



ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

# Klinker Öğütmede Küresel Bilyaya Alternatif Olarak Küresel Dörtüzlü Bilya Kullanımının Değerlendirilmesi

## Investigation of The Use of Spheroidal Tetrahedral Shaped Balls in Clinker Grinding

Vedat Taylan Engin <sup>\*</sup>, Ufuk Malayoğlu

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: taylan.engin@deu.edu.tr

### Öz

Bu çalışmada, küresel dörtüzlü bilyaların klinker öğütmedeki etkisi araştırılmıştır. Boyut küçültmenin, bilyaların şekinden çok değirmen hızı ve değirmen yapısı ile ilişkili olduğu saptanmıştır. Küresel dörtüzlü bilyaların küresel bilyaların yerine kullanılarak öğütme ürünleri üzerindeki etkisi her iki bilya tipi için zamana bağlı öğütme testleri yapılarak araştırılmıştır. Her iki ortamda, benzer öğütme şartlarında, öğütme karakteristiği incelenmiştir. Öğütme işlemi açısından iki farklı ortam için çok önemli farklar olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla mevcut küresel ortamlarla çalışan sistemlerde değişikliğe gitmek riskli bir operasyon olmakla birlikte, yeni kurulacak olan sistemlerde diğer alternatiflerle beraber küresel dörtüzlü bilyalar da öğütücü ortam olarak kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Öğütme karakteristiği, küresel dörtüzlü bilya, küresel bilya

### Abstract

In this paper, the effect of spheroidal tetrahedral shape balls on clinker grinding was investigated. It was found that breakage was related to grinding media charge rate and grinding time much more than ball shape. The effect on grinding products was investigated via grinding tests, for both ball shape types, depending on grinding time using spheroidal tetrahedral shape balls instead of spherical shape balls. Breakage characteristics were determined for two different media types. There were no significant differences between the two types of balls for the breaking process. Consequently, changing grinding media from spheroidal to spheroidal tetrahedral is unnecessary for present mills, but spheroidal tetrahedral balls can be determined for new building plants.

**Keywords:** Grinding characteristic, spheroidal tetrahedral shape ball, spheroidal ball

### EXTENDED ABSTRACT

#### Introduction

Clinker grinding aims to ensure that the clinker particle size is following the standards requested. In the cement industry, the clinker grinding stage is a high-cost process that uses approximately 40% of the total electric energy. In this stage, 53 kWh of power is consumed per ton and 9.1 kg/ton of carbon dioxide is released into the atmosphere. F. Shi [8] conducted a study in 2004 to determine the effect of ball geometry on drum mills. In this study, other conditions remain the same, the products grinding with the grinding media consisting of cylindrical balls (cylpebs) and the grinding media consisting of spherical balls are very close to each other in terms of particle size while the grinding product of spherical balls is slightly finer. Kolev, N. et. al. [10] 2021 also obtained 14% more fine material in grinding with spherical tetrahedral balls under the same conditions compared to spherical balls. Grinding media optimisation is an important parameter to minimize the cost of plant energy. This study aims to investigate the use of spherical tetrahedral balls, which are commonly used as grinding media in drum mills.

#### Materials and Methods

In this paper, grinding tests were carried out with spherical balls and spherical tetrahedral balls depending on time under the same mill operating conditions and the effect of spheroidal tetrahedral balls on clinker grinding was investigated. Grinding parameters were kept constant for both ball types. Grinding tests were made in one hour with ten-minute periods. Particle size distributions were determined by taking samples every ten minutes. In addition, two parallel tests were performed by changing the ball compositions with spherical balls.

#### Results and Discussion

When grinding with spherical balls and spherical tetrahedral balls is compared, it has been determined that under the same conditions, spherical tetrahedral balls produce particle size finer as the grinding time increases. Grinding tests carried out according to time in ball1, ball2 and spherical tetrahedral ball compositions, there is almost no difference between the ball compositions in grinding until the twentieth minute and grinding is slow. After the twentieth minute, the rate of grinding increases as tensions in the material increase. In addition, as the particle size decreases, spherical tetrahedral balls become more advantageous due to the shape factor.

