

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOZ METALURJİSİNDE YENİ TİP MEKANİK  
KARIŞTIRICI TASARIMI VE VERİMLİLİĞİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harun GÜNGÖRDÜ**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Fatih ÇALIŞKAN**

**Mayıs 2018**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOZ METALURJİSİNDE YENİ TİP MEKANİK  
KARIŞTIRICI TASARIMI VE VERİMLİLİĞİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harun GÜNGÖRDÜ**

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 07.05.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr.  
Fatih ÇALIŞKAN  
Jüri Başkanı

Prof. Dr.  
Zafer TATLI  
Üye

Dr. Öğr. Üyesi  
S. Hakan YETGİN  
Üye

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

  
Harun GÜNGÖRDÜ  
07.05.2018

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli ve danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren Doç. Dr. Fatih ÇALIŞKAN'a teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum. Yine çalışmamda konu, kaynak ve yöntem açısından bana sürekli yardımda bulunarak yol gösteren ve gelecekteki hayatında çok daha başarılı olacağına inandığım kıymetli kardeşim Mücahit TURHAN'a da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Teşekkürlerin az kalacağı diğer üniversite hocalarımdan da bana üniversite hayatım boyunca kazandırdıkları her şey için ve beni iş hayatımda söz sahibi yapan bilgilerle donattıkları için hepsine teker teker teşekkürlerimi sunuyorum. Ve son olarak beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden maddi manevi hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan aileme sonsuz teşekkürler.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER ve KISALTMALAR .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY .....	xiii

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
-------------	---

## BÖLÜM 2.

SERAMİKLER .....	3
2.1. Geleneksel Seramikler.....	4
2.2. İleri Teknoloji Seramikler .....	4
2.2.1. Zirkonya .....	5
2.2.2. Alümina.....	5
2.2.3. Silisyum karbür .....	6
2.2.4. Kuvars .....	7

## BÖLÜM 3.

ÖĞÜTÜCÜ SİSTEMLER VE MEKANİK ALAŞIMLAMA .....	7
3.1. Değirmenler.....	7
3.1.1. Spex Shaker Değirmenleri .....	7
3.1.2. Gezegenel bilyalı değirmenler .....	8

3.1.3. Bilyalı değirmen .....	9
3.1.4. Jet değirmen .....	10
3.1.5. Atritör değirmen .....	11
3.2. Mekanik Alaşımama .....	12
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	14
4.1. Cihaz Tasarım ve Üretiminde Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar ...	14
4.1.1. Dış kabin .....	14
4.1.2. Motor .....	15
4.1.3. Paslanmaz çelik bilyeler .....	15
4.1.4. Toz haznesi .....	16
4.1.5. Güç kaynağı .....	17
4.1.6. Rulman arabası .....	17
4.1.7. Konstrüksiyon şase .....	18
4.1.8. Vibrasyon takozu .....	18
4.1.9. Rulmanlar .....	19
4.1.10. Acil stop butonu .....	19
4.1.11. İnverter .....	20
4.1.12. Plc touch panel .....	21
4.2. Karışık Mühendislik Problemleri ve Çözümleri .....	21
4.2.1. Toz haznesinin kapağı .....	21
4.2.2. Vida kesmesi .....	22
4.2.3. Güç kaynağı yanması .....	23
4.3. Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri .....	23
4.3.1. Elek analizi .....	23
4.3.2. SEM analizi .....	25
4.3.3. Toz boyut analizi .....	25
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR .....	27
5.1. Çalışma Prensibi .....	27

5.2. Tasarlanan Makine de Toz Öğütme İşlemi Sonuçları.....	28
5.2.1. Kuvars tozu öğütme işlemi sonuçları.....	29
5.2.2. Silisyum karbür tozu öğütme işlemi sonuçları.....	31
5.2.2.1. Orbital ve lineer hızlara bağlı olarak SiC tozu öğütme işlemi sonuçları.....	32
5.2.2.2. Orbital ve lineer hızlara bağlı olarak optimum değer seçilmesi.....	38
5.2.2.3. Zamana bağlı olarak SiC tozu öğütme işlemi sonuçları	38
5.2.2.4. Zamana bağlı olarak optimum değer seçilmesi.....	46
5.3. Diğer Öğütücü Makinelerinde Toz Öğütme İşlemi Sonuçları.....	47
5.3.1. Gezegen tipi öğütücü sonuçları.....	47
5.3.2. Bilyalı değirmen sonuçları.....	48
5.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımı Spektrometresi Analizi Sonuçları.....	48
5.5. Toz Boyutu Analizi Sonuçları.....	60
5.6. Tasarlanan Öğütücünün Diğer Öğütücüler ile Karşılaştırılması.....	65

## BÖLÜM 6.

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
6.1. Genel Sonuçlar.....	69
6.2. Öneriler.....	71
KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	76

## SİMGELER ve KISALTMALAR

Ağ.	: Ağırlıkça
atm	: Atmosfer Basıncı
cm	: Santimetre
dk	: Dakika
g	: Gram
GPa	: Gigapascal
Hz	: Hertz
Kg	: Kilogram
L	: Lineer
m	: Metre
mm	: Milimetre
O	: Orbital
Psi	: Pound-kuvvet / inç <sup>2</sup>
s	: Saniye
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SiC	: Silisyum Karbür
µm	: Mikrometre
°C	: Derece Santigrat



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Matris malzemeler [6].....	1
Şekil 3.1. Spex değirmen .....	8
Şekil 3.2. Gezegen tipi öğütücü (Suryaranayana, 2001).....	8
Şekil 3.3. Gezegen tipi öğütücünün dönüş şeklinin şematik olarak gösterimi .....	9
Şekil 3.4. Bilyalı değirmen ve çalışma prensibi.....	10
Şekil 3.5. Atritör değirmen.....	11
Şekil 3.6. Mekanik aşındırma ile parçacıkların küçültülmesi [36, 37]. .....	12
Şekil 4.1. Tasarlanan makinenin dıştan görünüşü.....	14
Şekil 4.2. Projede kullanılan motor.....	15
Şekil 4.3. Projede kullanılan bilyeler .....	16
Şekil 4.4. Projede kullanılan toz haznesi .....	16
Şekil 4.5. Projede kullanılan güç kaynağı .....	17
Şekil 4.6. Projede kullanılan rulman arabası.....	18
Şekil 4.7. Projede kullanılan vibrasyon takozu .....	19
Şekil 4.8. Projede kullanılan acil stop butonu.....	20
Şekil 4.9. Projede kullanılan inverter .....	20
Şekil 4.10. Projede kullanılan plc touch panel .....	21
Şekil 4.11. a)toz haznesi b)toz haznesinin kapağı c)toz haznesi kapağının açacağı	21
Şekil 4.12. a) ayakların sabitlendiği metrik 6 vidalar b) kesilmiş metrik 6 vidalar	22
Şekil 4.13. a) metrik 6 vida yerine kullanılan metrik 10 vidalar b) ayakların sabitlendiği metrik 10 vidalar .....	22
Şekil 4.14. a) yanan güç kaynağı b) yerine koyulan yeni güç kaynağı.....	23
Şekil 4.15. a) 32 µm elek, b) 45 µm elek .....	24
Şekil 4.16. a) 100 µm elek b) 150 µm elek .....	24
Şekil 4.17. a)300 µm elek b)elek sarsma makinesi.....	24
Şekil 4.18. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	25

Şekil 4.19. Microtrac S3500 marka lazer toz boyut analiz cihazı.....	26
Şekil 4.20. Malvern Nano ZS zetasizer test cihazı.....	26
Şekil 5.1. Sistemdeki kırıcı kuvvet mekanizması .....	27
Şekil 5.2. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) öğütme sonuç grafiği.....	31
Şekil 5.3. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen tozların fotoğrafı.....	32
Şekil 5.4. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen tozların fotoğrafı.....	33
Şekil 5.5. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen tozların fotoğrafı.....	34
Şekil 5.6. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen tozların fotoğrafı.....	35
Şekil 5.7. Orbital = 30 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen tozların fotoğrafı.....	36
Şekil 5.8. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 40 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen tozların fotoğrafı.....	37
Şekil 5.9. Süre = 15 dk sabit Orbital ve Lineer hızların değişkenliğinde toz boyutu grafiği(O: Orbital/L: lineer).....	38
Şekil 5.10. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 30 dk öğütülen tozlar .....	39
Şekil 5.11. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 45 dk öğütülen tozlar .....	40
Şekil 5.12. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 60 dk öğütülen tozlar .....	41
Şekil 5.13. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 75 dk öğütülen tozlar .....	42
Şekil 5.14. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 90 dk öğütülen tozlar .....	43
Şekil 5.15. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 105 dk öğütülen tozlar .....	44

Şekil 5.16. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 120 dk öğütülen tozlar .....	45
Şekil 5.17. Tasarlanan öğütücü süreye bağlı olarak öğütülen SiC tozunun boyut grafikleri .....	46
Şekil 5.18. Gezegen öğütücüde 90 dk 35 Hz hızda öğütülmüş tozun EDS analizi	49
Şekil 5.19. Tasarlanan öğütücüde orbital 25Hz/lineer 35 Hz hızda ve 90 dk öğütülmüş tozun EDS analizi .....	50
Şekil 5.20. Tasarlanan öğütücüde orbital 25Hz/lineer 35 Hz hızda ve 120 dk öğütülmüş tozun EDS analizi .....	50
Şekil 5.21. Gezegen tipi öğütücüde 35 Hz hızda ve 90 dk da öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü .....	51
Şekil 5.22. Tasarlanan öğütücüde orbital 25 Hz/lineer 35 Hz hızda 90 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü .....	51
Şekil 5.23. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 15 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü .....	52
Şekil 5.24. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 30 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü .....	53
Şekil 5.25. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 45 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü .....	53
Şekil 5.26. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 60 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü .....	54
Şekil 5.27. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 75 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü .....	54
Şekil 5.28. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 90 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü .....	55
Şekil 5.29. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 105 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü .....	55
Şekil 5.30. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 120 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü .....	56
Şekil 5.31. Tasarlanan öğütücüde optimum(O25/L35) hızda öğütülmüş 32 µm altı toz miktarı grafiği .....	57

