



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 03.01.2023
Kabul Tarihi : 02.08.2023

Received Date : 03.01.2023
Accepted Date : 02.08.2023

DOĞALTAŞ TOZ ATIKLARINDAN İNCE TANE BOYUTLU KALSİYUM KARBONATIN HİDROSİKLOKON İLE KAZANILMASI

RECYCLING OF FINE SIZE CALCIUM CARBONATE FROM NATURAL STONE DUST WASTE BY HYDROCYCLONE

Zehra Ebru SAYIN^{1*} (ORCID: 0000-0003-1949-3127)

Hakan ÇİFTÇİ¹ (ORCID: 0000-0001-7910-7350)

Mustafa GÜRSOY¹ (ORCID: 0000-0002-2894-8616)

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Zehra Ebru SAYIN, zerkan@aku.edu.tr

ÖZET

Kalsiyum karbonat (kalsit, CaCO₃) içindeki safsızlıkların uzaklaştırılması ve tane boyutunun 10 mikronun altına alınması ile endüstride katma değeri yüksek ürün olarak kullanılabilir. Bu amaçla çalışmada, doğaltaş işleme fabrikalarından çıkan toz atıklarıyla endüstriyel hammadde olarak değerlendirmek üzere hidrosiklon ile bir dizi zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Hidrosiklon çalışmalarında; besleme numunesinin katı/sıvı oranı (% 10, 15, 20), pulp giriş basıncı (0.5-1-1.5-2 bar), alt (apex çapı – 4.5 ve 6.4 mm) ve üst (vortex çapı – 14.3, 11.1 ve 8 mm) çıkış çapı ayarları değiştirilerek kademeli zenginleştirme yapılmıştır. Elde edilen nihai ürünlerin beyazlık (L) değerinin %96.80, parlaklık (Z) değerinin %86.72, CaCO₃ oranının yaklaşık %94, yağ emme değerinin 26.01 mL/100 g olduğu saptanmıştır. Hidrosiklon üst akımından elde edilen ve ana malzemenin ağırlıkça %51'ini teşkil eden Ürün 1'in tane boyut dağılım değerleri olan d₁₀, d₅₀, d₉₀ sırasıyla 0.815 µm, 3.744 µm ve 9.865 µm olarak tespit edilmiştir. Böylece, doğaltaş işleme fabrikalarının sayıca ve hacimce fazla olduğu Afyonkarahisar ili için önemli bir potansiyel kaynak olan toz atıklardan elde edilecek ince ürünlerin çeşitli sektörlerde kullanımının mümkün olduğu, atık oluşumunun azaltılabilme imkânı nedeniyle çevresel sorunun da giderilmesine katkı sağlayacağı yönleriyle bu çalışma önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kalsit, hidrosiklon, atık, kalsiyum karbonat

ABSTRACT

Calcium carbonate can be used as a product with high added value in the industry by removing impurities and reducing the particle size below 10 microns. A series of experiments with hydrocyclone was carried out in order to use the dust wastes from factories as industrial raw materials. The solid/liquid ratio of the feed sample (10, 15, 20 %), pulp inlet pressure (0.5-1-1.5-2 bar), lower (apex diameter - 4.5 and 6.4 mm), and upper (vortex diameter-14.3, 11.1 and 8 mm) outlets of diameter settings were changed gradually. Determined that the average glowloss of the final products obtained was 44%, the whiteness (L) value was 96.80%, the brightness (Z) value was 86.72%, the CaCO₃ ratio was approximately 94%, and the oil-absorption value was 26.01 mL/100g. The grain size distribution values of Product 1 obtained from the hydrocyclone overflow and constituting 51% by weight of the base material, were detected as 0.815 µm, 3.744 µm, and 9.865 µm, respectively. Thus, this study is essential as it is possible to use the products obtained from dust wastes for Afyonkarahisar province being crucial on natural stone industry. It will contribute to the elimination of environmental problems due to the possibility of reducing waste generation.

Keywords: Calcite, hydrocyclone, waste, calcium carbonate

GİRİŞ

Ülkemizin yapı ve inşaat sektörlerinde doğaltaş kullanımının gittikçe yaygınlaşması; doğaltaş üretimini ve üretim sırasında ortaya çıkan atık miktarını arttırmaktadır. Afyonkarahisar ili, çevresinde yoğun doğaltaş madenciliği yapıldığından dolayı Türkiye'nin en önemli doğaltaş endüstri merkezlerinden biri olmuştur. Bu üretim yoğunluğundan ötürü bölgedeki doğaltaş üretim faaliyetleri ile ocaklardan pasalar, fabrikalardan paledyenler ve toz atıklar normalden fazla oluşmaktadır. Doğaltaşlar, ocaklardan blok üretimi ile çıkarıldıktan sonra fabrikalarda işlenmesi ile plaka, yer karosu, fayans gibi çeşitli ürünlere dönüştürülmektedir. Bu süreç içerisinde geriye çeşitli boyutlarda ve miktarlarda agrega ve toz boyutlarında atık kalmaktadır. Bu atıkların tane boyutlarına, kimyasal içeriklerine ve şekillerine göre çeşitli amaçlarla kullanılması mümkün olabilir (Ersoy vd., 2015; Bilensoy, 2010). Ancak, asıl katma değeri yüksek ürün toz atıkların içindeki safsızlıkların uzaklaştırılması ve tane boyutunun 10 mikronun altına düşürülmesi ile mümkün olmaktadır. Bu şekilde zenginleştirilen toz ürünlerin özellikle boya ve kâğıt endüstrisinde kullanım yeri olabilir.