## Conclusion

According to the results of the comparative grinding tests conducted in this study using a clinker sample with a Bond Work Index of 13.43 kWh/ton, in general, there is no significant difference in terms of particle size between the grinding media product consisting of spherical tetrahedral balls and the grinding media product consisting of spherical balls. It was found that breakage was related to grinding media charge rate and grinding time much more than ball shape. However, in grinding processes

with spherical tetrahedral balls, it is possible to grind finer than spherical balls by reducing the mill speed. The use of spherical tetrahedral balls is related to the mill diameter, and the necessity of the mill diameter to be larger to grind more efficiently can be explained by the relationship between critical speed and the shape factor of the grinding media. Consequently, changing grinding media from spheroidal to spheroidal tetrahedral shape is unnecessary for present mills, but spheroidal tetrahedral shape balls can be determined for new building plants.

## 1. Giriş

Çimento üretiminin son kademesi, klinkerin istenilen tane boyutuna öğütülmesidir. Bu öğütmede amaç, klinker tane boyutunun standartlara uygun incelikte olmasını sağlamaktır. Boyut küçültme işlemleri dünya enerji tüketiminin %3-4'ünü oluşturmaktadır. Ayrıca bir çimento fabrikasında enerjinin yaklaşık olarak %70'i boyut küçültme işlemlerine harcanmaktadır [1].

Çimento endüstrisinde klinker öğütme kademesi toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %40'ını kullanan çok yüksek maliyetli bir işlemdir. Bu işlem için ortalama olarak ton başına 53 kwh güç tüketilmekte ve 9.1 kg karbondioksit gazı atmosfere salınmaktadır [4]. Enerji tasarrufu maliyetler açısından çok önemli olduğu gibi çevresel faktörlerin azaltılması için de önemlidir. Bu sebeplerden dolayı öğütme işleminde enerji tüketimini azaltmak önemli bir hedefdir.

Bilyalı değirmenlerle yapılan öğütme işlemlerinde, enerji minimizasyonu ve öğütücü ortamların karşılaştırılması açısından birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda; değirmene beslenen malzemenin tane boyut dağılımı, bilya çapı, değirmen dönüş hızı, öğütme süresi, değirmen tipi gibi parametreler öğütmeyi etkileyen temel faktörler olarak belirlenmiş ve öğütme enerji ilişkisi irdelenmiştir.

Tamburlu değirmenlerde, küresel bilyalara alternatif olarak farklı geometrik şekillere sahip öğütücü ortamlarla çeşitli çalışmalar yapılmıştır [2],[3],[5],[6],[7]. F. Shi [8] 2004 yılında küresel bilya ve silindirik (cylpebs) bilyaları karşılaştırmak amacı ile bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, tek kademeli öğütmede, diğer koşullar aynı kalmak kaydıyla, silindirik bilyalardan (cylpebs) oluşan öğütücü ortam ile küresel bilyalardan oluşan öğütücü ortamla yapılan öğütme ürünlerinin tane boyutu olarak birbirine çok yakın olduğunu ve küresel bilya ürününün diğerine göre biraz daha ince olduğunu söylemektedir. Kolev, N. ve arkadaşları da [10] 2021 yılında, aynı şartlarda küresel dörtyüzlü bilyalarla yapılan öğütmede küresel bilyalara göre %14 daha fazla ince malzeme elde etmişlerdir. Bodurov P. ve Genchev V. [11] 2015 yılında, küresel dörtyüzlü bilyalarla yapılan öğütmenin enerji tasarrufu sağladığı ve öğütme verimini %10 arttırdığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca 2014 yılında [9], kireçtaşı numunesi ile standart Bond Değirmeni'nde yapılan Bond İş İndeksi Testi'nde, diğer tüm şartlar aynı kalmak kaydıyla, küresel dörtyüzlü ve küresel bilya son ürünlerinin d80 değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır.

