



KARIŞTIRMALI BİLYALI DEĞİRMENDE BİYO-DOLGU MALZEMESİ ÜRETİMİNDE ÖĞÜTME YARDIMCILARININ ETKİSİ

¹Diler KATIRCIOĞLU BAYEL , ²Esmatullah WAHİB TOGHAN 

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde, TÜRKİYE
¹dkatircioglu@ohu.edu.tr, ²toghan1993@gmail.com

(Geliş/Received: 29.04.2021; Kabul/Accepted in Revised Form: 30.12.2021)

ÖZ: Bu çalışma ile öğütme yardımcılarının tür ve dozajının öğütme verimi üzerine etkileri incelenmiş olup aynı zamanda atıkların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin verimli kullanım yoluyla azaltılması planlanmıştır. Yapılan kuru öğütme deneylerinde üç farklı gruptan altı tane öğütme yardımcısının, beş farklı dozajının (ağırlıkça, %0, %0,25, %0,5, %1 ve %2) ürün üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan bu çalışma ile farklı gruplarda yer alan öğütme yardımcısı cins ve miktarının ürün boyutu (d_{80}), boyut dağılımı ve sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma, doğal kaynakların tükenmesini önlemek, atıkların değerli ve kullanılabilir ürüne dönüştürülmesi konusuna umut verici nitelikte bir çalışma olup aynı zamanda kullanılan öğütme yardımcılarını ile öğütme performansı üzerinde önemli iyileşmelerin sağlandığı görülmüştür. Uygun dozajlarda öğütme yardımcısı kullanılarak yapılan deneylerde, öğütme yardımcısız yapılan deneylere nazaran ürün boyutu, sıcaklık ve boyut dağılımı açısından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karıştırmalı bilyalı değirmen, Kuru öğütme, Geri dönüşüm, Yumurta kabuğu, Öğütme yardımcıları

The Effect of Grinding Aids in the Production of Bio-Filling Material in Stirred Media Mill

ABSTRACT: With this study, the effects of the type and dosage of grinding were examined on grinding efficiency and at the same time the negative effects of waste on the environment are planned to reduce the through efficient use. In the dry grinding experiments carried out within the scope of the study, five different dosages of six grinding aids from three different groups (by weight, 0%, 0.25%, 0.5%, 1% and 2%) effect on the product has been investigated. With this study, the effect of grinding aid type and amount in different groups on product size (d_{80}), particle size distribution and temperature ($^{\circ}\text{C}$) was investigated. This study is a promising study on the issue of preventing the depletion of natural resources and transforming waste into valuable and usable products and at the same time, it has been observed that significant improvements have been achieved on the grinding performance with the grinding aids used. In the experiments using grinding aid at appropriate dosages, better results were obtained in terms of product size, temperature, and particle size distribution with the product compared to the experiments without grinding aid.

Keywords: Stirred media mill, Dry grinding, Recycling, Eggshell, Grinding aids

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde gelişen teknoloji, endüstriden kaynaklanan rekabet ve yeryüzündeki kaynakların hızlı tüketilmesinin sonucu olarak alternatif malzemelere yönelme ihtiyacı gün geçtikçe daha da artmaktadır.

Her ülke genelinde binlerce çevre kirletici maddeler ve gıda atığı vardır. Bu atıklardan biri de yumurta kabuğudur. Yumurta kabuğu atıkları, toksik sızıntı, sera gazı emisyonu, hava kirliliği, toprak ve kaynak suyu kirliliği gibi çevre sağlığını etkileyecek sorunlara yol açabilmektedir. Yumurta zarının içinde bulunan yüksek miktarda protein zaman geçince çürüyerek zehirli hale gelmekte ve çevreye kötü kokular yaymaktadır. İnsan sağlığını tehdit eden bu atıkların bertaraf konusu araştırılması ve değerlendirilmesi gereken bir durum haline gelmiştir (Güneş, 2019).

En yaygın kullanılan inorganik dolgu maddelerinden biri kalsiyum karbonattır (CaCO_3). Bunun nedeni, düşük maliyeti, polimerik bir matristeki sertlik ve iyi parçacık dispersiyonu gibi mekanik özellikleri iyileştirmede sağladığı yüksek kapasitesidir. Doğal kaynakların tükenmesini önlemek, atıkların değerli ve kullanılabilir ürüne dönüştürülmesi konusu üzerinde çalışılması gereken önemli bir konudur. Yumurta kabuğu içindeki birincil mineral içeriği kalsiyum karbonat olup çok fazla miktarda tüketim nedeniyle ciddi bir katı atık sorunu haline gelmiştir. Dünyada hızla gelişen sanayileşme süreci bireyleri daha çok tüketime yönlendirmiş, bunun sonucu olarak da üretilen atık miktarı çok hızlı bir şekilde artmıştır. Bu atığı, geleneksel kalsiyum karbonata benzer bir bileşime sahip olduğu için biyo-dolgu maddesi olarak kullanmak mümkündür. Dolgu malzemesi kullanılması, ürünün fiyatını düşürürken öte yandan da kompozit malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini artırmaktadır (Adal, 2018).