Doğaltaş tozlarının tane boyut dağılımı, renk karakteristiği, kimyasal içeriği, beyazlık değeri, yağ absorplama kapasitesi vb. özellikleri hangi sektörde kullanılacağını gösterir. Doğaltaş işleme fabrikasındaki toz atıkların sektörde kullanılmasında, tane boyutu uygun olsa bile farklı doğaltaş türlerinin kesimi nedeniyle ortaya çıkan renk değişiminin sorun olduğu/olacağı düşünülmektedir. Kavas vd. (2003) refrakter çimento üretiminde, kalker kaynağı olarak toz doğaltaş atıklarını kullanmışlar, teknik kalitede çimento elde etmişlerdir. Seramik sektöründe CaO'nin kullanılması ise mermer atık tozlarının kalsinasyonu ile mümkün olmaktadır. Böylece CaO'nin seramiklerde plastikliği ve dayanımı arttırdığı belirtilmektedir (Kavas ve Kibici, 2001; Yıldız ve Eskikaya, 1995). Bir çalışmada kâğıt ve boya sektörüne yönelik yapılan araştırmalarda mermer tozunun 100 µm tane boyutu altında kalan (%90'ı 38 µm altı) kısmının kullanılabilirliği incelenmiştir. Sonuç olarak, öğütme ile yapılan boyut küçültme işleminin ardından, toz ürünlerin kâğıt ve boya sektöründe kullanılabilir olduğu rapor edilmiştir (Sayın ve Aksoy, 2013). Kalsitin, boya sektöründe kullanılan hammaddelerden TiO₂ ile ikame olanaklarının araştırıldığı bir çalışmada, iri kristallenmiş beyaz doğaltaşlar kullanılmıştır. Sonuç olarak öğütülmüş kalsitin standart boyaya göre TiO₂ kullanımı %4 oranında azalttığı tespit edilmiştir (Karakaş ve Çelik, 2012). Başka bir çalışmada ise mermer atık tozlarının tuğla üretiminde kullanılabilmesine ve hazırlanan ürünün mukavemetinin kabul edilebilir derecede olduğu belirtilmiştir (Bilgin vd., 2012; Yeşilkaya vd., 2010). Toprağın Ca ihtiyacının karşılanması amacıyla asidik özellikteki topraklara karıştırılan kalsit tozlarının ağaç ve bitkilerin kalitesini arttırdığı ve daha fazla miktarda ürün alınabildiği bilinmektedir (Şahin, 1999). Ceylan (2000), yapmış olduğu çalışmada tane boyutu düşürülmüş ve CaCO₃ içeriği en az %95 seviyesinde olan toz atıkların derz dolgu maddesi olarak kullanılacağını belirtmiştir. Yine doğaltaş atıklarının öğütülerek balata dolgu malzemesi olarak kullanılmasının frenleme performansında olumlu sonuçlar verdiği de gözlemlenmiştir (Kılıç, 2010).

Hidrosiklon, katı-sıvı süspansiyonlardaki tanecikleri boyutuna ve yoğunluğuna göre etkili bir şekilde ayıran ekipmandır. Gravite ve santrifüj kuvvetlerin etkili olduğu hidrosiklon ile çok ince boyutlarda bile ayırım yapmak mümkündür. Klasik hidrosiklon çalışma prensibinde hidrosiklon içinde oluşan akış yörüngesinde partiküller çepere doğru bir santrifüj kuvvetin ve merkeze doğru bir direnç kuvvetinin etkisi altında kalmaktadır. Meydana gelen santrifüj kuvvet partiküllerin çökme hızlarını arttırmaktadır ve böylece taneler hidrosiklonun yapısına bağlı olarak boyut veya özgül ağırlıklarına göre ayrılmaktadırlar. Hızlı çöken partiküller (iri/ağır taneler) siklon duvarına doğru itilirler ve bu kısımda akış az olduğundan partiküller alt çıkış yönünde hareket ederler. Yavaş çöken taneler (ince/hafif taneler) ise direnç kuvveti nedeniyle siklon merkezi civarındaki düşük basınç zonundan üst çıkış borusuna doğru hareket ederek ortamdan ayrılırlar (Yıldız, 2010; Emrullahoğlu, 1985). Konik bölgenin en küçük kesitli kısmı hidrosiklon alt çıkış açıklığı (apex) oluşturmaktadır ve ayarlanabilir çapta imal edilir. Girdap bulucu ise ayırma mekanizmasında etkindir çapı büyüdükçe (vortex) üst akım tane boyutu irileşir. Siklon gövdesi çapı, besleme borusu çapı, üst ve alt çıkış çapları hidrosiklon ile çalışmada etkindir (Şekil 1).

Doğaltaş fabrika işletmecileri toz atıkları değerlendirememekle birlikte bertarafında da güçlük çekmektedirler. Ayrıca, atıkların farklı bir sektörde kullanılması çevresel bir sorunun giderilmesine de katkı sağlayacaktır. Bu nedenle doğaltaş üretim fabrikalarından çıkan toz atıkların değerlendirilebilmesinin sektöre ve ülke ekonomisine katkı sağlayacağı açıktır. Bu çalışmada, bir doğaltaş işleme fabrikasından üretim atığı olarak çıkan ince boyuttaki toz atıkların hidrosiklon ile safsızlıklarından ve nispeten iri boyuttaki tanelerden ayrılması incelenmiştir. Böylece doğaltaş toz atıklarının öğütülmeksizin mevcut hali sınıflandırılarak 10 µm tane boyutu altında kalan kısmının başka sektörlerde değerli bir endüstriyel hammadde olarak kullanılabilmesine dikkat çekilmiştir.



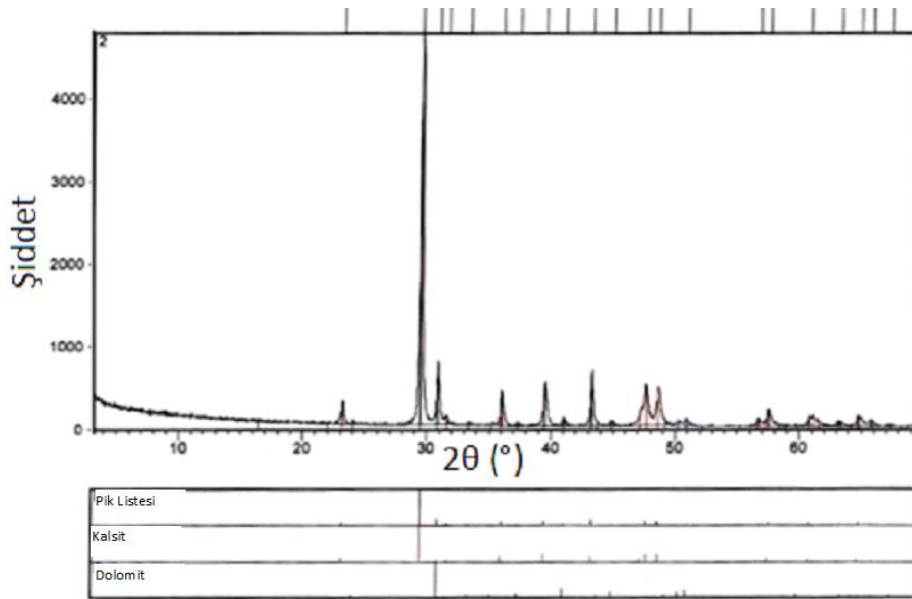
Şekil 1. a. Hidrosiklon Düzeneği, b. Genel Görüntüsü, c. Alt Çıkış (Apex) d. Üst Çıkış (Vortex) Parçaları

MATERYAL VE YÖNTEM

Kullanılan doğaltaş atığı (toz atık) Afyonkarahisar ili içerisinde faaliyet gösteren bir fabrikadan temin edilmiştir. Tikiner çıkışının filtreden geçirilmesi ile kek haline getirilen atıktan alınan numunenin yaklaşık %16 neme sahip olduğu ve %100'ünün 138 µm tane boyutunun altında kaldığı tespit edilmiştir. Kek halindeki toz atıklar gri ve bej olarak renk tayini yapılmış olan iki farklı doğaltaş bloğunun kesimi esnasında oluşmuştur.