Şekil 5.32. Orbital 25Hz/lineer 35Hz hızda 15 dk da öğütülmüş SiC tozunun 100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	57
Şekil 5.33. Orbital 25Hz/lineer 40Hz hızda 15 dk da öğütülmüş SiC tozunun 100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	58
Şekil 5.34. Orbital 30Hz/lineer 35Hz hızda 15dk da öğütülmüş SiC tozunun 100 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	59
Şekil 5.35. Tasarlanan öğütücüde 90 dk öğütülmüş SiC tozunun toz boyut analiz grafiği .....	60
Şekil 5.36. Gezegen öğütücüde öğütülmüş SiC tozunun toz boyut analiz grafiği.	60
Şekil 5.37. Hiç öğütülmemiş SiC tozunun toz boyut analiz grafiği.....	61
Şekil 5.38. Tasarlanan öğütücüde 15 dk sabit sürede farklı hızlarda öğütülmüş SiC tozunun toz boyut analizleri .....	62
Şekil 5.39. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda öğütülmüş SiC tozunun farklı dakikalardaki toz boyut analizleri .....	63
Şekil 5.40. Zetasizer toz boyut analizi .....	64
Şekil 5.41. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda öğütülmüş SiC tozunun farklı dakikalardaki toz boyut analizleri .....	64
Şekil 5.43. Öğütülen tozlara göre karşılaştırma grafiği .....	65
Şekil 5.44. Gezegen tipi öğütücü ve tasarlanan öğütücüde 90 dk öğütülmüş ve hiç öğütülmemiş SiC tozunun toz boyut analizleri .....	67
Şekil 5.45. Tasarlanan öğütücüde öğütülmüş SiC tozunun 2000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	68
Şekil 5.46. Gezegen öğütücüde öğütülmüş SiC tozunun 2000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	68
Şekil 6.1. Oluşturulabilecek kırıcı - öğütücü sistemi .....	71

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Silisyum karbürün özellikleri .....	7
Tablo 5.1. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları .....	29
Tablo 5.2. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 30 dk öğütülen toz sonuçları .....	30
Tablo 5.3. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 45 dk öğütülen toz sonuçları .....	30
Tablo 5.4. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları .....	32
Tablo 5.5. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları .....	33
Tablo 5.6. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları .....	34
Tablo 5.7. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları .....	35
Tablo 5.8. Orbital = 30 Hz(1800 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları .....	36
Tablo 5.9. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 40 Hz(2400 devir/dk) süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları .....	37
Tablo 5.10. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 30 dk öğütülen toz sonuçları .....	39
Tablo 5.11. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 45 dk öğütülen toz sonuçları .....	40
Tablo 5.12. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 60 dk öğütülen toz sonuçları .....	41

Tablo 5.13. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 75 dk öğütülen toz sonuçları .....	42
Tablo 5.14. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 90 dk öğütülen toz sonuçları .....	43
Tablo 5.15. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 105 dk öğütülen toz sonuçları .....	44
Tablo 5.16. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 120 dk öğütülen toz sonuçları .....	45
Tablo 5.17. 35 Hz (2100 devir / dk) süre 90 dk öğütülen toz sonuçları.....	47
Tablo 5.18. Süre 90 dk öğütülen toz sonuçları .....	48
Tablo 5.19. Tasarlanan öğütücüde 15 dk sabit sürede farklı hızlarda öğütülmüş SiC tozunun toz boyut analizleri.....	61
Tablo 5.20. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda öğütülmüş SiC tozunun farklı dakikalardaki toz boyut analizleri.....	62
Tablo 5.21. Gezegen ve tasarlanan öğütücüde 90 dk öğütülmüş ve hiç öğütülmemiş SiC tozunun toz boyut analizleri.....	66

## ÖZET

Anahtar kelimeler: toz metalürjisi, yüksek enerjili öğütme, öğütme, karıştırma

Bu tez çalışması kapsamında, toz metalürjisi yönteminde kullanılan mevcut karıştırma ve öğütme metotlarının dışında yeni bir yüksek enerjili öğütme ve karıştırma sisteminin tasarlanması ve cihazın üretimi gerçekleştirilmiştir. Tasarımın tamamlanması için sistemin optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilecek ve bu süreçte alınan sonuçlar ve çalışma şartlarına göre cihaz geliştirilerek tasarımı ve üretimi tamamlanmıştır. Böylece emsallerine göre daha kısa sürede, daha verimli ve enerji tasarrufu sağlayan bir sistem ortaya çıkması başarılmıştır. Bu amaç doğrultusunda tasarlanan toz öğütme makinası orbital ve lineer olarak birbirilerine bağımlı ve bağımsız çalışabilecek kabiliyette tasarlanmıştır. Farklı proses parametreleriyle yapılan verimlilik testleri sonucunda, benzer nitelikte ticari olarak temin edilebilen yüksek enerjili öğütme sistemlerinden daha kısa sürede ve yüksek verimlilikle öğütme işlemlerini gerçekleştirebildiği ortaya konmuştur.

# **THE DESIGN OF NEW TYPE MECHANIC MIXER IN POWDER METALLURGY AND INVESTIGATION OF ITS EFFICIENCY**

## **SUMMARY**

Keywords: powder metallurgy, high energy milling, grinding, mixing

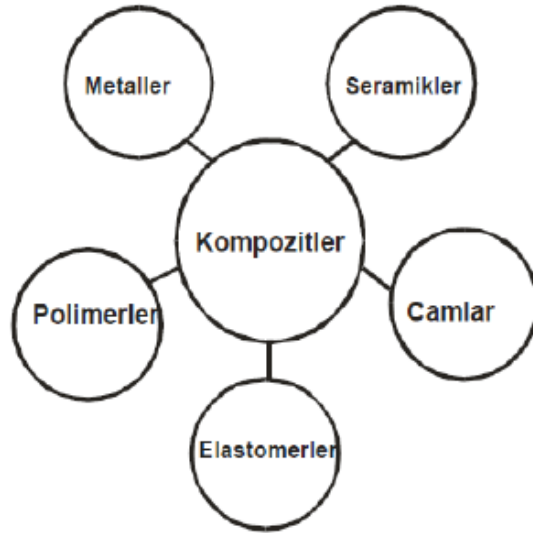
Within the scope of this thesis, a new high-energy grinding and mixing system has been designed and manufactured apart from the existing mixing and grinding methods used in the powder metallurgy process. In order to complete the design, optimization studies of the system will be carried out and the design and production have been completed by improving the machine according to the results and working conditions. Thus, in a shorter period of time than its predecessors, a more efficient and energy-saving system has been achieved. The high energy milling machine is designed to be able to operate dependently and/or independently both orbitally and linearly. As a result of the efficiency tests conducted with different process parameters, it has been demonstrated that grinding operations can be performed in a shorter time and with higher efficiency than similar commercially available high energy grinding systems.



## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, geleneksel malzemelere oranla daha üstün özelliklere sahip yeni malzemelerin kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu sayede diğer malzemelerden daha üstün niteliklere sahip “Kompozit Malzemeler” adı altında yeni malzemeler üretilmiştir [1, 2, 3].

Kompozit malzeme, birbirinden biçimleri ve kimyasal bileşimleriyle ayrılmış ve esas olarak birbiri içersinde çözünmeyen, iki veya daha çok mikro veya makro bileşenin karışımı veya birleşimiyle oluşan malzemedir [4]. Kompozit malzemeler Şekil 1.1. 'de görüldüğü gibi farklı malzemelerin birleştirilmesiyle oluşmaktadır [5].



Şekil 1.1. Matris malzemeler [6].

Farklı matris ve takviye malzemelerinin kullanılıyor olması metal matrisli kompozitlerin üretiminde farklı tekniklerin geliştirilmesine sebep olmuştur. Bu

tekniklerden bir tanesi de toz metalürjisidir [7]. Toz metalurjisinin amacı, mekanik ve fiziko-kimyasal yöntemlerle metal ve metalik alaşımların tozlarını üretmek ve tozlardan eritmeden basınç ve sıcaklık yardımıyla iş parçası üretmektir [8].

## **BÖLÜM 2. SERAMİKLER**

Seramik, Yunanca pişirilmiş eşya manasındaki “keramos” kelimesinden türemiştir [9]. Seramik malzemeler, metal ve ametal elementlerin birbirlerine birinci seviyede iyonik ve kovalent bağlarla bağlandığı inorganik, metal olmayan malzemelerdir [10].

Seramik malzemeler farklı farklı bileşimlerde kristal ve cam yapılı fazları barındırmakta ve genellikle bünyesinde gözenek bulundurmaktadır. Bu bileşenlerin miktarı seramiklerin özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Örnek verecek olursak, yapıda bulunan fazların yerleşim düzenini değiştirmek, iletken olan bir seramik malzemeyi yalıtkan hale getirmekte veya bunun tam tersi olabilmektedir. Bu sebeple, farklı özelliklere sahip seramiklerin geliştirilmesi kapsamında ana fikir, mikro yapıya yoğunlaşmıştır [11].

İnsanoğlunun yaşamında su hayati öneme sahip olduğu için suyu taşıyabilmek ve saklayabilmek için kaplar yapma zorunluluğu hissetmiştir. İnsanlar, bir çeşit toprakta yağmur sularının oluşturduğu çukurlardaki suyun buharlaşması sonucu toprağın kuruması ile şeklini uzun süre koruduğunu görmüştür. Bu gözlemler insanlara kilin suyu tutma ve şekillendirilmesiyle alakalı fikirler vermiştir. Ateşin bulunmasıyla birlikte suyu koruyan kaplar pişirilerek sertleştirilmiş ve seramik kaplara dönüştürülmüşlerdir. Arkeologlar yaptığı çalışmalarda seramik kullanımının M.O. 6500 yıllarına kadar ulaştığını ortaya koymaktadır [11].

Japonların II. Dünya Savaşı öncesinde seramik konusunda dünyaya göre daha iyi olduğu bilinmektedir. Savaş sonrası, refrakter malzemelerin gelişmesiyle Japonlar, çelik imalatının ilerlemesine önemli katkılarda bulunmuştur [11]. Daha sonra seramikler teknolojinin ilerlemesiyle bilgisayarlarda ve elektronikte kullanılmaya

başlanmasıyla ileri seramikler üzerine araştırmalara geçilmiş ve bu araştırmalar giderek artmıştır [12].

### **2.1. Geleneksel Seramikler**

Geleneksel seramikler, kaolen, feldspat ve kuvars gibi diğer minerallerin kombinasyonu sonucunda elde edilen ürünler bu sınıfta tanımlanırlır. Piřirme kapları, porselenler, banyo ürün ve aksesuarları, sağlık gereçleri, süs ve dekorasyon eşyaları, tuğla ve benzeri yapı malzemeleri bu alandaki uygulamalardır [13, 14, 15].