Tesis enerji maliyetlerinin çok büyük bir kısmını oluşturan öğütme devresinin, malzeme, enerji, maliyet unsurları açısından optimize edilmesi, uygun çalışma şartlarının belirlenmesi, öğütme proses maliyetlerini minimize etmek açısından

gereklidir. Bu bileşenlerden biri olan öğütücü ortam optimizasyonu, tamburlu değirmenlerde yapılan iş ve harcanan enerji dengesini oluşturan önemli bir parametredir. Bu çalışmanın amacı, tamburlu değirmenlerde yaygın öğütücü ortam olarak kullanılan küresel bilyalara alternatif küresel dörtyüzlü bilyaların kullanımının araştırılmasıdır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada küresel bilyalar ile küresel dörtyüzlü bilyaların, aynı öğütme şartlarında zamana bağlı öğütme testleri yapılarak öğütme davranışları karşılaştırılmıştır. Çalışmalarda öğütücü ortam olarak kullanılan bilyaların geometrileri Şekil 1'de verilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan numune BATIÇİM Batı Anadolu Çimento Sanayi AŞ'den alınmış olup, XRF analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Bond İş İndeksi değeri 13.43 kw/h ton olan klinker numunesinin kaba kırma işlemleri laboratuvar tip çeneli kırıcıda yapılmıştır (140\*50 mm). Numunenin, 1.kırma kademesi ve 2.kırma kademesi ürünlerinin tane boyut dağılımları Şekil 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Klinker numunesi kimyasal analizi

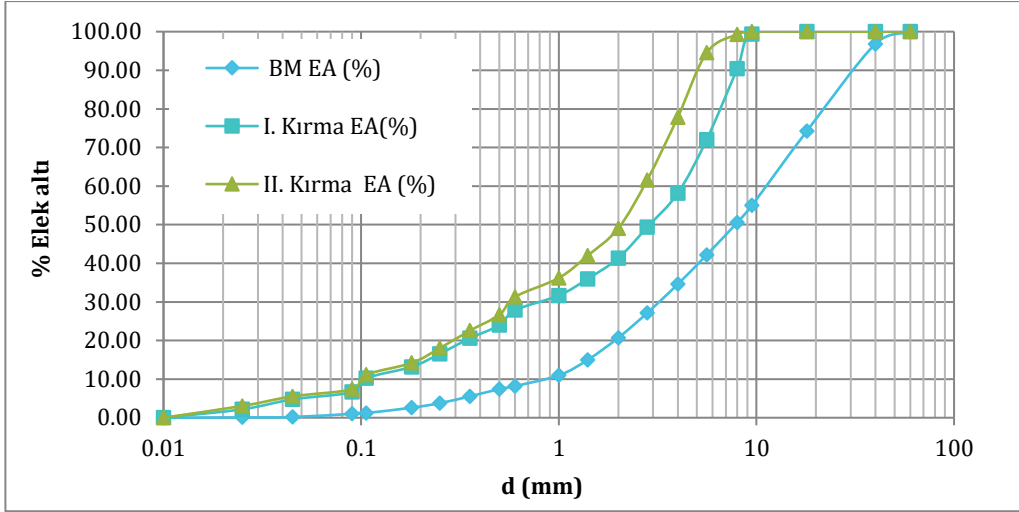
**Table 1.** Chemical analysis of clinker sample

Bileşen	(%)
SiO <sub>2</sub>	21.67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.54
CaO	64.80
MgO	0.96
SO <sub>3</sub>	0.65
K <sub>2</sub> O	0.86
Na <sub>2</sub> O	0.27



**Şekil 1.** Öğütme testlerinde kullanılan bilya türleri a) Küresel bilyalar b) Küresel dörtyüzlü bilyalar

**Figure 1.** Ball types used in grinding tests a) Spherical balls b) Spherical tetrahedral balls



Şekil 2. Tane boyut dağılım analizleri (besleme malı, 1. kırma ve 2. kırma)

Figure 2. Particle size distribution curves (raw material, first stage and second stage crushing samples)

Cevher hazırlamada tane boyut tanımlamasında, genellikle d80 (malzemenin %80'inin geçtiği elek açıklığı) terimi kullanılmaktadır. Besleme malının d80'i 22 mm, 1.kırma ürününün d80 değeri 6.90 mm, 2.kırma ürününün ise 4.1 mm'dir.