Numunenin kimyasal analizi X-ışınları Floresan (XRF) spektroskopisi ile ve tane boyut dağılım analizleri de Lazer kırınım parçacık boyutu analizör sisteminin kullanıldığı MALVERN Mastersizer 2000 cihazında yaş yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Mineralojik analizler Shimatzu X Işını Difraktometre (XRD) cihazında yapılmıştır ($2\theta=2^{\circ}-70^{\circ}$). Beyazlık değeri Hunterlab Colorflex (CFLX 45-2 Model Colorimeter) cihazında tespit edilmiştir. Yağ absorpsiyonu testleri ISO 787/5 standartına göre gerçekleştirilmiştir. Nem tayini ise $105\pm 2^{\circ}\text{C}$ etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmak suretiyle yapılmıştır.

Doğaltaş toz atığının XRD piklerinden yaklaşık %90 oranında kalsit minerali (CaCO_3) içerdiği, %9 oranında dolomit minerali ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) içerdiği ve %1 oranında ise diğer minerallerden ibaret olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2).



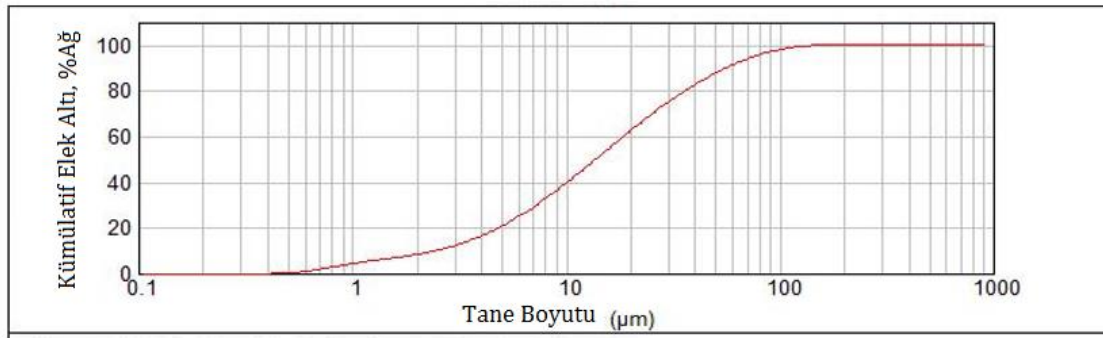
Şekil 2. Doğaltaş Toz Atığının XRD Grafiği (Sayın ve Aksoy, 2012)

XRF spektroskopisi ile numunenin kimyasal bileşimi tespit edilmiştir (Tablo 1). Tablo 1'den numuneye ait kızdırma kaybının %44.1 olduğu görülmektedir. CaO miktarı ise %52.6 olarak analiz edilmiştir. Teorik olarak değerlendirildiğinde toz atığın kalsit (CaCO_3) oranı %94.10 olarak hesap edilmiştir. Numuneye ait yapılan diğer testlerde ise 23 mL/100g yağ emme, %93.86 beyazlık, %80.60 parlaklık ve $2.5-2.7\text{ g/cm}^3$ yoğunluk değerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Sayın ve Aksoy, 2012).

Numuneye yapılan tane boyut dağılımı analizinde d_{10} , d_{50} , d_{90} değerleri sırasıyla $1.674\ \mu\text{m}$, $11.524\ \mu\text{m}$, $48.524\ \mu\text{m}$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 3). Bununla birlikte numunenin %100'ünün yaklaşık 138 µm altında olduğu ve minimum tane boyutunun ise yaklaşık 0.5 µm olduğu belirlendi.

Tablo 1. Numunenin Kimyasal İçeriği (Sayın ve Aksoy, 2012)

İçerik	%-M
CaO	52,6
F	0,10
MgO	2,75
Al ₂ O ₃	0,07
SiO ₂	0,19
P ₂ O ₅	0,06
SO ₃	0,03
Cl	0,01
K ₂ O	0,01
Na ₂ O	0,02
MnO	0,01
Fe ₂ O ₃	0,05
Kızdırma Kaybı	44,1

**Şekil 3.** Numunenin Tane Boyut Analizi

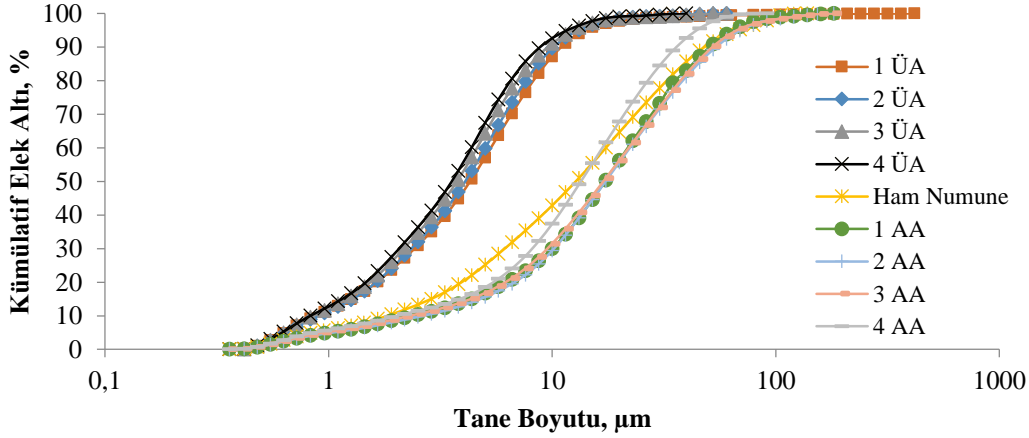
Hidrosiklon ile zenginleştirme deneylerinde önce kek halindeki numune %30 katı/sıvı oranında mekanik karıştırıcıda açma işlemine tabi tutulmuştur. Açma işleminin ardından hidrosiklon çalışmalarına geçilmiştir. Hidrosiklon çalışmalarında 44 mm çaplı Mozley tip hidrosiklon gövdesi kullanılmıştır. Giriş basınç ayarı 0.5-1-1.5-2 bar olarak tercih edilmiştir. Hidrosiklon alt (apex çapı – 4.5 ve 6.4 mm) ve üst (vortex çapı – 14.3, 11.1 ve 8 mm) çıkış çapları değiştirilerek ayarlanabilir özellikte olan çıkışlar kullanılmıştır. Hidrosiklonunda yapılacak her bir deney için yaklaşık 3 kg katı numune kullanılmıştır. Yapılan her bir deneyin çalışma şartları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmanın İlk Aşamasında Değerlendirilen Parametreler