Ticari kalitede yumurta kabukları yaklaşık 2,2 g kalsiyum karbonat formunda kalsiyum içerir. Yumurta kabuğunun kalınlığı 300-350 mikrometredir. Kurutulmuş bir yumurta kabuğunun ağırlığı 5-6 g'dır ve yumurtaların dış kabuğu, bir yumurtanın toplam ağırlığının %9-11'ini oluşturmaktadır. Ortalama bir yumurta kabuğu yaklaşık %94-97 kalsiyum karbonat, % 0,3 fosfor, sodyum ve magnezyum ile düşük miktarda potasyum, çinko, manganez, demir, bakır silika, molibden içerir. Çeşitli faktörler, yumurta kabuğu fonksiyonunun genel kalitesini etkileyebilir.

İnsanların faydalanması için yumurta kabuğu iyi bir kalsiyum kaynağıdır. Yumurta kabuğunun yapısı kemik ve dişlerin yapısına benzer olduğu için, vücut tarafından büyük ölçüde kolayca emilmektedir (Karagöz, 2011). Yumurta kabuklarının doğa kirliliği üzerindeki etkisini azaltmak için çeşitli çözümler geliştirilmiştir. Genellikle yumurta kabukları toz halinde kullanılır, toz haline getirilen bu kabuklar doğal bir kalsiyum kaynağıdır. Günümüzde yumurta kabukları, çeşitli sektörlerde katkı maddesi veya hammadde olarak kullanılmaktadır. Tıp ve kozmetik sektörleri yumurta kabuğunun kullanıldığı endüstrilerin başında gelir. Yumurta kabuğu tozu kemik kusurlarında ve kemik güçlendirme süreçlerinde katkı maddesi olarak tercih edilmektedir. Hayvan yemi için de bir katkı maddesi olarak kullanılan yumurta kabuğu ayrıca yüksek kalsiyum, magnezyum ve fosfor içerikli gübre olarak da kullanılabilir (Yoo ve Shieh, 2009; Mohammadi ve diğ., 2014). Kılı ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada yumurta kabuklarından elde edilen kâğıtların kullanılan diğer kâğıtlara göre fiziksel ve optik özellikler bakımından daha dayanıklı ve daha uygun olduğunu tespit etmişlerdir. Kâğıt üretiminde kalsiyum karbonat yerine yumurta kabuğu kullanımı ülke ekonomimize 20 milyon liralık bir gelir sağlayacaktır. Wei ve diğ. (2009) biyodizel üretimi için sert katalizörler hakkında çalışma yapmış, düşük maliyetli katalizör olarak ise yumurta kabuğu kullanılmıştır. Yapılan bu çalışma ile biyodizel üretmek için yumurta kabuğu kullanımının biyodizelin geri dönüşümündeki mali ve çevresel etkiyi önemli ölçüde azaltacağını tespit etmişlerdir. Senthil ve Raj (2015) çalışmalarında yumurta kabuğu polimer kompozitlerinin mekanik özellikleri ve su emme özelliklerini araştırmışlardır. Polyester reçinelerin kalsiyum karbonat ve yumurta kabuğu tozuyla iyi bir kompozit yapısı oluşturduğunu gözlemlemişlerdir.

Boyut küçültme işlemleri, öğütme ortamının kimyasal ve fiziksel şartlarından oldukça fazla etkilenmektedir (Katircioglu-Bayel, 2016; Katircioglu-Bayel, 2019). Kuru öğütmede en sık karşılaşılan sorun ince tanelerin sebep olduğu yavaşlama etkisidir. Öğütme süresi ilerledikçe yaşanan yavaşlama etkisinin nedeni öğütülen tanelerin yüzey alanı arttıkça, moleküller arası Van der Waals ve bölgesel kuvvetlerin taneler arası etkileşimleri arttırması ve akış özelliklerinin değişmesine yol açmasıdır. Bunun sonucunda ise değirmen içinde etkili bir karıştırma işlemi gerçekleştirilememekte ve topaklanan tanelerin yastıklama etkisiyle, öğütülen malzeme öğütücü ortamla yeterince temas edememektedir. (Austin ve diğ., 1984; El-shall ve Somasundaran, 1984; Orumwense ve Forsberg, 1992). Literatürde yapılan çalışmalar topaklanmanın istenmeyen sonucu ile yaşanan bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak ya da en azından

azaltmak için ya çok ince boyutta olan tanelerin sistemden uzaklaştırılması, ya da uygun öğütme yardımcılarının kullanılması gerekliliğini işaret etmektedir. Öğütme işleminde bazı kimyasalların kullanılmasının, malzemenin fiziksel kırılması üzerinde yaratacağı pozitif etkiler oldukça önemlidir. Öğütme yardımcıları tanelerin yüzeylerine kimyasal olarak tutunarak taneler arasında meydana gelen adhezyon kuvvetinin ortadan kaldırılmasına yardımcı olur (Fuerstenau, 1995). Enerji tüketiminin çok fazla olduğu öğütme işlemlerinde yapılacak çok küçük de olsa iyileştirmeler, büyük ekonomik yararlar sağlayacaktır.