Geleneksel seramikler sınıfında bulunan refrakterler; magnezit, krom-magnezit esaslı, fosferit, spinel, yüksek alüminalı, silikaalümina esaslı, süper refrakterler, zirkon esaslı olarak gruplara ayrılır. Refrakterler fırınlarda kaplama olarak, potalarda, filtre, metal üretim malzemeleri olarak, kalıp ve ısıtma elemanları olarak çok önemli uygulamaları olan seramiklerdir [14, 16].

### **2.2. İleri Teknoloji Seramikler**

İleri teknoloji seramikler oksitler, karbürler ve nitrürlerin saf bileşenlerdir. Son yüzyılın en etkili bilimsel gelişmeleri sonucu ortaya koyulan ileri teknoloji ve buna bağlı en yeni uygulama alanında özel bir yeri vardır.

Bilgisayar teknolojisinin hızlıca gelişiminde entegre devre paket altlıklarında uygulanan, üstün termal özelliklere sahip seramik malzemelerin büyük görevi olmuştur [17]. Aşınmaya, kimyasal etkilere ve yüksek sıcaklıklara dayanıklılık, yüksek mukavemet, rijitlik ve sertlik, boyutlarda kararlılık gibi yüksek özellikleri nedeniyle son zamanlarda uçak ve uzay endüstrisinde büyük ölçüde kullanılmaktadırlar [18].

### 2.2.1. Zirkonya

Zirkonya, kendine has olan özellikleri ile oldukça önemli bir yerdedir. En önemli özelliğinden birisi yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesidir. Zirkonya ısıl şoka karşı da oldukça dayanıklıdır. Buna ek olarak iyi bir korozyon direnci gösterirler. Isı geçişine engel olmak için de dizel motorlarında kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlarda zirkonya içeren seramiklerin kullanılmasına yönelik araştırmalar da devam etmektedir [44].

Zirkonya monoklinik (m), tetragonal (t) ve kübik (k) olarak üç farklı kristal yapıda bulunur. Oda sıcaklığından 1170 °C'ye kadar monoklinik yapıdayken 1170 °C'den 2370 °C'ye kadar ise tetragonal yapıdadır. 2370 °C'nin üzerinde yapı kübiktir [45].

### 2.2.2. Alümina

Alümina 2000 °C civarında ergime noktasına sahiptir. Mekanik yüklere karşı orta sıcaklıklarda en dayanıklı Refrakter malzemelerden biridir. Diğer seramiklere göre daha düşük bir ergime noktası olduğu için kullanımı sınırlanmaktadır. Bunun yanında çok yüksek bir sertliğe sahiptir. Alümina genel olarak korundum halinde bulunduğu gibi diğer minerallerin bileşiminde de yer almaktadır. Alüminanın saflık oranı arttıkça elektrik ve aşınma direncinde de artış olmaktadır [45, 46].

Alümina tozlarının istenilen özelliklerde ve çok düşük mikron boyutlarında üretilmesi için birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda istenilen özellikleri verebilecek alümina tozlarının hazırlanması için farklı farklı yöntemler geliştirilmiştir. Boksit rezervi yönünden değişik olan bazı yerler alümina ekstraksiyonu için farklı ve değişik metotlar geliştirmişlerdir. Asidik yöntemler, elektrotermik yöntemler, bazik yöntemler, sinter metodu, kavurma metodu ve indirgeme metodu olarak alümina üretim yöntemlerini sınıflandırabiliriz. Bugün dünyada ticari alümina gereksiniminin büyük çoğunluğu hammadde olarak boksitin kullanıldığı ve bazik sistemlerden bir tanesi olan Bayer prosesi ile üretilmektedir [47].

### 2.2.3. Silisyum karbür

Karbür bileşikler sınıfında bulunan silisyum karbürün, atom ağırlığı 40,1 g/mol ve yoğunluğu 3,21 g/cm<sup>3</sup> tür. Silisyum karbürün kısaltması “SiC” olarak gösterilmektedir. Doğada bileşik olarak bulunmamasına karşın, ana bileşenleri olan karbon ve silisyuma, oldukça yüksek miktarda rastlanmaktadır. SiC çok sert, aşındırıcı bir malzeme olmasıyla birlikte, yüksek sürünme mukavemetine sahiptir [19, 20]. Tablo 2.1.’de silisyum karbürün özellikleri belirtilmiştir.

SiC, bu özellikleri ile muazzam bir termal sok dayanımı sunar. Isısal iletkenlik kristal yapıda çözünen safsızlıkların mevcut olmasından etkilenir. Yüksek saflık oranında ticari SiC elde etmek zordur, bunun nedeni ise sinterleme için kullanılan safsızlıklar veya tepkimeyi bağlamada kullanılan silisyumda bulunan safsızlıklar yüksek saflıkta SiC elde etmeyi engeller. Sinterlenmiş silisyum karbür, seramiklerin içinde en dayanıklı olanlardan birisidir.

Silisyum karbürün ticari olarak kullanılmasını sağlamış özelliklerinden birisi sertliğidir. Acheson silisyum karbürün sertliğini bulduğu zaman elması bile kesebilecek bir yetenekten bahsetmiştir. Bu eksik bir açıklama dahi olsa SiC en iyi aşındırıcılardan bir tanesidir. Bor karbür kadar sert değildir fakat silisyum karbür kabuksal bir bileşim göstererek malzeme sıyırma işlemlerinde daha etkili olmaktadır [20, 21].

Tablo 2.1. Silisyum karbürün özellikleri [22].

Kompozisyon	SiC
Molekül Ağırlığı (g/mol)	40,097
Renk	Saf ise sarıya yakın yeşil
Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	3,211
Ergime Sıcaklığı	~2545 °C (1atm'de)
Vickers Sertliği (GPa)	24,5-28,2
Elastisite Modülü (GPa)	441-475
Kayma Modülü (GPa)	192
Hacim (Bulk) Modülü	96,6
Poisson Oranı	0,142
Kırılma Mukavemeti (MPa)	350-600
Kimyasal Dayanımı	Oda sıcaklığında inerttir

#### 2.2.4. Kuvars

10'luk Mohs skalasında 7 sertliğinde bulunan kuvars mekanik etkilerle aşınmamasından ve su içinde çözünmemesinden dolayı dünya üzerinde en çok bulunan elementtir. Öte yandan kuvvetli yapısıyla yapısı içerisine son seviye de az iyonik değişiklikler vardır.

Kuvars dünyanın her tarafında bulunabilmesi ve kendisine özgü özellikleriyle sanayide kendisine son derece büyük bir kullanım alanı bulur. Kuvarsın sonuncu seviyede düşük iç sürtünmesi sebebiyle kaliteli bir piezoelektrik özelliği vardır, buna ek olarak diğer silikat malzemelere oranla çok yüksek termal genleşme katsayısı mevcuttur ve kimyasal olarak son seviye de inerttir. Kuvarsın sanayide en çok kullanıldığı yerler; elektronik, optik endüstrisi (sentetik tek kristal kuvars) ve cam-seramik hammaddesi olarak söylenebilir [23, 24, 25].

## **BÖLÜM 3. ÖĞÜTÜCÜ SİSTEMLER VE MEKANİK ALAŞIMLAMA**

### **3.1. Değirmenler**

#### **3.1.1. Spex Shaker Değirmenleri**

Bir seferde yaklaşık olarak 10-20 g toz alan SPEX değirmenleri, laboratuvar incelemeleri ve alaşım tarama işlemleri için en sık kullanılan değirmenlerdir. Değirmen genel olarak, toz örneğini ve bilyaları içeren, kelepçede sabitlenmiş ve dakikada belirli devirde ileri geri salınım yapan bir toz haznesi vardır. Hazne ileri-geri hareket ettikçe 8 veya sonsuzluk simgesini tanımladığı görülür. Toz haznesinin her salınımında, bilyalar toza ve hazneye etki eder, numune öğütülerek karıştırılır. Kelepçenin genliği (yaklaşık olarak 5 cm) ve hızı (yaklaşık 1200 devir / dakika) bu nedenle, bilya hızları yüksek (5 m / s seviyesinde) ve dolayısıyla bilyanın darbesinin gücü olağanüstü derecede yüksektir. Bu sebeple, yüksek enerjili değirmenler olarak düşünülebilir.

SPEX değirmenlerinin en son yapılan tasarımında, verimliliği yükseltmek için tozun iki haznede aynı anda öğütülmesi sağlanır. Bu değirmen, uzun süren öğütme sürelerine imkân vermek için soğutmaya içerir. SPEX değirmenleri için farklı farklı hazne malzemeleri mevcuttur; silisyum nitrür, alümina, tungsten karbür, zirkonya, sertleştirilmiş çelik, paslanmaz çelik ve akik içerir. SPEK değirmeni için tungsten karbür toz haznesi, conta ve öğütme toplarının bir örneği şekilde gösterilmektedir.





Şekil 3.1. Spex değirmen

SPEX değirmenlerinin bazı dezavantajları da vardır. Birincisi, bilyalar hazneye çarpmak yerine haznenin etrafına dolanabilir; bu olay öğütmenin yoğunluğunu azaltır. İkinci ise, toz "8" in gözlerinde toplanıp öğütülmemiş olabilir [26].

### 3.1.2. Gezegenel bilyalı değirmenler

Toz öğütmek için kullanılan diğer değirmen, yüz gramdan fazla tozun aynı anda öğütülebileceği gezegenel tip bilyalı değirmendir. Gezegenel bilyalı değirmen adını gezegene benzeyen toz haznelerinin hareketine borçludur. Çalışma mekanizması genel olarak, haznelerin dönen bir disk üzerinde ve kendi eksenlerinde dönmesiyle gerçekleşir.



Şekil 3.2. Gezegen tipi öğütücü (Suryaranayana, 2001).

Gezegensel tip değirmenlerdeki öğütme bilyaları, santrifüjlü değirmenlerdeki bilyalardan daha yüksek etki enerjisi elde eder. Hız azaldıkça, öğütme bilyaları etkisini kaybeder ve enerji yeteri kadar düştüğünde öğütme oluşmaz; sadece tozda karıştırma meydana gelir.