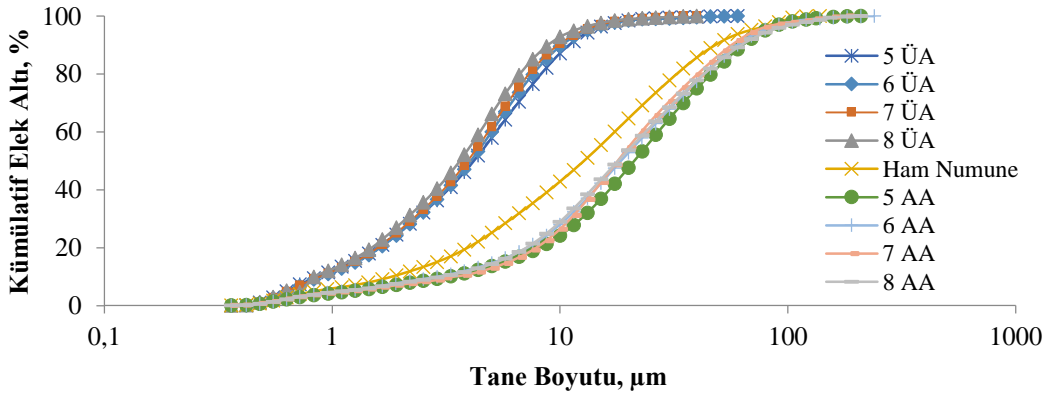
Deney Kodu	% Katı/Sıvı Oranı	Apex Çapı, mm	Vortex Çapı, mm	Bar
1				0,5
2				1
3	10	6,4	11,1	1,5
4				2
5				0,5
6				1
7	15	6,4	11,1	1,5
8				2
9				0,5
10				1
11	20	6,4	11,1	1,5
12				2
13				0,5
14				1
15	20	6,4	14,3	1,5
16				2
17	20	4,5	14,3	1,5

BULGULAR

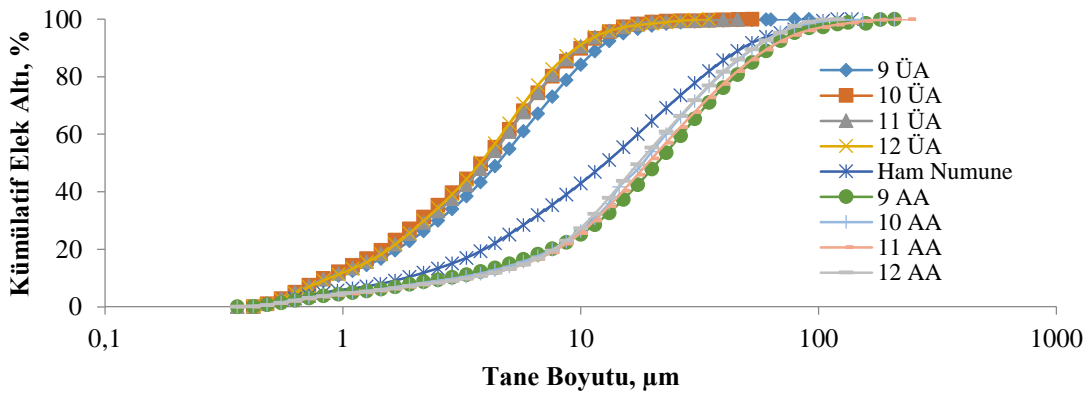
Hidrosiklon çalışmaları iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada ön konsantre ve nihai atık elde edilmiştir. İkinci aşamada ise ön konsantreye temizleme uygulanarak nihai ürün elde edilmiştir. Araştırmanın ilk aşamasında, %10, %15 ve %20 katı/sıvı oranında hazırlanan eş numuneler Tablo 2’de verilen parametrelerde hidrosiklona ayrı ayrı beslenmiştir. Çalışma sonuçlarının ifade edilmesini kolaylaştırmak amacıyla deney kodları kullanılmıştır. Elde edilen ürünlerin tane boyut analizleri yapılmıştır. Şekil 4’de %10 katı/sıvı oranına, Şekil 5’de %15 katı/sıvı oranına, Şekil 6’da ise %20 katı/sıvı oranına göre elde edilen ürünlerin grafikleri verilmiştir. Grafiklerde hidrosiklon üst akımı ÜA, hidrosiklon alt akımı ise AA şeklinde kodlanmıştır.



Şekil 4. %10 Katı/Sıvı Oranına Göre Elde Edilen Ürünlerin Kümülatif Elek Altı Grafiği (6.4 mm Apex Çapı, 11.1 mm Vortex Çapı)



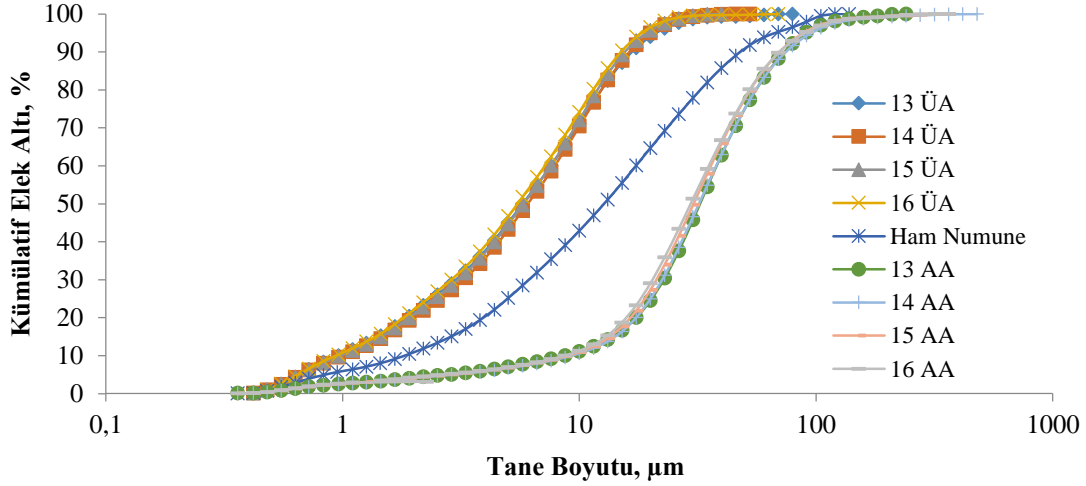
Şekil 5. %15 Katı/Sıvı Oranına Göre Elde Edilen Ürünlerin Kümülatif Elek Altı Grafiği (6.4 mm Apex Çapı, 11.1 mm Vortex Çapı)



Şekil 6. %20 Katı/Sıvı Oranına Göre Elde Edilen Ürünlerin Kümülatif Elek Altı Grafiği (6.4 mm Apex Çapı, 11.1 mm Vortex Çapı)

Bulgular değerlendirildiğinde tane boyut dağılımlarının birbirine çok yakın olması nedeniyle tesis kapasitesi dikkate alınarak, %20 katı/sıvı oranında 1.5 bar pülp besleme basıncının (deney 11) en iyi yaklaşım olduğuna karar verilmiştir. Bu şartlarda üst akım tane boyut dağılımı d_{10} , d_{50} , d_{90} değerleri sırasıyla 0.852 μm , 3.977 μm ve 9.792 μm olarak elde edilmiştir. Bu parametrelere göre malzemenin yaklaşık %40'ı ince ürün olarak sınıflandırılmıştır.