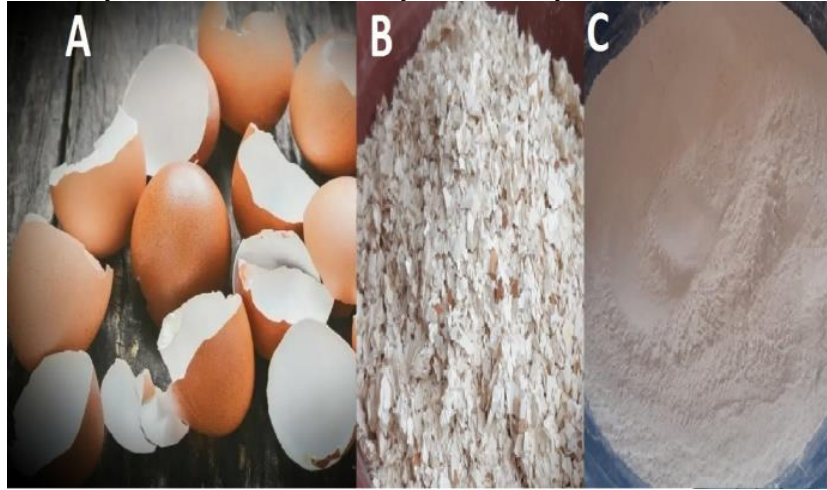
Şimdiye kadar yapılan araştırmalarda biyo-dolgu malzemesi üretiminde farklı gruptan öğütme yardımcılarının değirmen içi sıcaklık ve ürün boyutu üzerinde yarattığı etki incelenmemiş olup, bu çalışma ile literatürdeki boşluğun doldurulması amaçlanmıştır. Ayrıca, doğal kaynakların tükenmesini önlemek, atıkların değerli ve kullanılabilir ürüne dönüştürülmesi konusuna umut verici nitelikte bir çalışma olup aynı zamanda kullanılan öğütme yardımcıları ile öğütme performansı üzerinde önemli iyileşmelerin sağlandığı görülmüştür.

Uygun dozajda öğütme yardımcısı kullanılarak yapılan deneylerde, öğütme yardımcısız yapılan deneylere nazaran ürün boyutu (d_{80}), sıcaklık ve dağılım genişliği açısından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Materyal (Material)

Deneylerde kullanılan yumurta kabuğu (Şekil 1), çeşitli gıda endüstrileri ve restoranlardan temin edilerek kalıntılardan uzaklaştırmak için ön yıkama işlemi yapıldıktan sonra %4'lük NaOH çözeltisinde 24 saat bekletilerek kalıntılarından uzaklaştırılmıştır. Daha sonra kalıntılarından arındırılan yumurta kabuğu etüvde 12 saat boyunca %1-3 rutubet düzeyine ulaşınca kadar 103 ± 2 C° de kurutulmuştur.



Şekil 1. Yıkılmış yumurta kabuğu görünüşü (A); öğütülmeye hazır yumurta kabuğu (B); toz haline gelmiş yumurta kabuğu (C)

Figure 1. Washed eggshell appearance (A); ready-to-grind eggshell (B); powdered eggshell (C)

Yumurta kabuğu örneğinin, XRF cihazı ile tespit edilen kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Piknometre cihazı ile yapılan yoğunluk tayinleri sonucunda yumurta kabuğu tozlarının yoğunluğu 2540 kg/m³ olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan yumurta kabuğu tozlarının kimyasal özellikleri (%)

<i>Table 1. Chemical properties of eggshell powders used in experimental studies (%)</i>							
K ₂ O	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	A.Z (1050 C°)
0,043	0,521	51,7	0,011	0,5	0,216	0,091	46,9

Metot (Method)

Bu çalışmada ilk olarak numunelere laboratuvar ölçekli bilyalı değirmende iri öğütme deneyleri yapılmış olup numunelerin kırılma karakteristikleri üzerinde farklı gruplardaki öğütme yardımcılarının etkilerinin tespit edilmesi için dikey karıştırmalı bilyalı değirmende deneyler gerçekleştirilmiştir.

Laboratuvar ölçekli bilyalı değirmen, 20×20 cm iç ölçülere ve 6283 cm³ hacime sahip olup paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Hızı bir devir sayacı ile teçhiz edilmiş olup 60 d/dk' da sabit olarak çalıştırılmıştır. Değirmen, 0.37 kW'lık değişken hızla çalışan bir motora sahip olup, öğütme ortamı olarak 7,65 g/cm³ yoğunluğa ve dört farklı çapa (40×40- 32×32- 20×20- 12×12 mm) sahip paslanmaz çelik silpeps bilyalar kullanılmıştır. Deney şartlarının özeti Çizelge 2'de verilmiştir. Şekilleri ve geometrileri nedeniyle, silpepslerin aynı kütle ve boyuttaki bilyalarla karşılaştırıldığında daha büyük yüzey alanı ve daha yüksek yığın yoğunluğu gibi bazı avantajları vardır.