Değirmene beslenecek malzeme, önce çeneli kırıcı ile kaba kırma işleminden geçirilmiş, daha sonra da merdaneli kırıcı ile ince kırılarak öğütme testleri için hazırlanmıştır. Bu çalışmada, aynı değirmen çalışma koşullarında öğütme testleri küresel bilyalar ve küresel dörtyüzlü bilyalar ile zamana bağlı olarak yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Her iki bilya tipi için öğütme parametreleri sabit tutulmuştur. Öğütme testlerinin parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Öğütme testleri 60 dakikalık sürede 10'ar dakikalık periyotlarda yapılmıştır. Her 10 dakikada bir numune alınarak tane boyut dağılımları belirlenmiştir. Ayrıca

küresel bilyalar ile bilya kompozisyonları değiştirilerek paralel iki test yapılmış olup, 1.test bilya 1, 2. test de bilya 2 olarak adlandırılmıştır. Öğütme testlerindeki bilya sayıları, ağırlıkları ve dağılımları Tablo 3'te verilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Öğütme testleri, aynı değirmen çalışma koşullarında öğünmedeki farklılığın bilya şekline kaynaklı olacağı düşünülerek yapılmıştır. Öğütme şartları Tablo 2 ve Tablo 3'te verilen testlere ait sonuçlar, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmektedir. Üç farklı öğütücü ortam ile 10'ar dakikalık periyotlarla yapılmış öğütmelerin zamana bağlı tane boyut dağılımları ise Şekil 6'da verilmiştir.

Table 2. Öğütme testleri değirmen koşulları

Table 2. Mill conditions of grinding tests

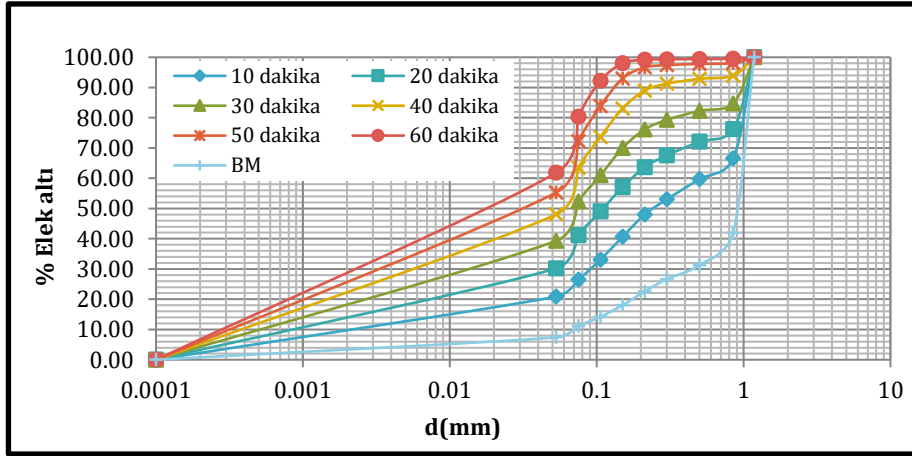
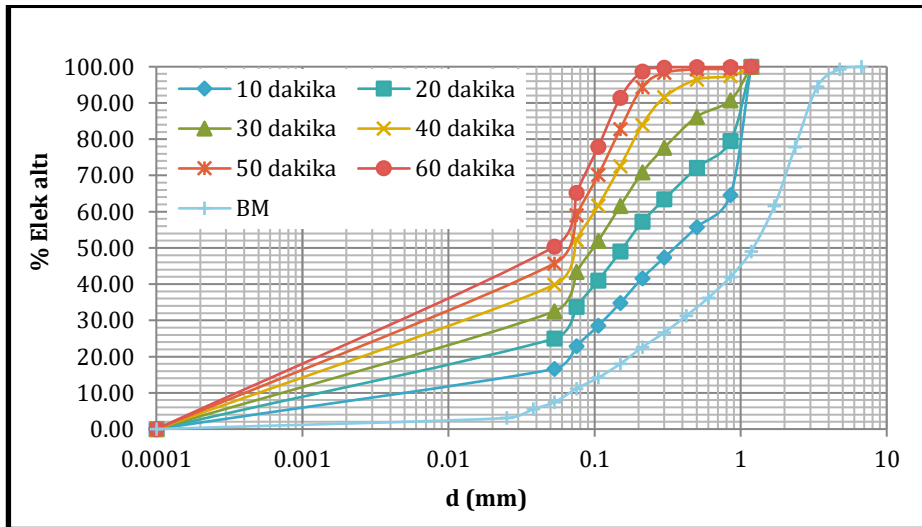
		Bilya 1	Küresel Dörtyüzlü Bilya	Bilya 2
Değirmen	Çap (mm) D	200	200	200
	Boy (mm) L	295	295	295
	Hacim (cm <sup>3</sup> ) V	9267.70	9267.70	9267.70
	Hız (d/dak) v	73	73	73
	Kritik Hız(d/dak) Nd	99.23	100.94	101.20
Bilyalar	Ortalama Çap (mm)	18.3	24.4	25.3
	Sayı	225	92	92
	Ortalama Ağırlık (g)	7115	7127.09	7040
	Özgül Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	7.79	7.94	7.79
Malzeme	Malzeme	Klinker	Klinker	Klinker
	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3.31	3.31	3.31
	Ağırlığı (g)	1320.53	1317.08	1320.03