Bazı yüksek enerjili gezegensel tip bilyalı değirmenler, Rus bilim insanları uğraşları sonucu geliştirilmiştir. AGO-2U [27, 28] ve AGO-2M [29] gibi modeller yapılarak AGO değirmenleri olarak isimlendirilmiştir. Bu değirmenlerin bazıları 2000 devir / dakikadan daha yüksek devirde kullanılabilir [27].

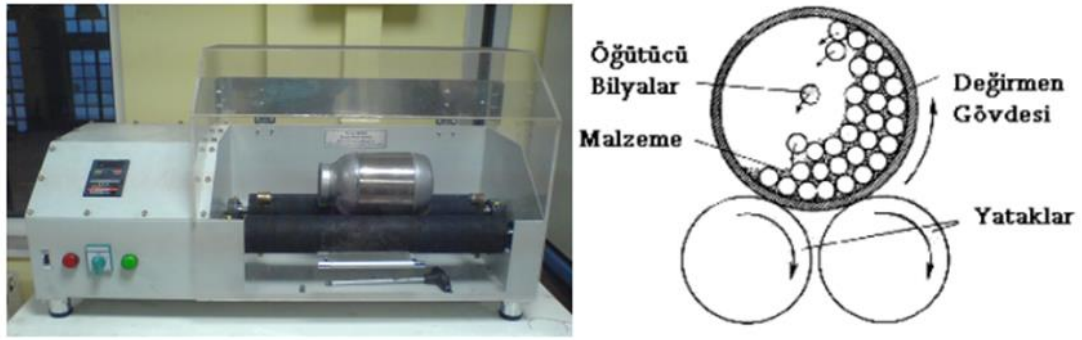


Şekil 3.3. Gezegen tipi öğütücünün dönüş şeklinin şematik olarak gösterimi

### 3.1.3. Bilyalı değirmen

Öğütme ortamında çelik bilyalar bulunan değirmenlere “bilyalı değirmen” denir. Genellikle öğütmenin son aşamasında kullanılır. Çubuklu değirmenlere göre daha küçük mikronmetre boyutunda ürün veren bu öğütücülerde boyun çapa olan oranı 1 ile 1.5 arasında değişiklik göstermektedir. Genel olarak öğütmelerde, ince toz boyutu isteniliyorsa değirmenin boyu daha uzun tercih edilir [30, 31, 32].

Bilyalı değirmenlerde öğütme, çelik bilyaların tozlar ile temas etmesi sonucunda gerçekleşmektedir. Gerekli süre verilmesi durumunda bu öğütücüler ile istenilen incelikte ürün elde edilebilmektedir. Bundan dolayı bilyalı değirmenler ile 50 mikrondan daha düşük öğütme yapmak mümkündür. Fakat açık devre çalıştırılan bilyalı öğütücülerden elde edilen tozlar çok geniş aralıklı tane boyutuna sahiptir. Bu problemi çözmek için tozların öğütücü içerisinde kalma süresinin daha az olduğu kapalı devre öğütücüler tercih edilmelidir. Diğer bir deyişle bilyalı değirmenlerde öğütülmüş ince boyutlardaki toz, sistemden uzaklaştırılarak iri taneli tozlarla öğütme işlemi devam ettirilmelidir [30, 31, 32].



Şekil 3.4. Bilyalı değirmen ve çalışma prensibi

### 3.1.4. Jet değirmen

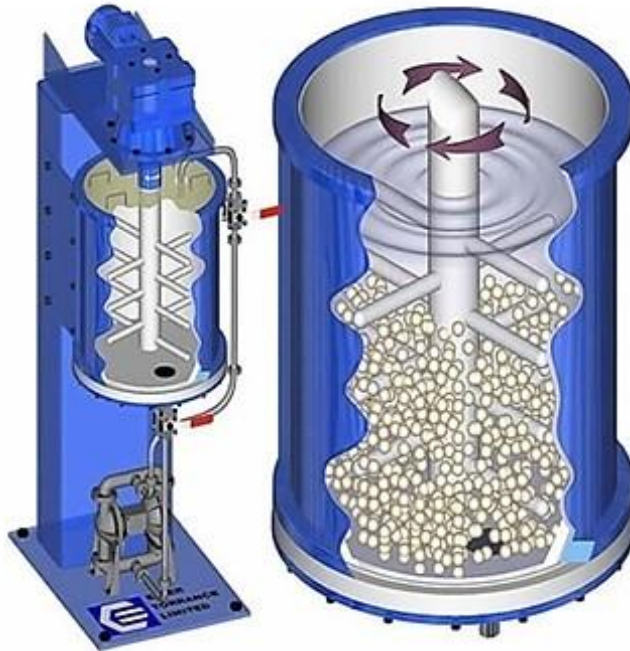
Genel olarak jet değirmenler, değirmenin içine çok yüksek basınçlarda hava verilmesi ile tanelerin birbirlerine ve değirmenin gövdesine çarpması sonucu oluşan darbe ve aşınma etkisiyle öğütme işlemini gerçekleştirilmektedir. Farklı tiplerde tasarlanan jet tipi değirmenler de mevcuttur. Besleme boyutu 0.5 mm'den küçük olan bu tip değirmenler ile birkaç mikrona kadar öğütme yapmak mümkündür. Bu sistemlerde, nozuldan yüksek basınçlardaki havanın etkisi ile çıkan malzeme hızlanarak öğütme odasına girmektedir. Öğütme odası aşınmayı en düşük seviyelere indirecek şekilde tasarlanmıştır. Malzeme bu bölgedeki çepere ve birbirlerine çarparak ince taneler haline gelmektedir. Sistemdeki öğütülen malzeme ise akışkanın davranışı ile taşınarak havalı bir separatörden geçerek ince taneler bırakıldıktan sonra kaba taneler tekrar sisteme geri dönmektedir. Jet değirmenlerde akışkan olarak; hava, herhangi bir inert gaz veya sıcak basınçlı buhar tercih edilmektedir.

Akışkanların basınçları malzemenin sertliğine göre değişkenlik göstermektedir [32, 33].

### 3.1.5. Atritör değirmen

Geleneksel bir bilyalı öğütücü, çelik bilyalarla yarısına kadar doldurulmuş dönen yatay bir tamburdan oluşur. Tambur dönmeye başladığında topraklar öğütölmekte olan toprakların üzerine düşer; öğütmenin hızı döndürme hızı ile doğru orantılıdır. Bununla beraber, yüksek hızlarda, çelik bilyelere tesir eden merkezkaç kuvveti yer çekimi kuvvetini geçer ve bilyeler tambur duvarına sabitlenir. Bu esnada öğütme işlemi durur.

Attritör değirmen ortamının hızı gezegensel veya SPEX değirmenlere göre çok daha düşüktür (yaklaşık 0,5 m / s) ve bu sebeple attriter değirmendeki öğütme enerjisi düşüktür. Farklı boyut ve kapasitelerde hazneler mevcuttur. Öğütme hazneleri genellikle paslanmaz çeliktir

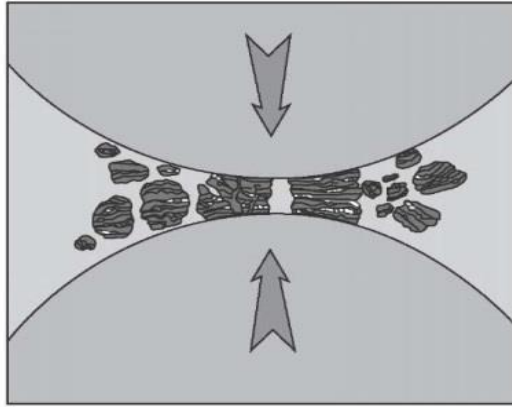


Şekil 3.5. Atritör değirmen

Atritör değirmenin çalışma prensibi oldukça basittir. Öğütülecek olan tüm elementel tozlar ve oksitler çelik bilyalar ile birlikte sabit bir hazneye yerleştirilir. Bu karışım daha sonra, yaklaşık olarak 250 devir / dakika'lık bir hızda dönen, çubuklarla donatılmış bir mülle karıştırılır. Bu ortam malzemede hem kesme hem de darbe kuvvetleri uygular. Laboratuvar atritörü, geleneksel bilyalı değirmenden yaklaşık olarak 10 kat daha hızlı çalışır [34].

### 3.2. Mekanik Alaşımlama

Mekanik öğütücülerle boyut küçültme işleminin temelinde numuneye, öğütücü ortam ve numune arasındaki çarpışmalar sonucu enerji uygulamasına dayanır. Şekil 3.6.'da öğütücü ve içindeki işlemler verilmiştir [35].



Şekil 3.6. Mekanik aşındırma ile parçacıkların küçültülmesi [36, 37].

Şekil 3.6.'daki model çarpışma modelini göstermektedir ve görüldüğü gibi parçacıklar iki çarpışan bilye arasında kalmaktadır. Öğütücü ortamda yoğun toz bulutu, bilyeler ve toz parçacıkları bulunmaktadır. Tozların bilyeler arasında sıkışmasında ilk aşama yeniden düzenlenme ve yığın oluşturmadır. Parçacıkların birinden diğerine doğru en az deformasyon ve kırılma ile kaymasıyla ince ve düzensiz parçacıklar oluşur. Sıkışmanın ikinci aşamasında ise parçacıkların elastik ve plastik deformasyona uğraması söz konusudur. Bu aşamada metalik sistemlerde soğuk kaynama görülür.

Üçüncü aşamada ise parçacıkların daha fazla deformasyona uğraması ya da parçalara ayrılmasıyla kırılmalar gözlenir [35, 38].

Mekanik alaşımlama için gerekli olan hammaddeler, 1-200 mikron aralığında parçacık boyutlarına sahip saf tozlardır. Bununla beraber, toz parçacık boyutu önemli değildir, ama bilya boyutundan daha küçük olmalıdır. Bunun sebebi, toz boyutunun öğütme sırasında giderek azalması ve bir süre sonra birkaç mikrometre değere ulaşmasıdır.

Dağılımı sağlanmış malzemeler genellikle oksitler, karbürler ve nitrürler içerir. Mekanik alaşımlamanın ilk zamanlarında, mekanik alaşımlama için toz yükü, bir temel madde veya bir bağlayıcı işlevi olmak üzere sünek, sıkıştırılabilir biçimde deforme olabilen metal tozun en düşük % 15 hacimden oluşuyordu. Bununla beraber, son zamanlarda kırılğan malzemelerin karışımları öğütülmüş ve başarıyla alaşım oluşmuştur[39]. Bu sebeple, öğütme işlemi sırasında sünek metal tozuna ihtiyaç duyulması artık eskisi kadar gerekli değildir. Sonuç olarak, kırılğan-gevrek, sünek-gevrek veya sünek-sünek toz karışımları, yeni alaşımlar üretmek için öğütüldü.