Çizelge 2. Laboratuvar ölçekli bilyalı değirmende deney şartlarının özeti*Table 2. Summary of test conditions in a laboratory scale ball mill*

Parametreler	Deney şartları
Bilya doluluk oranı, (J)	35
Katı oranı, (fc)	0,125
Boşluk doldurma oranı, (U)	1
Öğütme süresi, dk	20
Öğütme hızı, d/dk (% Nk)	60
Bilya boyut dağılımı	40 mm (%10) 32 mm (%10) 20 mm (%40) 12 mm (%40)
Öğütme yardımcısı (%)	0

Laboratuvar ölçekli bilyalı değirmende iri öğütme deneylerinde bilya doluluk oranı, malzeme yükü ve boşluk doldurma oranı aşağıdaki denklemler ile hesaplanmıştır (Austin ve diğ., 1984).

$$J = \frac{\text{Bilya Miktarı} / \text{Bilya yoğunluğu}}{\text{Değirmen hacmi}} \times \frac{1}{0,64} \quad (1)$$

$$fc = \frac{\text{Malzeme miktarı} / \text{Malzeme yoğunluğu}}{\text{Değirmen hacmi}} \times \frac{1}{0,64} \quad (2)$$

$$Nk = 42,3 / \sqrt{(D - d)} \quad (3)$$

$$U = \frac{fc}{0,36 J} \quad (4)$$

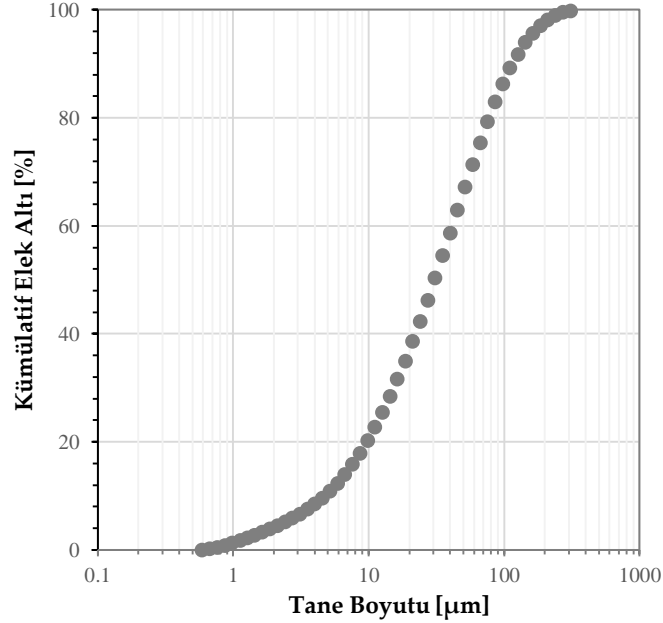
J: Bilya doluluk oranı (bilya yükü)

fc: Malzeme yükü

U: Boşluk doldurma oranı

Nk: Kritik hız

İri boyutta öğütülen yumurta kabuğu tozlarının tane boyut analizi, Malvern Mastersizer 3000 MU Model cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). d_{80} boyutu: 78 μm ve d_{50} boyutu: 30,8 μm olarak belirlenmiştir. Elde edilen mikron altı boyuttaki numuneler örnek bölücü yardımıyla deneylerde kullanılacak miktarlara azaltılmıştır.



Şekil 2. Deneysel yumurta kabuğu tozlarının tane boyut dağılımı

Figure 2. Particle size distribution of eggshell powders used in the experiments

Bu çalışmada mikronize öğütme işlemleri Union Process (USA) tarafından üretilen Standart-01 model dikey pinli karıştırmalı değirmende gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Değirmende öğütücü ortamı karıştırmak için dikey bir şaft ve bu şaft üzerine monte edilmiş 4 adet karıştırma kolu vardır. Şaft 0,25 HP gücünde bir motora bağlı olup, şaftın dönme hızı 100-600 d/dk arasında değiştirilebilmektedir. Soğutma amacıyla, öğütme tankı ayrıca bir su ceketini ile donatılmıştır.

Şaft, öğütme tankı içine yerleştirildikten sonra istenilen oranda bilya ve malzeme tanka ilave edilmiş ve değirmen istenilen hızda çalıştırılarak öğütme süresi başlatılmıştır. Deneysel, 5 mm ve 2 mm boyutlarda yüksek yoğunluklu (6000 kg/m^3) ve dayanımı yüksek yttria stabilizeli zirkonyum oksit bilyalar kullanılmıştır. Çizelge 3'te karıştırmalı bilyalı değirmende öğütmede kullanılan deney koşulları verilmiştir.

Değirmenin sıcaklığı soğutma sistemi kullanılarak $25 \pm 1 \text{ C}^\circ$ 'ye ayarlanmıştır. Öğütme sırasında ortaya çıkan ısı, soğutma suyunun öğütme tankının dış çeperi boyunca dolaştırılmasıyla ortadan kaldırılmıştır. Değirmen istenilen hıza geldiğinde üç farklı gruptan altı tane öğütme yardımcısının, beş farklı dozajının (ağırlıkça, %0, %0,25, %0,5, %1 ve %2) ürün üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çizelge 4'de öğütme deneylerinde kullanılan öğütme yardımcısı ve özellikleri verilmiştir. Öğütme deneyleri kesikli şekilde yürütülmüş olup her deneyin sonunda malzeme ve bilyalar tanktan dışarıya boşaltılmış, elek yardımıyla öğünmüş malzeme ile bilyaların birbirinden ayrılması sağlanmıştır.