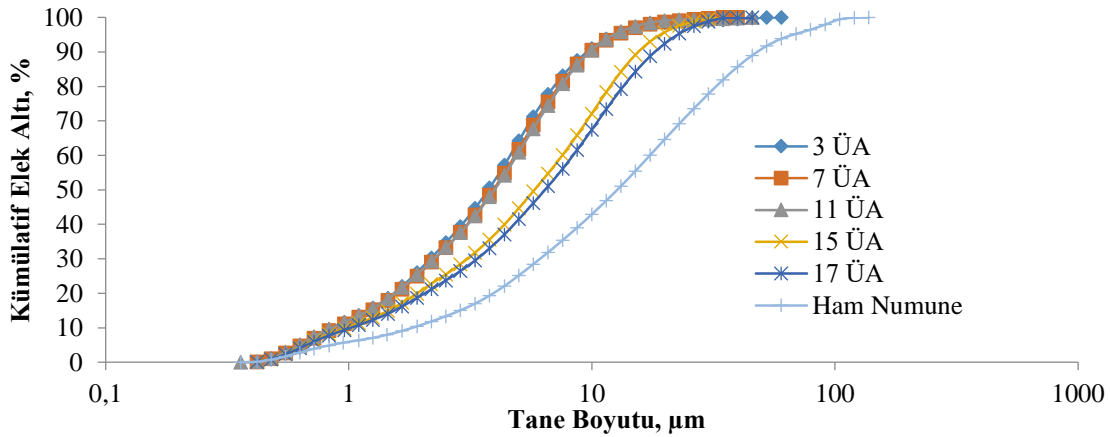
Elde edilen veriler ışığında ikinci grup deneyler için %20 katı/sıvı oranında hazırlanan numune 6.4 mm apex ve 14.3 mm vortex çapına ayarlanan hidrosiklona 0.5, 1, 1.5 ve 2 bar basınçlarında beslenmiştir. Elde edilen ürünlerin tane boyut dağılım eğrileri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. %20 Katı/Sıvı Oranına Göre Elde Edilen Ürünlerin Kümülatif Elek Altı Grafiği (6.4 mm Apex Çapı, 14.3 mm Vortex Çapı)

Şekil 7'de verilen sonuçlara göre en iyi çalışma koşullarına 1.5 bar besleme basıncında (deney 15) ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu şartlarda üst akım tane boyut dağılımı d_{10} , d_{50} , d_{90} değerleri sırasıyla 0.972 μm , 5.817 μm ve 15.538 μm olarak tespit edilmiştir. Bu parametrelere göre malzemenin yaklaşık %66'sı ince ürün olarak sınıflandırılmıştır. Üst akımdan alınan malzeme miktarının %40'tan %66'ya yükselmesinin sebebi vortex çapının artırılmasıdır. Vortex çapı büyüdükçe üst akım miktarı artarken apex çapı büyüdükünde alt akımdan alınan malzeme miktarı artar.

Elde edilen veriler ışığında üçüncü grup deneyler için %20 katı/sıvı oranında ana malzemedan hazırlanan numune, 4.5 mm apex ve 14.3 mm vortex çıkış çaplarında ayarlanmış hidrosiklona 1.5 bar basınç değerinde beslenmiştir (deney 17). Çalışma sonucunda, üst akım tane boyut dağılımı d_{10} , d_{50} , d_{90} değerleri sırasıyla 1.015 μm , 6.414 μm ve 18.134 μm olarak tespit edilmiştir. Bu parametrelere göre malzemenin yaklaşık %73'ü ince ürün olarak sınıflandırılmıştır. Bu deneyde de vortex çapı sabit tutulup apex çapı düşürüldüğü için üst akımdan alınan malzeme miktarı %66'dan %73'e kadar yükselmiştir. Çalışmaya ait sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. 1.5 Bar'da Elde Edilen Hidrosiklon Üst Akım Ürünlerinin Karşılaştırmalı Grafiği

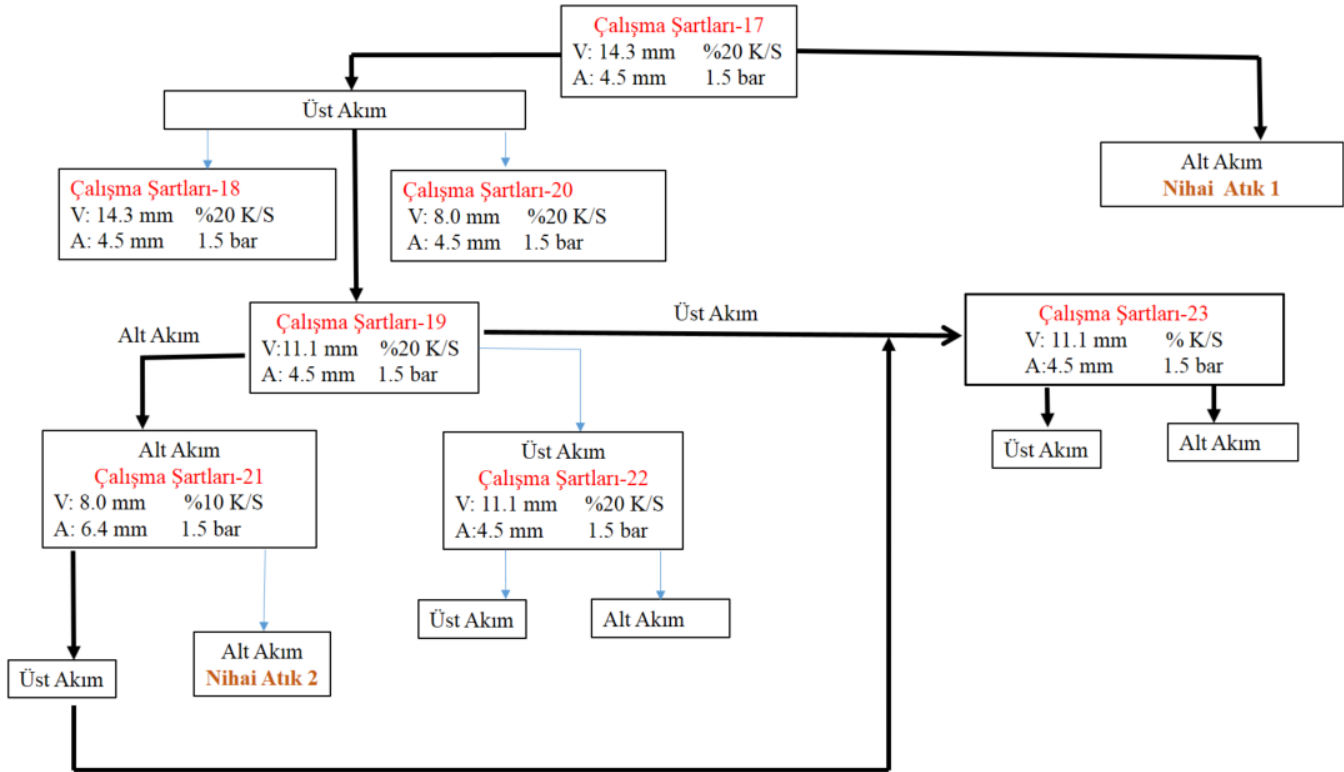
Elde edilen tane boyut dağılımı ile üst akım % ağırlık verileri değerlendirildiğinde çalışmaya ana malzemenin %20 katı/sıvı oranında hazırlanarak 4.5 mm apex ve 14.3 mm vortex çaplarında ayarlanan hidrosiklona 1.5 bar basınç değerinde beslenmesine karar verilmiştir (deney 17). Elde edilen hidrosiklon alt akımı Nihai Atık 1 olarak değerlendirilmiş, üst akım ürünü ise temizlenmeye tabi tutulan ön konsantre olarak nitelendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise elde edilen ön konsantrenin tekrar safsızlıklardan ve iri tanelerden temizlenerek zenginleştirilmesi ve tane boyutunun düşürülmesi hedeflenmiştir. Ön konsantrenin hidrosiklona beslenerek yapıldığı deneylerin çalışma parametreleri Tablo 3’de verilmiştir. Zenginleştirme çalışmaları ile elde edilen ürünlere ait akım şeması ise Şekil 9’da verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmanın İkinci Aşamasında Değerlendirilen Parametreler