Ara sıra, metal toz karışımları bir sıvı ile öğütülür (burada amaç sıvının sadece öğütmeyi kolaylaştırmasıdır, fakat toz ile alaşım haline gelmez) ve buna ıslak öğütme [40, 41]; Bir sıvı katılmaz ise, işlem kuru öğütme olarak isimlendirilir. Toz parçacıklarının yaş ortamda daha az aglomere olması da yararlı bir faktördür. Islak öğütme ile kuru öğütme karşılaştırıldığında, ıslak öğütmenin şekilsizleşme oranının daha hızlı olduğu bildirilmiştir [42]. Bununla beraber, yaş öğütmenin dezavantajı öğütülmüş olan tozun kontaminasyonunun artmasıdır. Bu nedenle toz öğütme işlemlerinin çoğu kuru yapılır. Bununla birlikte kuru öğütme, bazı durumlarda, ıslak öğütmeden daha etkilidir [43].

## BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Cihaz Tasarım ve Üretiminde Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar

Tasarlanan makine tamamen özgün tasarım olmakla birlikte 85 cm x 55 cm boyutlarında, laboratuvarlara uygun olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.1. Tasarlanan makinenin dıştan görünüşü

#### 4.1.1. Dış kabin

Tasarlanan makinenin plc touch panelinin, acil stop butonunun ve güç girişinin üzerinde bulunduğu kabin. 3 mm'lik saçtan yapılmıştır. Konstrüksiyon şaseye 16 adet civata ile bağlıdır. Makinenin iç mekanizmasına zarar gelmesini engeller.



#### 4.1.2. Motor

İki adet 3000 devirlere kadar çıkabilen motor kullanılmıştır. Motorlardan biri lineer hareket için diğeri ise orbital hareket için kullanılmıştır. Plc touch panelden motorların gücü yüksek ve düşük devirlere ayarlanabilir.



Şekil 4.2. Projede kullanılan motor

#### 4.1.3. Paslanmaz çelik bilyeler

Toz öğütme işleminin en gerekli malzemelerinden olan bilyeler, paslanmaz çelik ve çapları da 8mm olarak kullanılmıştır.

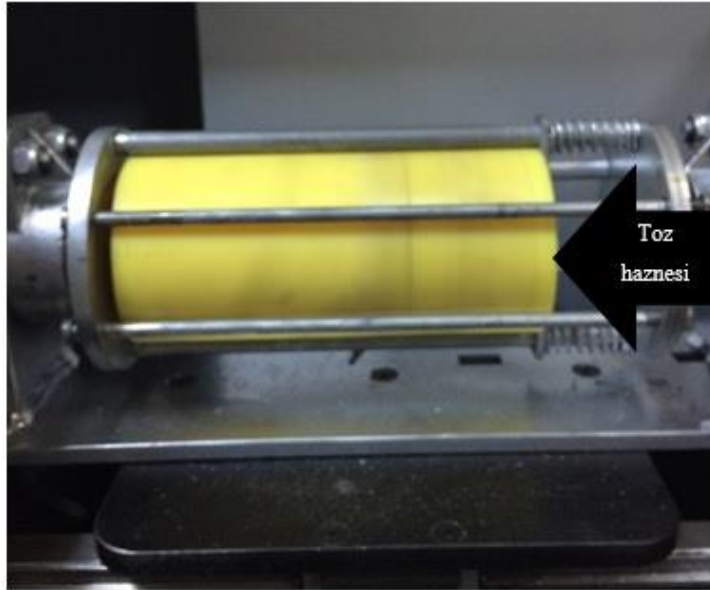




Şekil 4.3. Projede kullanılan bilyeler

#### 4.1.4. Toz haznesi

Toz öğütme işleminin gerçekleştiği, içerisinde toz ve bilyelerin bulunduğu sert plastikten oluşan silindir kap. Uzunluğu 150 mm dış çapı 80 mm ve iç çapı 70 mm'dir.



Şekil 4.4. Projede kullanılan toz haznesi

#### 4.1.5. Güç kaynağı

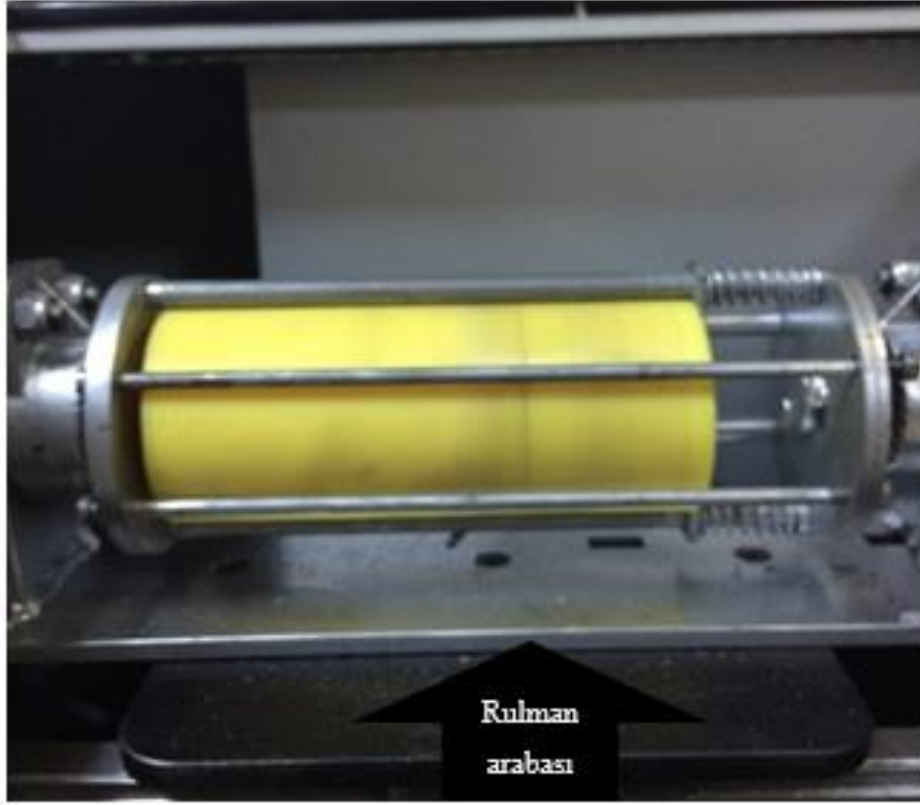
Plc ekrana, şerit led lambalara ve inverterlere elektrik gücünü iletmek için kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Projede kullanılan güç kaynağı

#### 4.1.6. Rulman arabası

Toz haznesinin koyuldu yatağın lineer hareketini rahatça sağlayabilmesi için koyulmuştur.



Şekil 4.6. Projede kullanılan rulman arabası

#### **4.1.7. Konstrüksiyon şase**

Makinenin iç sisteminin üzerine sabitlendiği 15 mm kalınlığında çelik bir şasedir.

#### **4.1.8. Vibrasyon takozu**

Makinenin yüksek devirlerde çalışmasından dolayı meydana gelen yüksek titreşimi daha aza indirmek için kullanılmıştır. Konstrüksiyon şase ile rulman arabası arasına sabitlenmiştir.



Şekil 4.7. Projede kullanılan vibrasyon takozu

#### **4.1.9. Rulmanlar**

Makine yüksek devir/dk hızlara ulaştığı için sürtünmeyi ve oluşan güç kaybını en aza indirmek için kullanılmıştır.

#### **4.1.10. Acil stop butonu**

Makine yüksek devirlerde çalıştığı için oluşabilecek herhangi bir sorunda makineyi anında durdurarak sorunu engellemek için konulmuştur.



Şekil 4.8. Projede kullanılan acil stop butonu

#### 4.1.11. İnverter

Sistem için gerekli hız, motorun frekansını ayarlamaya yardımcı inverter cihazı kullanılarak sağlanmıştır. İnverter kullanımını daha basit ve pratik hale getirmek için plc touch panel kullanılmıştır. Bu sayede istenilen devir hızları kolaylıkla ayarlanmaktadır.



Şekil 4.9. Projede kullanılan inverter



#### 4.1.12. Plc touch panel

Orbital ve lineer hareketlerin istenilen devirlerde çalıştırılmasını ayarlamak için koyulmuştur. Bu işlemi inverterler yardımıyla motorlara iletmektedir.



Şekil 4.10. Projede kullanılan plc touch panel

## 4.2. Karışık Mühendislik Problemleri ve Çözümleri

### 4.2.1. Toz haznesinin kapağı



a)

b)

c)

Şekil 4.11. a)toz haznesi b)toz haznesinin kapağı c)toz haznesi kapağının açacağı

Tozların küçük boyutlara inmesi nedeniyle kapak ve hazne arasına girerek kapağın açılmasını zorlaştırıyordu. Kapaktan karşılıklı olarak 5 mm kesilerek ve kapak açacağı yapılarak sorun giderilmiştir.

#### 4.2.2. Vida kesmesi



a)

b)

Şekil 4.12. a) ayakların sabitlendiği metrik 6 vidalar b) kesilmiş metrik 6 vidalar

Ayakların sabitlediği vidalar metrik 6 olup küçük geldiğinden dolayı makinenin yüksek devirlerde çalışmasından dolayı oluşan yüksek titreşimin etkisiyle kesilmiştir. Metrik 6 vidalar yerine metrik 10 olan saplamalar kullanılarak bu sorun çözülmüştür.



a)

b)

Şekil 4.13. a) metrik 6 vida yerine kullanılan metrik 10 vidalar b) ayakların sabitlendiği metrik 10 vidalar

### 4.2.3. Güç kaynağı yanması



a)

b)

Şekil 4.14. a) yanan güç kaynağı b) yerine koyulan yeni güç kaynağı

Yüksek titreşimin ve uzun süre çalışması sebebi ile güç kaynağı yanmıştır. Yerine yenisi takılarak ve yeri değiştirilerek bu sorun çözülmüştür.