Şekil 3. Karıştırılmalı bilyalı değirmen ve tankın görünüşü

Figure 3. View of stirred ball mill and tank

Çizelge 3. Karıştırılmalı bilyalı değirmende deney şartlarının özeti

Table 3. Summary of test conditions in stirred ball mill

Parametreler	Deney şartları
Bilya doluluk oranı, (J)	70
Katı oranı, (fc)	0,14
Öğütme süresi, dk	75
Öğütme hızı, d/dk	600
Bilya boyut dağılımı	3 mm (%50) ve 5 mm (%50)

Denklem 5, bilya doluluk oranını (J) hesaplamak için kullanılmaktadır. Sözü geçen bu denklem kapsamında, hacmin 0,4'ü porozite olarak düşünülerek öğütücü ortamın tank içine ne kadar doldurulduğu açıklanır.

$$J = \frac{\text{Bilya miktarı/Bilya yoğunluğu}}{\text{Değirmen hacmi}} \times \frac{1}{0,6} \quad (5)$$

Aynı şekilde, katı oranı (fc) ile doldurulmuş değirmen hacminin oranı Denklem 6 ile açıklanmaktadır.

$$fc = \frac{\text{Malzeme miktarı/Malzeme yoğunluğu}}{\text{Değirmen hacmi}} \times \frac{1}{0,6} \quad (6)$$

Çizelge 4. Öğütme deneylerinde kullanılan öğütme yardımcıları ve özellikleri*Table 4. Grinding aids used in grinding tests and their properties*

Öğütme yardımcı sınıfı	İsim	Molekül formülü	Safılık [%]	Molekül ağırlığı [gr/mol]
Aminler	Trietanolamin (TEA)	C ₆ H ₁₅ NO ₃	>99,0	149,19
	Etanolamin (EA)	C ₉ H ₂₁ NO ₃	>95,0	191,27
Alkoller	Etanol (EtOH)	C ₂ H ₅ OH	>96,0	46,07
	Metanol (MetOH)	CH ₃ OH	>99,0	32,04
Karboksilik asitler	<i>n</i> -Heptanoik asit (HepAc)	C ₇ H ₁₄ O ₂	>96,0	130,18
	<i>n</i> -Undekanoik asit (UndecAc)	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	>97,0	186,30

Deneylerde tank içi sıcaklığı ölçmek için ölçüm aralığı (-50 C° ile +300 C°) DIGITAL termometre cihazı kullanılmıştır. Her deney bittikten sonra bu cihaz dik şekilde tank içine daldırılıp yaklaşık 2 dk içinde durdurularak sıcaklık ölçülmüştür.

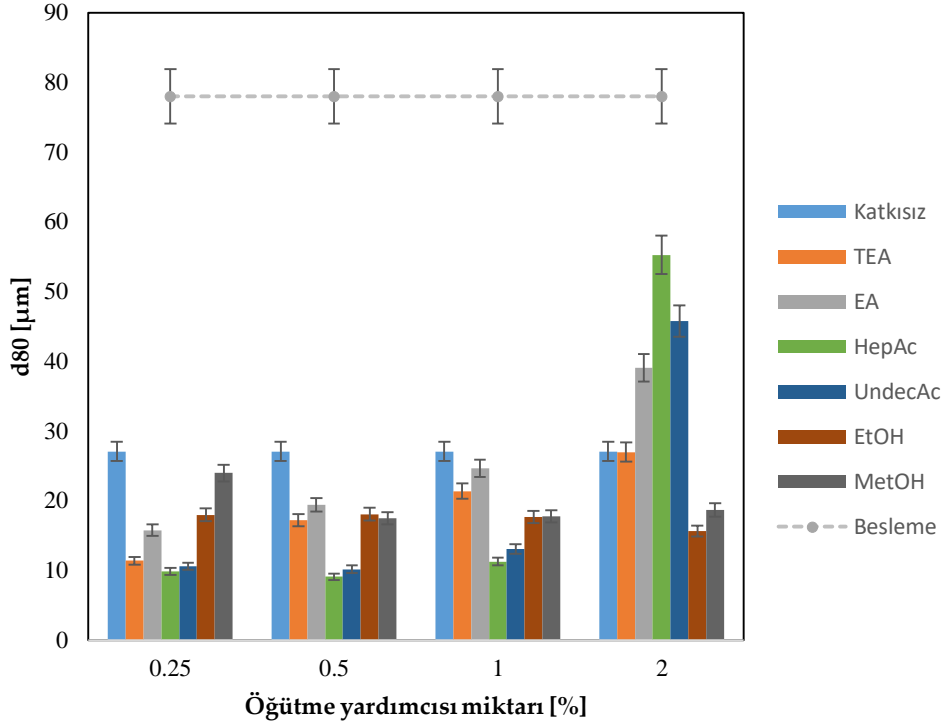
Öğütme deneyleri sonucunda öğünmüş malzemeler standart numune azaltma yöntemlerine göre azaltılarak, tane boyut analizi Lazer Difraktometre yöntemiyle yaş çalışan tane boyutu ölçüm cihazı (Malvern Mastersizer Hydro 3000 MU-Malvern Co., Ltd., UK) ile ortalama tane boyut değerleri tespit edilmiştir. Her öğütme deneyi sonunda, ürünler örnek bölme kurallarına göre azaltılmıştır, azaltılan iki ayrı örnek alınıp, her biri ayrı ayrı analize tabi tutulmuştur. Ölçümler sonunda her bir deney için elde edilen analizlerin ortalamaları not alınarak sonuçların değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Öğütme Yardımcısı Cins ve Miktarının d_{80} Boyutu Üzerine Etkisi (The Effect of Grinding Aid Type and Amount on d_{80} Size)

Üç farklı gruptan altı farklı öğütme yardımcıının d_{80} boyutu üzerine etkisi Şekil 4’de verilmiştir. Deneylere ait sonuçlar incelendiğinde amin grubu ile yapılan çalışmalarda %0,25 dozajdan sonra öğütme yardımcıının miktarı arttıkça d_{80} boyutlarının arttığı gözlemlenmektedir. Öğütme yardımcıının gerekli olan dozajdan fazla kullanılmasıyla tane boyutunda artmalar gözlenilebilmektedir. Bu olaya ince parçacıkların re-aglomerasyonu olarak bilinen “negatif öğütme” denilmektedir (Hasegawa ve diğ., 2001). Amin grubunda özellikle TEA kullanımı ile d_{80} boyutu açısından EA’ya göre en fazla iyileşirmenin sağlandığı gözükmektedir. Alkol grubunda ise en fazla iyileşme %2 oranında EtOH kullanımıyla sağlanmıştır.