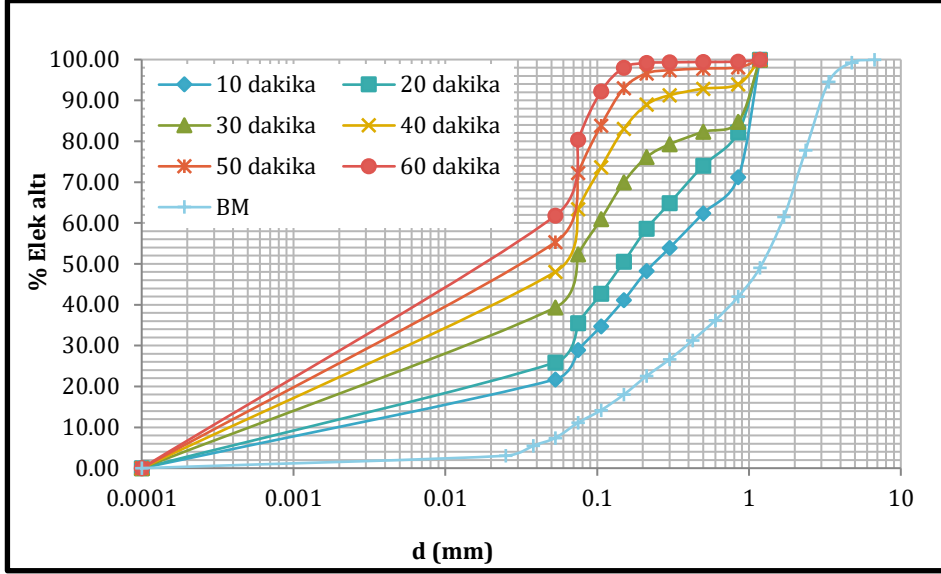
**Tablo 3.** Öğütücü ortam bilya dağılımları (bilya1, bilya2 ve küresel dörtyüzlü bilya)**Table 3.** Grinding media ball distributions (ball1, ball2 and spheroidal tetrahedral balls)

Bilya 1					Bilya 2				
Boyut (mm)	Adet	Ağırlık (g)	% Sayı Dağılım	% Ağı Dağılım	Boyut (mm)	Adet	Ağırlık (g)	% Sayı Dağılım	% Ağı Dağılım
37	7	1405.03	3.11	19.75	37	14	2810.06	15.22	39.92
30	13	1214.63	5.78	17.07	30	23	2648.98	25.00	37.63
25	5	319.14	2.22	4.49	25	4	315.31	4.35	4.48
20	63	1909.81	28.00	26.84	20	22	766.92	23.91	10.89
18	56	1257.04	24.89	17.67	15	29	498.73	31.52	7.08
14	47	702.94	20.89	9.88	Toplam	92	7040.00	100.00	100.00
12	34	307.03	15.11	4.31					
Toplam	225	7115.62	100.00	100.00					

Küresel dörtyüzlü bilya				
Boyut (mm)	Adet	Ağırlık (g)	% Sayı Dağılım	% Ağı Dağılım
38.1	14	3030.46	15.22	42.52
31.75	23	2825.62	25.00	39.65
25.4	4	252.54	4.35	3.54
19.05	22	580.95	23.91	8.15
15.87	29	437.51	31.52	6.14
Toplam	92	7127.08	100.00	100.00