## 4.3. Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri

### 4.3.1. Elek analizi

Toz boyutlarını belirlemek için 5adet elek kullanılmıştır. Bunların boyutları; 300  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 45  $\mu\text{m}$  ve 32  $\mu\text{m}$ 'dir. Eleme işleminin kısa sürmesi için elek sarma makinesi kullanılmıştır. Eledikten sonra eleklerde kalan tozlar,  $\mu\text{m}$  boyutlarına göre ayrılarak kilitli poşetler içinde saklanmaktadır ve eleklerde kalan tozlar Ağ. % olarak hesaplanarak rapor hazırlanmıştır.





a)

b)

Şekil 4.15. a) 32  $\mu\text{m}$  elek, b) 45  $\mu\text{m}$  elek

a)

b)

Şekil 4.16. a) 100  $\mu\text{m}$  elek b) 150  $\mu\text{m}$  elek

a)

b)

Şekil 4.17. a) 300  $\mu\text{m}$  elek b) elek sarsma makinesi

### 4.3.2. SEM analizi

SEM incelemesi ve EDS analizi çalışmaları Jeol Jsm-6060LV marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin yüzey özelliklerinin morfolojisini yüksek çözünürlükte görerek toz boyut dağılımını incelenmesine yardımcı olmuştur. Bunun yanında tozun kimyasal yapısını da incelenmesini sağlamıştır. Alınan fotoğraf ve grafikler sonuçlar kısmında yer almaktadır.



Şekil 4.18. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

### 4.3.3. Toz boyut analizi

Öğütülen tozların, toz boyut dağılımı veren tane boyut dağılım analizi yapılmıştır. Tane boyut dağılım analizi Microtrac S3500 marka lazer toz boyut analiz cihazı ile yapılmıştır. Şekil 4.19.'da çalışmada kullanılan toz boyut analiz cihazının resmi görülmektedir.



Şekil 4.19. Microtrac S3500 marka lazer toz boyut analiz cihazı

Çalışmada kullanılan Malvern Nano ZS cihazında (Şekil 4.20.) ışık saçılımı tekniği ile protein ve nanopartiküllerin Zeta potansiyel İzoelektronik nokta tayini, boyut tayini, hidrodinamik çap ve molekül ağırlığı özellikleri elde edilmektedir. Numuneler, ölçüme hazır süspansiyon halinde getirilmelidir. Kimya, eczacılık, malzeme, polimer, çevre mühendisliği alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.20. Malvern Nano ZS zetasizer test cihazı

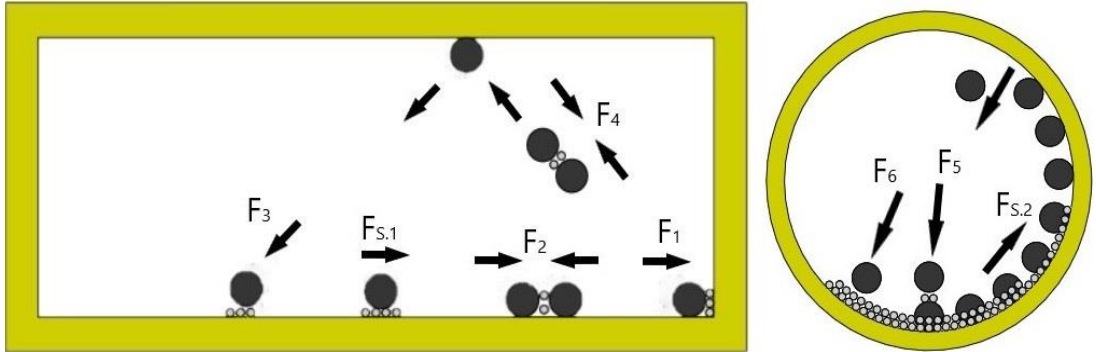
## BÖLÜM 5. SONUÇLAR

### 5.1. Çalışma Prensibi

Lineer karıştırıcı, birbirinden farklı toz malzemelerin mevcut sistemlerde kullanılan bilyelerin yardımıyla bir tüp içinde birbiriyle karıştırılması mantığına dayanmaktadır. Tüp, lineer eksende yüksek hızlarda ileri geri hareket ettirilmektedir. Karıştırıcı, bu işlem için gerekli hareketi krank-biyel mekanizması ile sağlamaktadır.

Krank miline bağlanan motorun dairesel hareketini krank, bağlantı çubuğu yardımıyla lineer harekete çevirmektedir. Kaydırma çubuğu üzerine yerleştirilen tüp, 0 ile 3000 devir/dk aralığında istenilen hızda kontrol paneli yardımıyla ayarlanarak hareket etmektedir.

Bu sayede tüp içindeki toz malzemeler, lineer hareketin sağladığı itki kuvvetiyle hareket etmektedir. Hareket esnasında toz malzemede oluşabilecek toz yığınları ve soğuk kaynama gibi olumsuz durumlar, tüp içindeki bilyeler yardımıyla ortadan kalkmaktadır.



Şekil 5.1. Sistemdeki kırıcı kuvvet mekanizması

Sistemin çalışma prensibi gereği, lineer ve orbital hareketler sonucu oluşan kırıcı kuvvet mekanizmaları Şekil 5.1.'de görüleceği gibidir. Dakikada 2100 kere 8 ayrı kırıcı kuvvete maruz kalan tozlar çok kısa süre içerisinde mevcut sistemlere göre daha küçük boyutlarda tozların öğütülmesine olanak sağlamaktadır.

Tüpün içerisinde, bilyelerin dışında karıştırıcı millerin olmaması, tozların hareketinin sadece ani hızdan kaynaklanan ivme yardımıyla olması, parçaların daha az deformasyona uğramasına ve aşırı yüzey sürtünmesinden kaynaklanan termal ısı artışının olmamasına olanak sağlar.

Maksimum 5kg'a kadar toz karıştırma kapasitesine sahiptir. Bu çalışmada, mevcut karıştırma ve öğütme metotlarının dışında yeni bir yöntem tasarlanmış ve üretilmiştir. Tozlar, krank biyel çalışma prensibiyle yatay eksen üzerinde yüksek devir/dakikalarda karıştırılmıştır.

Daha önceki yöntemlerde karşılaşılan az miktarda malzeme karıştırılması, yığın oluşturma, soğuk kaynama ve termal ısı artışı gibi dezavantajlar giderilmiştir. Bu dezavantajların yanı sıra maksimum 800-1000 devir/dk hızlarının daha da üzerine çıkılarak 1000-3000 devir/dk hızlara kadar ulaşılmıştır.

## **5.2. Tasarlanan Makine de Toz Öğütme İşlemi Sonuçları**

Toz öğütme için seçilen iki toz bulunmaktadır. Birisi kuvars diğeri ise SiC (Silisyum Karbür) tozudur. Başlangıç olarak SiC'ten daha düşük sertlikte olan kuvars tozu seçilmiştir. Daha sonra yüksek veriler elde edildiğinden dolayı SiC tozuna geçilmiştir.

### 5.2.1. Kuvars tozu öğütme işlemi sonuçları

Tablo 5.1. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme öncesi	29,91 g toz	242,17 g bilye
Öğütme sonrası	26,95 g toz	242,07 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
300 – 150 $\mu\text{m}$	% 4,52	
150 – 100 $\mu\text{m}$	% 0,78	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 27,64	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 41,67	
32 $\mu\text{m}$ >	% 15,17	
Toz Kaybı	% 10,22	

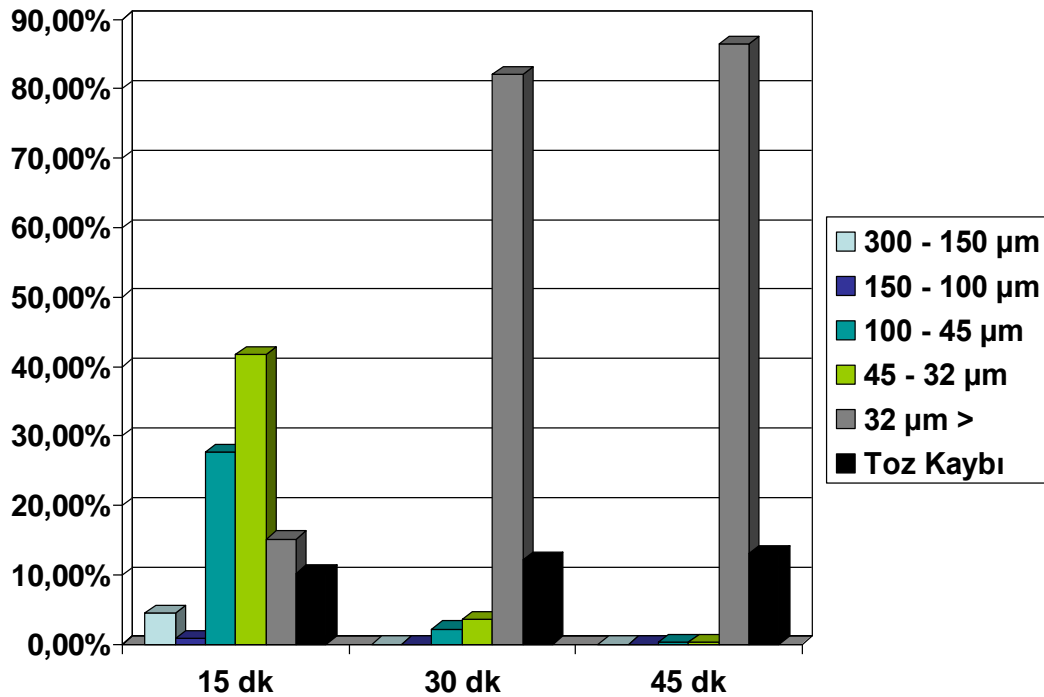
Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) hızlarda yapılan çalışma sonucunda Ağ.% 15,17 oranında tozun 32  $\mu\text{m}$  toz boyutunun altına düştüğü görülmektedir.

Tablo 5.2. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 30 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	22,25 g toz
Öğütme Sonrası	21,74 g toz
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)
300 – 150 $\mu\text{m}$	% 0
150 – 100 $\mu\text{m}$	% 0
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 2,20
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 3,54
32 $\mu\text{m}$ >	% 82,10
Toz Kaybı	% 12,16

Tablo 5.3. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 45 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	18,65 g toz
Öğütme Sonrası	18,09 g toz
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)
300 – 150 $\mu\text{m}$	% 0
150 – 100 $\mu\text{m}$	% 0
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 0,27
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 0,22
32 $\mu\text{m}$ >	% 86,41
Toz Kaybı	% 13,10



Şekil 5.2. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) öğütme sonuç grafiği

Yukarı da tablolardaki veriler Şekil 5.2.'deki grafiğe dökülmüştür. Bu grafikte kuvars tozunun zamana bağlı olarak toz boyutundaki değişimler gösterilmektedir. 32 µm altına inen toz miktarı zamanın artmasıyla Ağ. % 86 civarlarında görülmüştür. Bu kadar kısa süre içinde bu değişim tasarlana makinenin verimliliğini göstermektedir.