Öğütme yardımcıları uygun dozajlarda kullanıldığında ürün boyutu kısa sürede azalmaktadır (Choi ve Choi, 2003). Deneylere ait sonuçlar incelendiğinde d_{80} boyutunda en fazla iyileşmenin 9,12 μ m boyut ile %0,5 HepAc tarafından sağlandığı gözükmektedir.



Şekil 4. Öğütme yardımcısı cinsi ve miktarının d_{80} boyutu üzerine etkisi

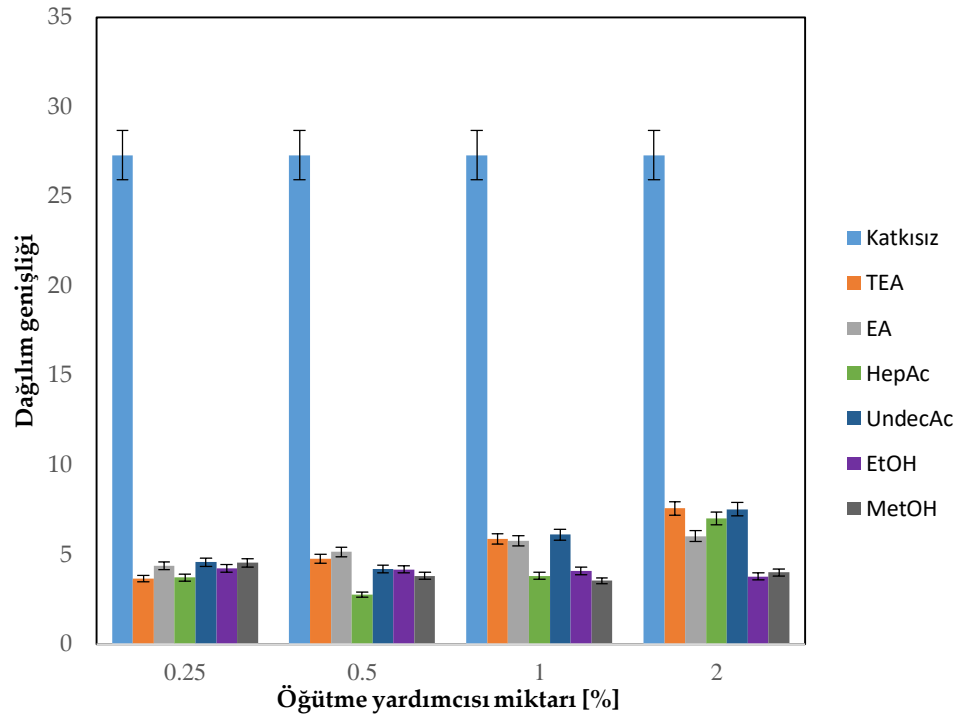
Figure 4. The effect of grinding aid type and amount on d_{80} size

Öğütme Yardımcısı Cins ve Miktarının Dağılım Genişliği Üzerine Etkisi (The Effect of Grinding Aid Type and Amount on the Width of Distribution)

Şekil 5’de üç farklı gruptan altı tane öğütme yardımcısının farklı dozajlarının dağılım genişliği üzerine etkisi gösterilmiştir. Boyut dağılımını tanımlamada birçok farklı metot kullanılmıştır. Kotake ve diğ. (2011) tarafından dağılım genişliği Denklem 7 ile açıklanmıştır.

$$\text{Dağılım genişliği} = \frac{d_{90} - d_{10}}{d_{50}} \quad (7)$$

Bütün öğütme yardımcılarında, öğütme yardımcısız yapılan deneye göre dağılım genişliği değerlerinin düşme trendi sergilediği gözükmemektedir. Bunun nedeni, öğütme yardımcılarının dağıtıcı etkisi ile ince tanelerin bilyalar üzerinde birikmesini önler ve böylece bilyalar da her bir taneye mekanik etkilerini daha iyi aktarırlar. En dar boyut dağılımı %0,5 HepAc ile sağlanmıştır. Paramasivam ve Vedaraman (1992) alkoller, organik solventler, inorganik sıvılardan oluşan on dört adet öğütme yardımcısının kalsitin kuru öğütülmesi üzerine etkilerini incelenmiş, ürün inceliğinin arttığı ve topaklanmanın azaldığını tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise talkın öğütülmesinde polimerik ve organik iki farklı öğütme yardımcısının etkisi incelenmiş ve ürün inceliğinin arttığı gözlenmiştir (Katircioğlu-Bayel, 2018). Literatürde bu konuda yapılan çalışmalar ile birlikte bu çalışmanın sonuçlarının da uyumlu olduğu görülmektedir.