**Şekil 3.** Zamana bağlı öğütme testlerinin tane boyut dağılımları (bilya 1 test şartları)**Figure 3.** Particle size distribution of time-dependent grinding tests (ball 1 test conditions)**Şekil 4.** Zamana bağlı öğütme testlerinin tane boyut dağılımları (bilya 2 test şartları)**Figure 4.** Particle size distribution of time-dependent grinding tests (ball 2 test conditions)

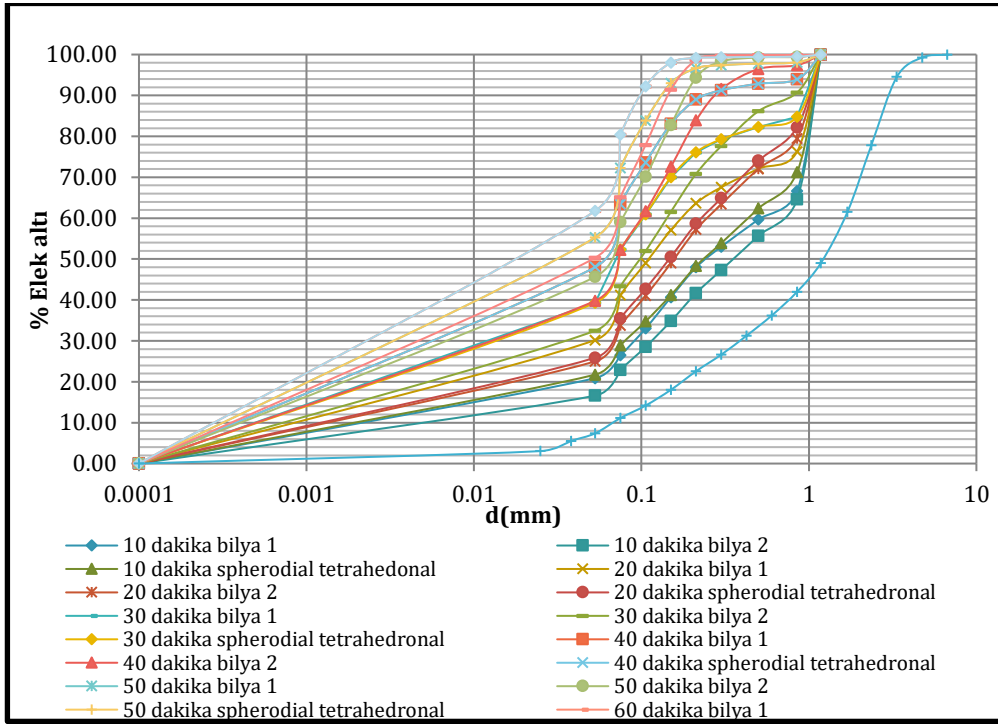


Şekil 5. Zamana bağlı öğütme testlerinin tane boyut dağılımları (Küresel dörtyüzlü bilya)

Figure 5. Particle size distribution of time-dependent grinding tests (spheroidal tetrahedral balls)

Küresel bilyalar ve küresel dörtyüzlü bilyalar ile yapılan öğütmeler karşılaştırıldığında, aynı şartlarda küresel dörtyüzlü bilyaların öğütme süresi arttıkça daha ince tane iriliğinde öğütme yaptığı tespit edilmiştir. Şekil 7'de  $d_{80}$  değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir.