### 5.2.2. Silisyum karbür tozu öğütme işlemi sonuçları

Kuvars tozundan 32 µm altına düşen toz boyutu ağ. % 80 üzerinde olduğu için kuvars tozundan daha sert olan silisyum karbür tozu seçildi. Seçilen silisyum karbür tozunun verileri aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Verilere bağlı olarak optimum değer seçilmiştir. Silisyum karbür tozunun öğütülmeden önceki toz boyutu 120 – 140 32 µm arasındadır.

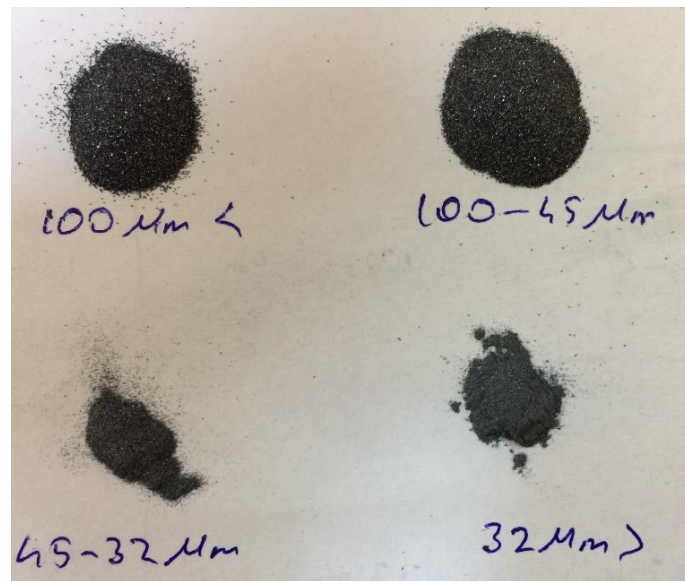


### 5.2.2.1. Orbital ve lineer hızlara bağlı olarak SiC tozu öğütme işlemi sonuçları

Aşağıdaki tablolarda zamana bağlı olarak SiC tozu, öğütüldükten sonra boyutlarına göre sıralanmış ve ağırlıkça yüzdeleri gösterilmiştir. Şekiller ise tozların öğütüldükten sonra boyutlarına göre ayrılmış olan fotoğraflarıdır.

Tablo 5.4. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	237,82 g bilye
Öğütme Sonrası	64,22 g toz	237,81 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 47,35	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 46,20	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 0,95	
32 $\mu\text{m}$ >	% 3,83	
Toz Kaybı	% 1,67	

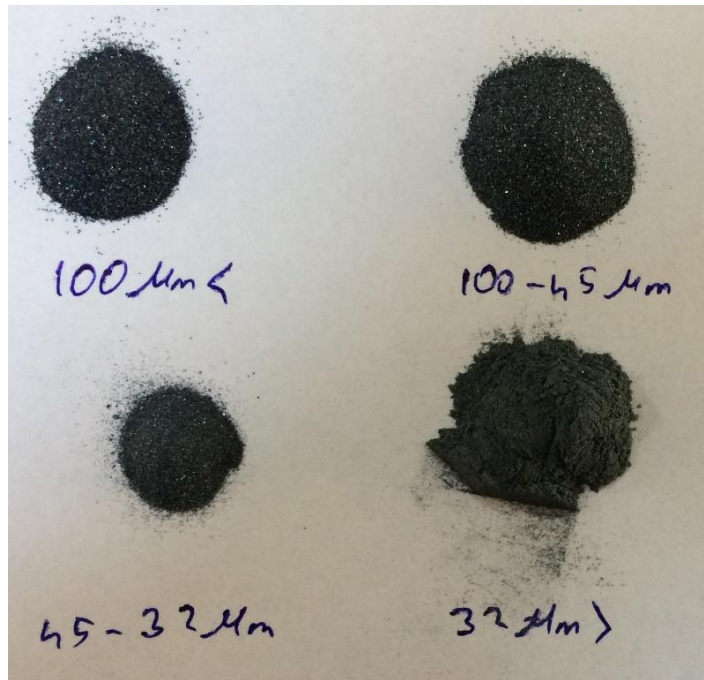


Şekil 5.3. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen tozların fotoğrafı

Tablo 5.5. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	238,17 g bilye
Öğütme Sonrası	65,14 g toz	238,15 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 50,35	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 42,80	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 0,30	
32 $\mu\text{m}$ >	% 3,91	
Toz Kaybı	% 2,64	

Tablo 5.4.'te verilen değerlerde 32  $\mu\text{m}$  altı toz Ağ.% 3,83 oranında elde edilmiştir. Tablo 5.5.'te ise bu oran Ağ.% 3,91'dir. Bu oranın artmasına, orbital harekette hızın 20 Hz'den 25 Hz'e yükseltilmesi etkili olmuştur.

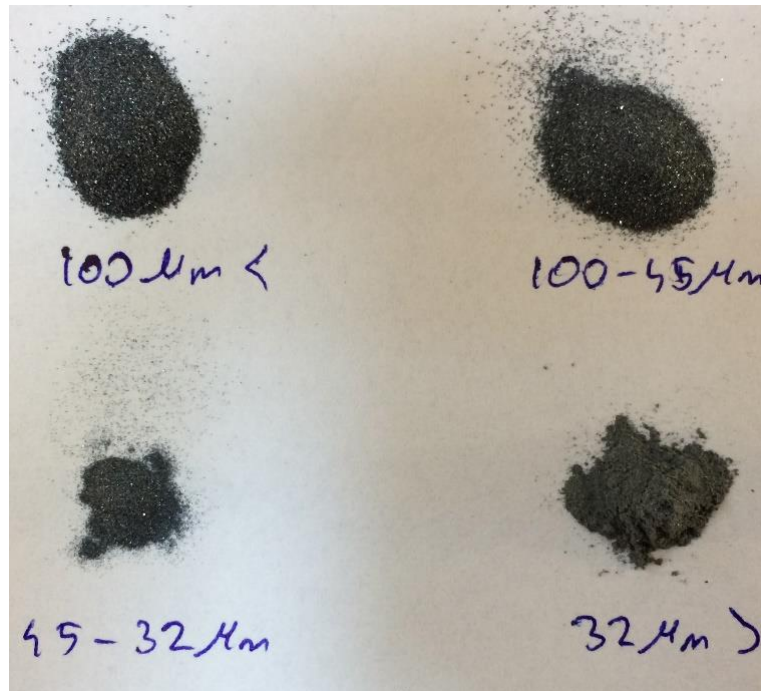


Şekil 5.4. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 30 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen tozların fotoğrafı

Tablo 5.6. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	238,22 g bilye
Öğütme Sonrası	65,60 g toz	238,17 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 47,85	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 43,61	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 0,32	
32 $\mu\text{m}$ >	% 4,84	
Toz Kaybı	% 3,38	

Tablo 5.4.'te verilen değerlerde 32  $\mu\text{m}$  altı toz Ağ.% 3,83 oranında elde edilmiştir. Tablo 5.6.'da ise bu oran Ağ.% 4,84'tür. Bu oranın artmasına, lineer harekette hızın 30 Hz'den 35 Hz'e yükseltilmesi etkili olmuştur.

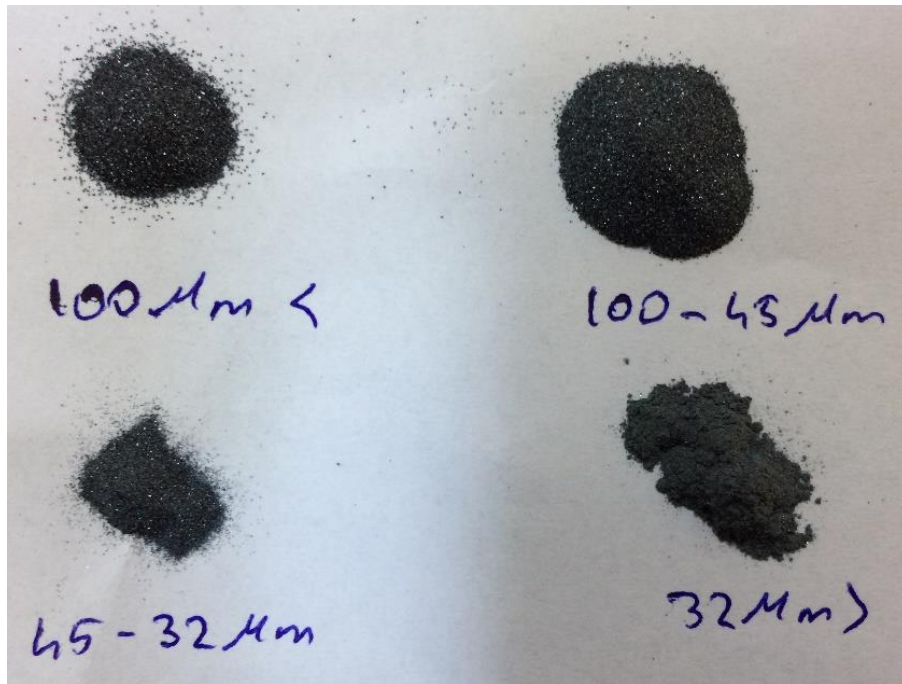


Şekil 5.5. Orbital = 20 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen tozların fotoğrafı

Tablo 5.7. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	237,81 g bilye
Öğütme Sonrası	63,76 g toz	237,78 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 34,06	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 50,50	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 1,63	
32 $\mu\text{m}$ >	% 10,13	
Toz Kaybı	% 3,68	

Tablo 5.6.'da verilen değerlerde 32  $\mu\text{m}$  altı toz Ağ.% 4,84 oranında elde edilmiştir. Tablo 5.7.'de ise bu oran Ağ.% 10,13'tür. Bu oranın artmasına, orbital harekette hızın 20 Hz'den 25 Hz'e yükseltilmesi etkili olmuştur.