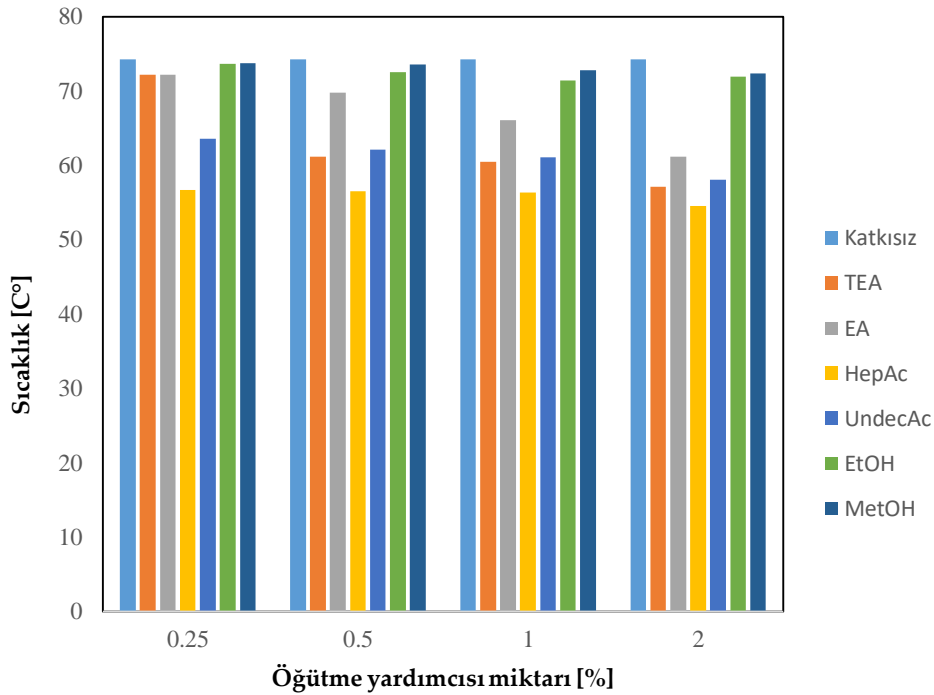
Şekil 5. Öğütme yardımcısı cinsi ve miktarının dağılım genişliği üzerine etkisi

Figure 5. The effect of grinding aid type and amount on the width of distribution

Öğütme Yardımcısı Cins ve Miktarının Sıcaklık Üzerine Etkisi (The Effect of Grinding Aid Type and Amount on Temperature)

Şekil 6 öğütme yardımcısı cinsi ve miktarının değirmenin öğütme sonrası tank içi sıcaklığına etkisini göstermektedir. Değirmende tank içindeki sıcaklık en önemli parametrelerden biri olarak düşünülebilir. Öyle ki termal koşullar öğütme yardımcısının stabilize edici mekanizmasını etkileyebildiği gibi değirmen içi akış özelliklerinde öğütme yardımcısının yarattığı etki farklı oranlarda enerji değişimine yol açar ve böylece ısı üretimi gerçekleşir (Prziwara ve diğ., 2018).

Bu çalışma kapsamında, öğütme yardımcısının cinsinin ve miktarının sıcaklık üzerinde yarattığı etki incelenmek istenmiş ve her deney sonunda tank içi sıcaklık öğütmeden hemen sonra ölçülmüştür. Deneylere ait sonuçlar incelendiğinde bütün öğütme yardımcılarında dozaj arttıkça sıcaklığın azaldığı görülmektedir. Karboksilik asit grubundan HepAc'ın diğer iki gruptaki öğütme yardımcılara kıyasen sıcaklık üzerinde yarattığı çarpıcı etki açıkça gözükmemektedir. Katkısız öğütmede 74,3 C° olan tank içi sıcaklığı %2 HepAc kullanımı ile 54,6 C°'ye kadar düşmüştür. Yine amin grubundan %2 TEA kullanımı ile tank içi sıcaklık 17 C° azalmıştır. Çayırılı ve Gökçen (2018) tarafından yapılan çalışmada deneyler sonunda yapılan sıcaklık ölçümlerinde öğütme yardımcısı miktarı arttıkça değirmen içerisinde sıcaklığın düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 6. Öğütme yardımcısı cinsi ve miktarının sıcaklık üzerine etkisi

Figure 6. The effect of grinding aid type and amount on temperature

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma ile öğütme yardımcıların tür ve dozajının öğütme verimi üzerine etkileri incelenmiş olup aynı zamanda atıkların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin verimli kullanım yoluyla azaltılması planlanmıştır. Çalışmada yapılan kuru öğütme deneylerinde üç farklı gruptan altı tane öğütme yardımcısının, beş farklı dozajının (ağırlıkça, %0, %0,25, %0,5, %1 ve %2) ürün üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan bu çalışma ile farklı gruplarda yer alan öğütme yardımcısı cins ve miktarının ürün boyutu (d_{80}), boyut dağılımı ve sıcaklık üzerine etkisi araştırılmıştır.

Ürün boyutu üzerinde en fazla iyileşmenin amin grubundan %0,25 TEA, karboksilik asit grubundan %0,5 HepAc, alkol grubundan %2 EtOH ile sağlandığı tespit edilmiştir. En düşük tank içi sıcaklık, minimum ürün boyutu ve en dar boyut dağılımı karboksilik asit grubundan %0,5 HepAc ile elde edilmiştir.