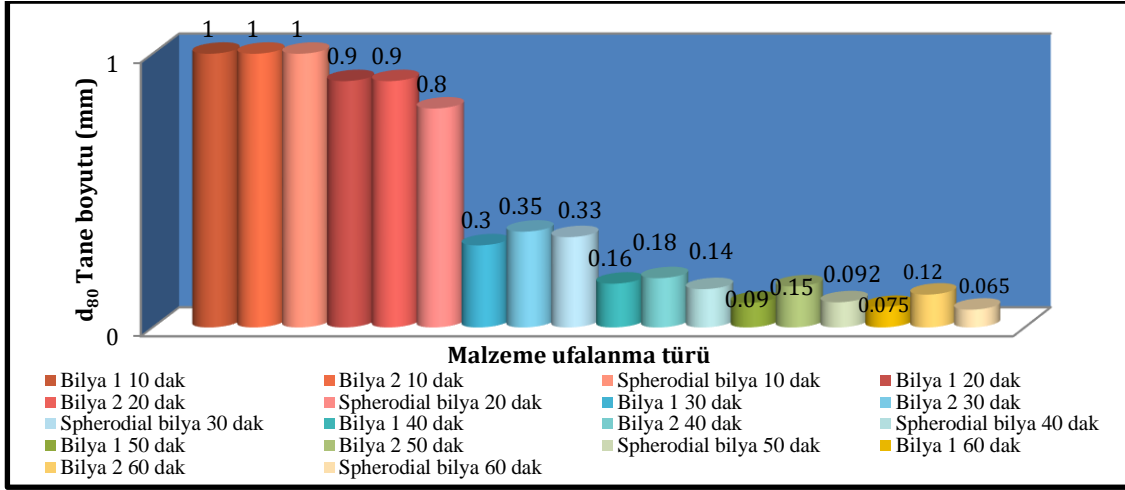
Bilya1, bilya 2 ve küresel dörtyüzlü bilya kompozisyonlarında, zamana göre yapılan öğütme testlerinde, 20.dakikaya kadar öğünmede bilya kompozisyonları arasında fark yok denecek kadar azdır ve öğünme yavaştır. 20.dakikadan sonra malzeme içindeki gerilmelerin artmasıyla öğünme hızı artmaktadır. Ayrıca tane boyutu küçüldükçe, şekil faktöründen dolayı küresel dörtyüzlü bilyalar bir miktar daha avantajlı olmaktadır.



Şekil 6. Öğütme şartlarının karşılaştırılması (bilya 1, bilya 2 ve küresel dörtyüzlü bilya)

Figure 6. Comparison of grinding conditions (ball1, ball2 and spheroidal tetrahedral ball media)





Şekil 7. Öğütülmüş ürünlerin d<sub>80</sub> değerleri

Figure 7. d<sub>80</sub> values of grinding products

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Bond İş İndeksi değeri 13.43 kwh/ton olan, klinker numunesi kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırmalı öğütme testlerindeki sonuçlara göre, genel olarak, küresel dörtyüzlü bilyalardan oluşan öğütücü ortam ürünü ile küresel bilyalardan oluşan öğütücü ortam ürünü arasında tane boyutu açısından önemli bir farklılık yoktur. Ancak, küresel dörtyüzlü bilyalar ile yapılan öğütme işlemlerinde, değirmen devrinin düşürülmesi ile küresel bilyalara göre daha ince öğütme yapmak mümkündür. Küresel dörtyüzlü bilyaların kullanılması değirmen çapı ile ilişkili olup, daha verimli öğütme yapabilmek için değirmen çapının daha büyük olması gerekliliği, kritik hız ve öğütücü ortam şekil faktörü arasındaki bağıntı ile açıklanabilir.

Tzotzorkov, L. ve arkadaşları [5] 2010 yılında yaptıkları çalışmada, tamburlu değirmenlerde öğütücü ortam olarak küresel dörtyüzlü bilyaların kullanılması durumunda, daha yüksek oranda yeni oluşan yüzeylerin meydana geleceği ve bunun aynı enerji tüketiminde öğütme verimini arttıracaklarını söylemişlerdir.

Kolev, N. ve arkadaşları [10] 2021 yılında yaptıkları çalışmada, küresel dörtyüzlü bilyaların özel geometrik şekillerinden dolayı (Reuleaux Geometri), daha büyük yüzey alanına sahip oldukları, aynı kütle ve boyutta küresel bilyalara göre yaklaşık %10 daha fazla birim hacim ağırlıkta olduklarını ispatlamışlardır. Bu sayede, küresel dörtyüzlü bilyalar daha iri boyutta ufulama şartlarının geçerli olduğu proseslerde, daha düşük değirmen hızlarında öğütme yapılması durumunda avantaj sağlayacaktır. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre ise küresel şekilli bilyalar ile daha ince boyutta ve daha dar tane sınıfında ürün elde edilmiştir. Küresel şekilli bilyalar ile öğütme ortamında ince tanelere en fazla kuvvet, küresel dörtyüzlü bilya ile öğütmede ise, iri tanelere en fazla kuvvet uygulandığı deneysel çalışmaların değerlendirilmesinden anlaşılmaktadır. Bu sonucun da Reuleaux Geometrisi sayesinde gerçekleşmiş olacağı değerlendirilmektedir.