Deney Kodu	%Katı/Sıvı Oranı	Apex Çapı, mm	Vortex Çapı, mm	Bar
18	20	4,5	14,3	1,5
19	20	4,5	11,1	1,5
20	20	4,5	8,0	1,5
21	10	6,4	8,0	1,5
22	20	4,5	11,1	1,5
23	-	4,5	11,1	1,5

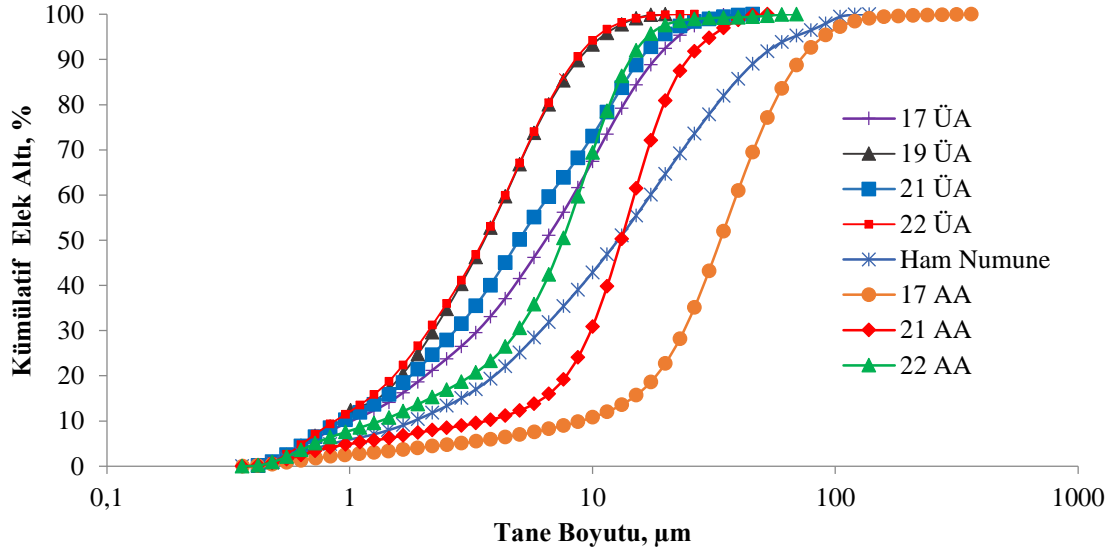
18, 19 ve 20 no’lu deney sonuçları incelendiğinde 19 no’lu deney parametrelerinin en uygun sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Bu şartlarda üst akım tane boyut dağılımı d_{10} , d_{50} , d_{90} değerleri sırasıyla 0.844 μm , 3.997 μm ve 10.471 μm olarak tespit edilmiştir. Bu parametreler ile ana malzemenin yaklaşık %48’i ince ürün olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 9. İkinci Grup Zenginleştirme Çalışmaları İle Elde Edilen Ürünlere Ait Akım Şeması

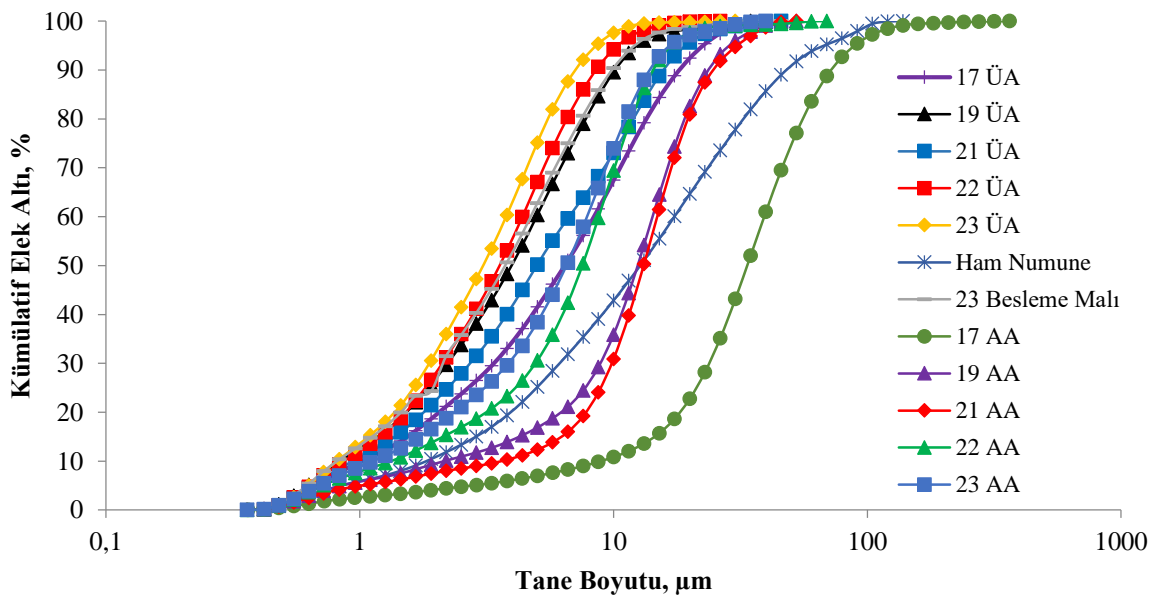
19 no’lu deney parametreleri ile gerçekleştirilen çalışmada alt akım 21 no’lu deney numunesi, üst akımı ise 22 no’lu deney numunesi olarak hazırlanmıştır. 21 no’lu deney numunesi %10 katı/sıvı oranında, 6.4 mm apex ve 8 mm vortex çaplarında hazırlanmış hidrosiklona 1.5 bar basınç değerinde beslenmiştir. Elde edilen alt akım Nihai Atık 2 olarak değerlendirilmiştir. Belirtilen şartlarda üst akım tane boyut dağılımı d_{10} , d_{50} , d_{90} değerleri sırasıyla 0.937 μm , 4.987 μm ve 15.729 μm olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma ile ana malzemenin yaklaşık %3’ü ince ürün olarak sınıflandırılmıştır. Temizleme sonrası elde edilen hidrosiklon ürünlerinin karşılaştırmalı grafiği Şekil 10’da verilmiştir. 22 no’lu çalışma elde edilen sonuçlar içerisinde fark yaratmadığından iptal edilmiştir.

