid Leaching and Production of Magnesium Chloride Hexahydrate from Leaching Solution by Evaporation", *International Journal of Mineral Processing*, 93(2), 209–212. <http://doi.org/10.1016/j.minpro.2009.08.001>
- Uğur, Ç., 2010, *Asmaş Manyezit İşletmesi Triyaj Ara Ürünü ve -20 mm Manyezit Atıklarının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Yıldırım, M., and Akarsu, H., 2010, "Preparation of Magnesium Oxide (MgO) from Dolomite by Leach-Precipitation-Pyrohydrolysis Process", *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 44, 257–272.
- Yılmaz, A., and Kuşcu, M., 2012, "Manyezit Yataklarının Oluşumu, Sınıflandırılması, Kullanım Alanları ve Kalite Sınıflandırılması", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(1), 65–72.