Yeni kurulacak tesislerde enerji kullanımının optimizasyonu açısından, bu tür bilyalara uygun değirmen tasarımı (çap/boy oranı daha büyük) ile daha düşük enerji maliyetlerinde daha ince öğütme sağlanabilir. Mevcut öğütme sistemlerinde çok kamaralı öğütmede birinci kademe öğütme kamarasında kullanılabilir. Ancak çalışan sistemlerde küresel bilyaya alternatif olarak kullanımı, sistemi kapasite açısından etkileyecektir.

#### Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Yazar katkılarının beyanı

Birinci yazar makaleye deney tasarımı, veri toplama, analizlerin gerçekleştirilmesi, literatür taraması, makale yazımı katkılarını koymuştur.

İkinci yazar ise, fikir oluşturma, deney tasarımı, literatür taraması, eleştirel inceleme konularında katkı koymuştur.

#### Kaynakça

- [1] Deniz, V., 2004. The Effect of Mill Speed on Kinetic Breakage Parameters of Clinker and Limestone, Cement and Concrete Research, Cilt. 34, , s. 1356-1371. DOI: 10.1016/j.cemconres. 2003.12.025
- [2] Ipek, H. 2006. The Effects of Grinding Media Shapes on Breakage Rate: Technical Note, Minerals Engineering, Cilt. 19, s. 91-93. DOI: 10.1016/j.mineng. 2005.05.009
- [3] Qian, H.Y., Kong, Q.G., Zhang, B.L. 2013. The Effects of Grinding Media Shapes on the Grinding Kinetics of Cement Clinker in Ball Mill, Powder Technology, Cilt. 235, s. 422-425. DOI: 10.1016/j.powtec.2012.10.057
- [4] Seebach, M.V., Scheneider, L., Update on Finish Grinding Media Shapes on the Grinding with Improved Energy Efficiency, IEEE Transactions on Industry Application, Cilt. IA23 No.3, 1987, s. 397-403
- [5] Tzotzorkov, L., Penchev, T., Bodurov, P. Kuzev, L. 2010. Comparative Studies on Balls Versus Spheroidal Tetrahedrons Working Media to Ore Grinding in an Industrial Drum Mill. XXV. International Mineral Processing Congress (IMPC), 6-10 Eylül, Brisbane Qld, 1299-1307.
- [6] Ipek, H. 2007. Effect of Grinding Media Shapes on Breakage Parameters, Particle and Particle System Characterization, Vol 24, s. 229-235.
- [7] Shahbazi, B., Jafari M., Parian, M, Rosenkranz, J., Chehreh Chelgani, S. 2020. Study on impacts of media shapes on the performance of tumbling mills – A review, Minerals Engineering, Vol. 157, s. 1-10.
- [8] Shi, F. 2004. Comparison of grinding media- Cylpebs versus balls, Minerals Engineering, Vol. 17, s. 1259-1268.
- [9] Anonim, 2014. SGS Bulgaria Uzman Değerlendirme Raporu. Rapor No. 184001-S01420-0018/1-2, Sofia-Bulgaristan.
- [10] Kolev, N., Bodurov, P., Genchev, V., Simpson, B., Melero, M.G., Menéndez-Aguado, J.M., 2021. A Comparative Study of Energy Efficiency in Tumbling Mills with the Use of Relo Grinding Media, Metals, Vol. 11, Issue 5.
- [11] Bodurov, P., Genchev, V. 2015. New and More Effective Grinding Bodies for Drum Mills Alternative of the Spherical Grinding Bodies, Journal of Multidisciplinary Science and Technology (JMEST), Vol. 2, Issue 9, p. 2516-2520.