Deney sonuçları değerlendirilerek 19 no'lu deneyin üst akımı ile 21 no'lu deneyin üst akımı birleştirilerek (ana malzemeye göre %51 oranındadır) 23 no'lu deney numunesi oluşturulmuştur. Çizelge 3'de verilen şartlarda tekrar hidrosiklonla beslenmiştir. Bu şartlarda 23 no'lu deney numunesinin tane boyut dağılımı d_{10} , d_{50} , d_{90} değerleri sırasıyla 0.815 μm , 3.744 μm ve 9.865 μm olarak tespit edilmiştir (Ürün 1). 23 no'lu deneyin gerçekleştirilmesi ile üst akım tane boyut dağılımı d_{10} , d_{50} , d_{90} değerleri sırasıyla 0.812 μm , 3.132 μm ve 7.302 μm olarak tespit edilmiştir. Bu parametrelere göre malzemenin yaklaşık %40'ı ince ürün (Ürün 2) olarak sınıflandırılmıştır. Alt akım tane boyut dağılımı d_{10} , d_{50} , d_{90} değerleri sırasıyla 1.144 μm , 6.583 μm ve 9.865 μm olarak tespit edilmiştir. Bu parametrelere göre malzemenin yaklaşık %11'i ince ürün (Ürün 3) olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 10. Temizleme Sonrası Elde Edilen Hidrosiklon Ürünlerinin Karşılaştırmalı Grafiği

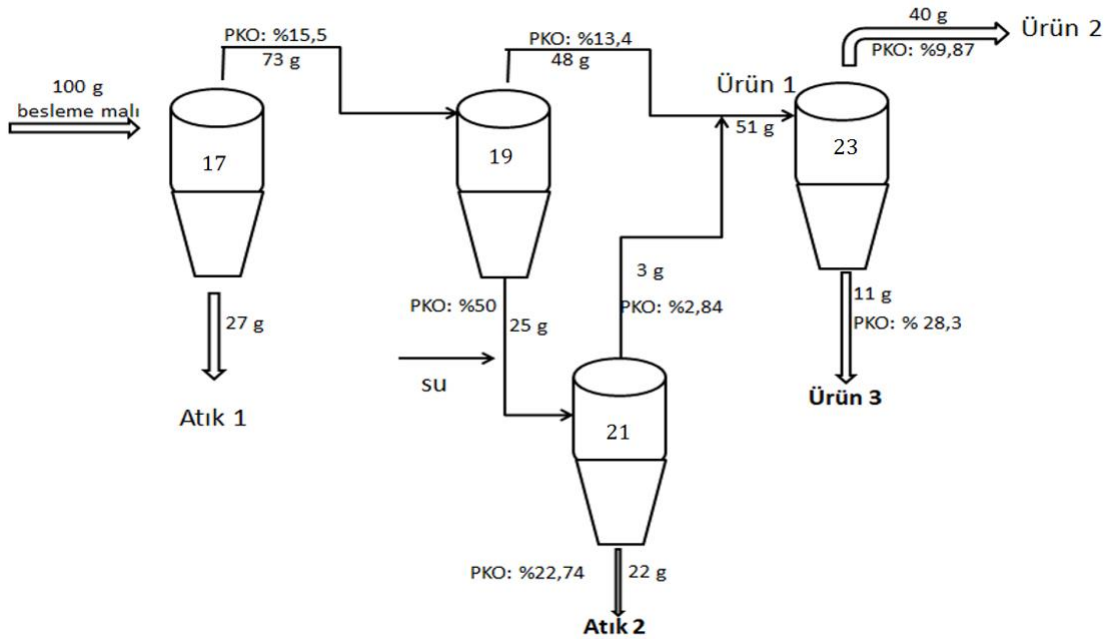
Şekil 11'de nihai zenginleştirme ile elde edilen hidrosiklon ürünlerinin karşılaştırmalı grafiği verilmiştir. Şekilden de incelenebileceği gibi en ince ürün 23 no'lu deneyin üst akım çıkışından alınmıştır. Tablo 4'de hidrosiklon ürünlerinin bazılarının kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ürünler arasında kimyasal içerik olarak belirgin bir fark olmadığı görülmüştür. Şekil 12'de elde edilen alt ve üst akım değerleri referans alınarak örnek bir materyal balans akışı verilmiştir.



Şekil 11. Nihai Zenginleştirme ile Elde Edilen Hidrosiklon Ürünlerinin Karşılaştırmalı Grafiği

Tablo 4. Ürünlerin Bazılarının Kimyasal Analiz Sonuçları

Analiz	Birim	17AA	21ÜA	21 AA	23 AA
SiO ₂	%	0,239	0,231	0,236	0,203
Fe ₂ O ₃	%	0,046	0,060	0,046	0,053
Al ₂ O ₃	%	0,149	0,114	0,122	0,081
CaO	%	52,566	51,827	52,993	52,394
MgO	%	2,526	2,955	2,272	2,690
SrO	%	0,025	0,028	0,029	0,028
SO ₃	%	0,032	0,042	0,023	0,042
K ₂ O	%	0,011	0,017	0,011	0,012
P ₂ O ₅	%	0,029	0,054	0,020	0,037
Cl	%	-	0,024	0,015	-
Na ₂ O	%	-	-	-	0,082
Kızdırma Kaybı	%	44,377	44,648	44,231	44,380

**Şekil 12.** Zenginleştirme Çalışmaları Sonucu Elde Edilen Ürünlere Ait Örnek Bir Materyal Balansı Akım Şeması

TARTIŞMA VE SONUÇ

Doğaltaş işleme fabrikalarında çeşitli boyut ve ebatta ürünler üretilirken ortaya çıkan ince boyuttaki doğaltaş tozlarından hidrosiklon kullanılarak çok ince tane boyutlu (10 µm altı) kalsiyum karbonat kazanılmaya çalışılmıştır. Çalışmaya konu olan malzemenin tamamının 138 µm tane boyutu altında kaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada atık malzemeden safsızlıkların ve iri tanelerin uzaklaştırılması hedeflenerek hammaddeyi geliştirmek amaçlanmıştır. Hidrosiklon çalışması ile elde edilen ürünler incelendiğinde, kimyasal içerikte ana malzemeye göre belirgin bir fark olmadığı lakin tane sınıflandırması açısından cihazın etkin bir şekilde çalıştığı, beklenen performansı gösterdiği belirlenmiştir.