Bu çalışma, doğal kaynakların tükenmesini önlemek, atıkların değerli ve kullanılabilir ürüne dönüştürülmesi konusuna umut verici nitelikte bir çalışma olup aynı zamanda kullanılan öğütme yardımcıları ile öğütme performansı üzerinde önemli iyileşmelerin sağlandığı görülmüştür. Öğütme yardımcısı kullanılarak yapılan bütün deneylerde, öğütme yardımcısı kullanılmadan yapılan deneylere kıyasen ürün boyutu (d_{80}), boyut dağılımı ve sıcaklık açısından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Adal, S., 2018, *Yumurta kabuğu tozu kullanılarak mineral madde bakımından zenginleştirilen ekmelerin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, M.C.B.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, Türkiye.
- Austin, L.G., Klimpel, R.R., Luckie, P.T., 1984, *Process engineering of size reduction: Ball Milling*, SME, New York, 561.

- Choi, H.K., Choi, W.S., 2003, "Ultra-Fine grinding mechanism of inorganic powders in a stirred ball mill", *Korean Journal of Materials Research*, Cilt 20, Sayı 3, ss. 554-559. <https://doi.org/10.1007/BF02706924>.
- Çayırılı, S., Gökçen, H.S., 2018, "Kalsitin dik ve yatay kariştirmalı değirmende öğütülmesinde öğütme yardımcısının etkisinin incelenmesi", *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 7, Sayı 2, ss. 838-847.
- El-shall, H., Somasundaran, P., 1984, "Mechanisms of Grinding Modification by Chemical Additives: Organic Reagents", *Powder Technology*, Cilt 38, ss. 267-273.
- Fuerstenau, D.W., 1995, "Grinding Aids", *Kona*, Cilt 13, ss. 5-18.
- Güneş, A., 2019, *Yumurta kabuğu takviyeleri polimer esaslı kompozitlerin mekanik davranışının incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, B.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, Batman.
- Hasegawa, M., Kimata, M., Shimane, M., Shoji T., Tsuruta, M., 2001, "The effect of liquid additives on dry ultrafine grinding of quartz", *Powder Technology*, Cilt 114, ss. 145-151. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(00\)00290-4](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(00)00290-4). <https://doi.org/10.1080/1023666X.2014.953747>.
- Karagöz, B., 2011, *Yumurta kabuğu, antep fıstığı kabuğu, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve zeytin çekirdeğinden hazırlanan adsorbanların adsorpsiyon performansları*, Yüksek Lisans Tezi, T.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü.
- Katırcıoğlu-Bayel, D., 2016, *Mineral dolgu malzemesi üretiminde öğütme parametreleri ve ürün kalitesinin kontrolü*, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Katırcıoğlu-Bayel, D., 2018, "The Effect of Grinding Additives on Stirred Media Milling of Talc", *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, Cilt 5, Sayı 7, ss. 36-39.
- Katırcıoğlu-Bayel, D., 2019, "The effect of grinding media performance on wet milling of calcite". *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, Cilt 7, Sayı 2, ss. 379-386.
- Kıllı, U., Tutuş, A., Çiçekler, M., Özdemir, F., 2017, *Atık ofis kağıtları ve yumurta kabuklarından yazı-tabı kağıdı üretimi*, H.Ü.I. Uluslararası Ar-Ge Proje Pazarı, Şanlıurfa.
- Kotake, N., Kuboki, M., Kiya S., Kanda, Y., 2011, "Influence of dry and wet grinding conditions on fineness and shape of particle size distribution of product in a ball mill", *Advanced Powder Technology*, Cilt 22 Sayı 1, ss. 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2010.03.015>.
- Mohammadi, M., Lahijani, P., Mohamed, A., 2014, "Refractory dopant incorporated cao from waste eggshell as sustainable sorbent for CO₂ capture; experimental and kinetic studies", *Chemical Engineering Journal*, Cilt 243, ss. 455-464. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2014.01.018>.
- Orumwense, O.A., Forssberg, E., 1992, "Superfine and Ultrafine Grinding-A Literature Survey", *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, Cilt 11, ss. 107-127.
- Paramasivam, R., Vedaraman, R., 1992, "Effect of Physical Properties of Liquid Additives on Dry Grinding", *Powder Technology*, Cilt 70, ss. 43-50.
- Prziwara, P., Breitung-Faes S., Kwade, A., 2018, "Impact of grinding aids on dry grinding performance, bulk properties and surface energy", *Advanced Powder Technology*, Cilt 29, Sayı 2, ss. 416-425. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2017.11.029>.
- Senthil J., Raj, M., 2015, "Preparation and characterization of reinforced eggshell polymer compositen", *International Journal on Mechanical Engineering and Robotics*, Cilt 3, Sayı 3, ss. 7-17.
- Wei, Z., Xu C., Li, B., 2009, "Application of waste eggshell as low-cost solid catalyst for biodiesel production", *Bioresource Technology*, Cilt 100, ss. 2883-2885.
- Yoo, S., Shieh, S.J., 2009, "Utilization of calcium carbonate particles from eggshell waste as coating pigments for ink jet printing paper", *Bioresource Technology*, Cilt 100, ss. 6416-6421.