Karakterizasyon çalışmaları ile doğaltaş atık numunesinin %94.10 CaCO₃, 23 mL/100g yağ absorplama kapasitesi, %93.86 beyazlık, %80.60 parlaklık, piknometre ile 2.5-2.7 g/cm³ yoğunluk değerlerine sahip olduğu saptanmıştır (Sayın ve Aksoy, 2012). Besleme malı tane boyu dağılımı d₁₀, d₅₀, d₉₀ değerleri ise sırasıyla 1.674 µm, 11.524 µm, 48.524 µm olarak analiz edilmiştir.

Hidrosiklon çalışması ile elde edilen ürünler değerlendirildiğinde kızdırma kaybının ortalama %44, beyazlık (L) değerinin %96.80, parlaklık (Z) değerinin %86.72, CaCO₃ oranının yaklaşık %94, yağ absorplama kapasitesinin 26.01 ml/100g ve 2.5-2.7 g/cm³ yoğunluk değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ana malzemenin %51'i 10 µm altında kalmıştır ve Ürün 1 olarak isimlendirilmiştir. Ürün 1'in tane boyut dağılımı d₁₀, d₅₀, d₉₀ değerleri sırasıyla 0.815 µm, 3.744 µm ve 9.865 µm olduğu, Ürün 1 ile çalışılması sonucu oluşan Ürün 2'nin tane boyut dağılımı değerleri sırasıyla ise 0.812 µm, 3.132 µm ve 7.302 µm olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma parametrelerine göre

malzemenin yaklaşık %40'ı Ürün 2'de yer almaktadır. Ürün 1 ile çalışılması sonucu elde edilen Ürün 3'ün tane boyut dağılımı d_{10} , d_{50} , d_{90} değerleri sırasıyla 1,144 μm , 6.583 μm ve 9.865 μm olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre malzemenin yaklaşık %11'i Ürün 3'de sınıflandırılmıştır.

Kesim esnasında ürünlerin renk olarak sürekliliğinin sağlanması kağıt gibi bazı uygulama alanlarında sorun teşkil edebilir. Ancak Türkiye'de fiyatının 100-200 TL/ton arasında olduğu bilinen CaCO_3 'ün öğütülüp belirli fiziksel özellikler kazandırıldıktan sonraki fiyatları Nisan-Mayıs-Haziran 2022 verilerine göre tane boyutu bazında incelenmiştir. 50-22 mikron arası 30-35 \$/s.ton, 22-10 mikron arası 65-120 \$/s.ton, 3 mikron altının ise 195-220 \$/s.ton olduğu bilinmektedir. Böylece, basit bir üretim planlaması, günümüz teknolojisi ve pülün taşınacağı boru hatları ile aşılamayacak bir sorun olmadığı anlaşılmaktadır (Anonim, 2022).

Sonuç olarak, ürün geliştirme ve atık miktarının azaltılmasına yönelik yapılan bu çalışmada, numunenin alındığı tesis bazında genelleme yapıldığında; doğaltaş ürünleri üretimi esnasında %16.5 neme sahip, %99'a yakın bir kısmı 100 μm tane boyutu altında kalan, günlük yaklaşık 150 ton ince atık oluşmaktadır. Parça cevher olarak kalsiti ocaktan alıp 100 mikron tane boyutu altına getirdiğimiz süreçteki maliyetler ile ince doğaltaş atıklarının maliyetini karşılaştırdığımızda tesis ince atıklarının ve çalışmanın önemi dikkat çekici olmaktadır. Hâlihazırda atık içerisindeki ince boyutlu kalsit hidrosiklon vasıtasıyla iri ve yoğun partiküllerden ayrılarak kullanım alanı bulabilmektedir ve katma değeri olan ürünlere dönüştürülebilmektedir. Kullanım alanı oluşturularak atık miktarının azaltılması hususunun çevre koruma açısından da oldukça değerli olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 17.MUH.ALTY.05 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Anonim, (2022). Metal - Maden Fiyatları, Madencilik Bülteni, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, <http://www.maden.org.tr>, 16.12.2022, Nisan Mayıs Haziran 2022, Sayı 141, Ankara, (s.58-59).
- Bilensoy, M. (2010). Mermer Fabrikaları Toz Atıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 69s.
- Bilgin, N., Yeprem, H. A., Arslan, S., Bilgin, A., Günay, E. & Marşoğlu, M. (2012). *Construction and Building Materials*, 29, (s. 449–457).
- Ceylan, H. (2000). Mermer Fabrikalarındaki Toz Mermer Artıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, S. D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 43s.
- Currie, J.M. (1973). *Classification, Unit Operations In Mineral Processing*. Columbia.
- Emrullahoğlu Ö.F. (1985) Cevher Hazırlamada Koyulaştırma, Klasifikasyon, Kömür Hazırlama ve Çözümlü Problemler Anadolu Üniversitesi M.M.F. 28, Eskişehir.
- Ersoy B., Sayın Z.E., Sayın Ü. ve Arsoy Z. (2015). Yeterince Farkında Olmadığımız Atıl Kaynağımız: Doğaltaş Ocak ve Fabrika Atıkları. *Maden Ocak Teknolojileri* (27), (s. 92-100).
- Karakaş, F. ve Çelik, M. Y. (2012, Aralık). İri Kristalli Mermer Artıklarının Su Bazlı Boyalarda Dolgu Maddesi Olarak Kullanımı, Türkiye 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, Afyonkarahisar, (s. 111-119).
- Kavas, T. ve Kibici, Y. (2001, Mayıs). Afyon bölgesi mermer atıklarının portland kompoze çimentosu üretiminde katkı maddesi olarak kullanım olanakları, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu, Afyonkarahisar, (s. 327-355).
- Kılıç, H. (2010). Mermer atıklarının otomotiv fren balata üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 95 s.
- Sayın Z. E. ve Aksoy, U. (2012). Mermer Toz Artıkları Özelliklerinin İyileştirilmesine Falcon Gravite Konsantratörün Etkisi, *Madencilik, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi*, 4(51) Ankara (s.23-29).
- Şahin, N. (2008). Kalsit hakkında bazı bilgiler, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Bülteni, 2, (s.48-51).

Yeşilkaya, L., Çetin, O., Abi, E. ve Ersoy, M. (2010). Korkuteli Bej Mermer Tozunun Tuğla Yapımında Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Türkiye 7. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, Afyonkarahisar, (s. 323-330).

Yıldız N. (2010). Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme, Ankara: ERTEM Basım Yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. (s. 293-412).