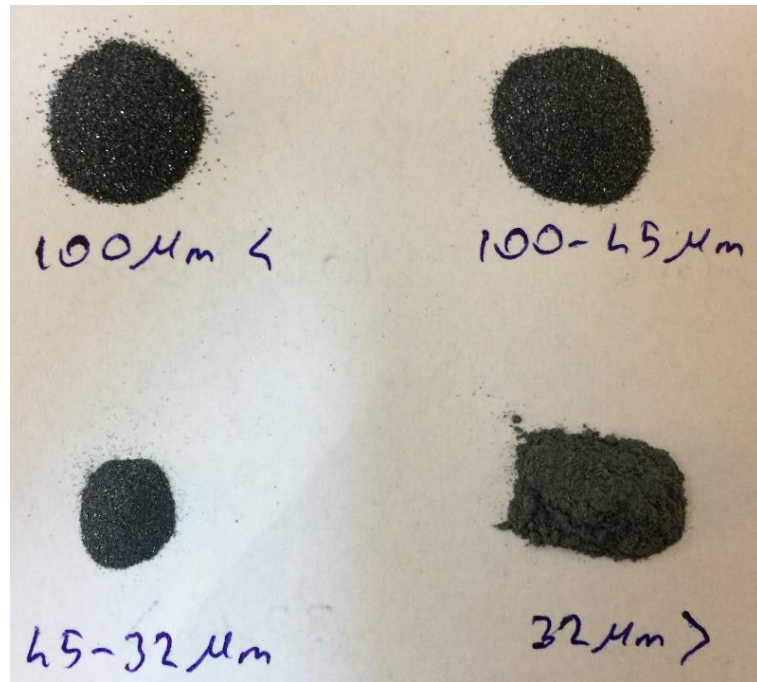


Şekil 5.6. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen tozların fotoğrafı

Tablo 5.8. Orbital = 30 Hz(1800 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	237,74 g bilye
Öğütme Sonrası	64,47 g toz	237,72 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 44,28	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 46,45	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 0,54	
32 $\mu\text{m}$ >	% 6,31	
Toz Kaybı	% 2,42	

Tablo 5.7.'de verilen değerlerde 32  $\mu\text{m}$  altı toz Ağ.% 10,13 oranında elde edilmiştir. Tablo 5.8.'de ise bu oran Ağ.% 6,31'dir. Bu oranın azalmasına, orbital harekette hızın 25 Hz'den 30 Hz'e yükseltilmesi etkili olmuştur.

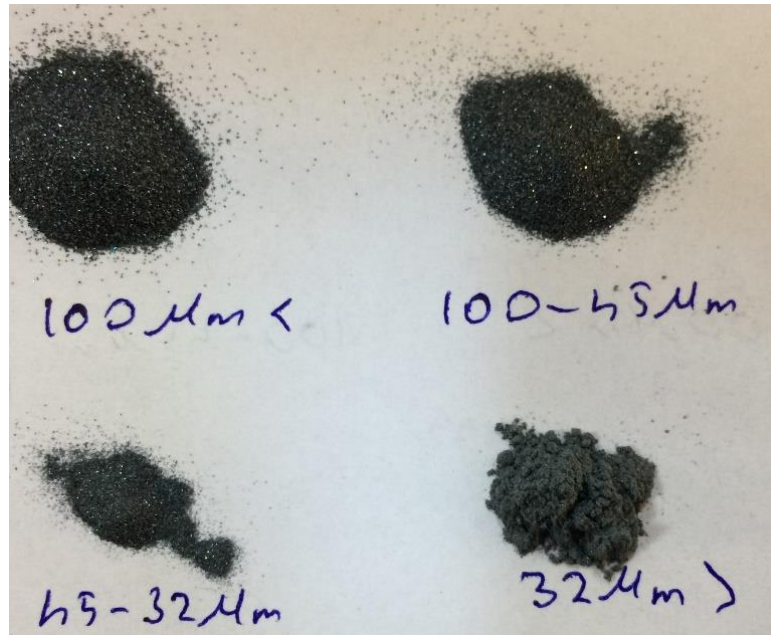


Şekil 5.7. Orbital = 30 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen tozların fotoğrafı

Tablo 5.9. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 40 Hz(2400 devir/dk) süre = 15 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	237,81 g bilye
Öğütme Sonrası	64,97 g toz	237,74 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 39,58	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 47,50	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 0,77	
32 $\mu\text{m}$ >	% 8,90	
Toz Kaybı	% 3,25	

Tablo 5.7.'de verilen değerlerde 32  $\mu\text{m}$  altı toz Ağ.% 10,13 oranında elde edilmiştir. Tablo 5.9.'da ise bu oran Ağ.% 8,90'dır. Bu oranın azalmasına, lineer harekette hızın 35 Hz'den 40 Hz'e yükseltilmesi ile birlikte Şekil 5.1.'de belirtilen kırıcı kuvvetlerden bazılarının etkisini kaybetmesinin etki ettiği görülmektedir.

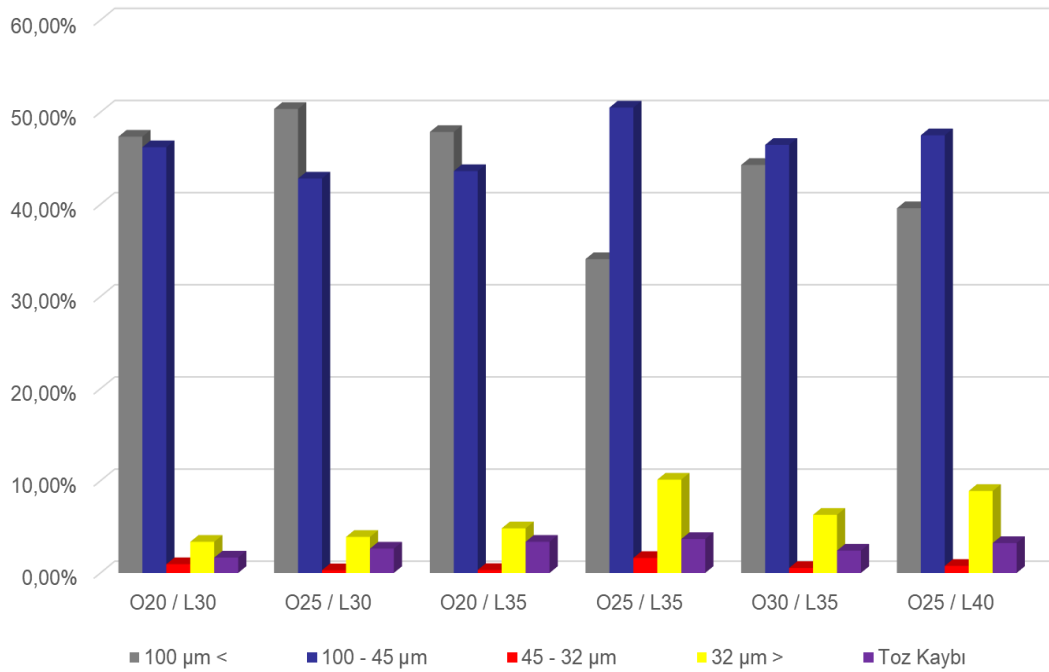


Şekil 5.8. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 40 Hz(1800 devir/dk) Süre = 15 dk öğütülen tozların fotoğrafı



### 5.2.2.2. Orbital ve lineer hızlara bağlı olarak optimum değerin seçilmesi

Sabit sürede (15 dk) optimum değer seçilirken orbital ve lineer hızlara bağlı olarak seçildi. Grafikte de görüldüğü gibi ilk önce lineer harekette değer sabit tutularak orbital hareket değeri artırıldı. Orbital harekette optimum değere ulaşılmca lineer değeri arttırılarak, lineer harekette optimum değer bulundu. Optimum değerın seçilmesi 32 µm altına inen toz miktarının fazlalığına göre belirlendi. Burada bizim optimum değerimiz orbital 25 Hz / lineer 35 Hz dir.



Şekil 5.9. Süre = 15 dk sabit Orbital ve Lineer hızların değişkenliğinde toz boyutu grafiği(O: Orbital/L: lineer)

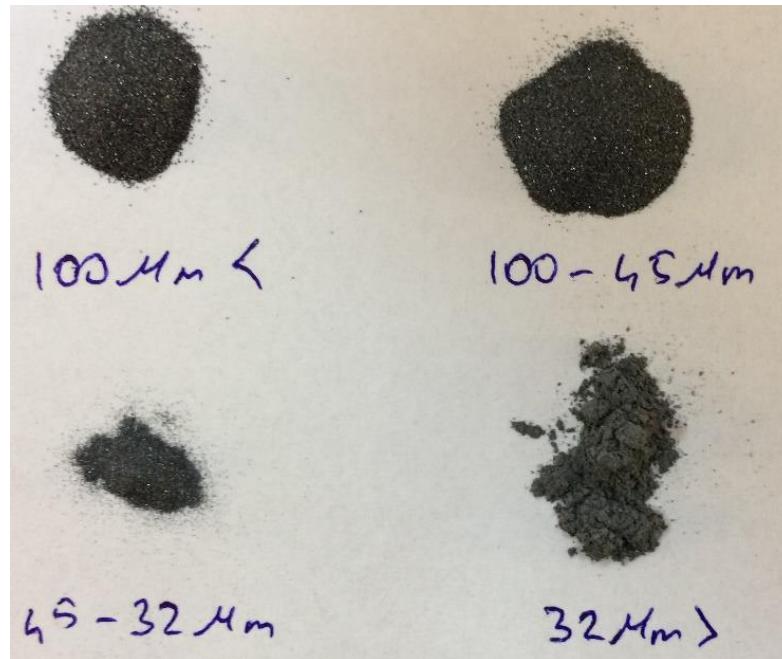
### 5.2.2.3. Zamana bağlı olarak SiC tozu öğütme işlemi sonuçları

Aşağıdaki tablolarda zamana bağlı olarak SiC tozu, öğütüldükten sonra boyutlarına göre sıralanmış ve ağırlıkça yüzdeleri gösterilmiştir. Şekiller ise tozların öğütüldükten sonra boyutlarına göre ayrılmış olan fotoğraflarıdır.

Tablo 5.10. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 30 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	237,72 g bilye
Öğütme Sonrası	64,47 g toz	237,62 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 21,71	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 51,40	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 0,54	
32 $\mu\text{m}$ >	% 21,85	
Toz Kaybı	% 4,5	

Tablo 5.10.'da verilen değerlerde 32  $\mu\text{m}$  altı toz Ağ.% 21,85 oranında elde edilmiştir. Tablo 5.7.'de ise bu oran Ağ.% 10,13'tür. Bu oranın artmasına, sürenin 15 dakikadan 30 dakikaya yükseltilmesi etkili olmuştur.



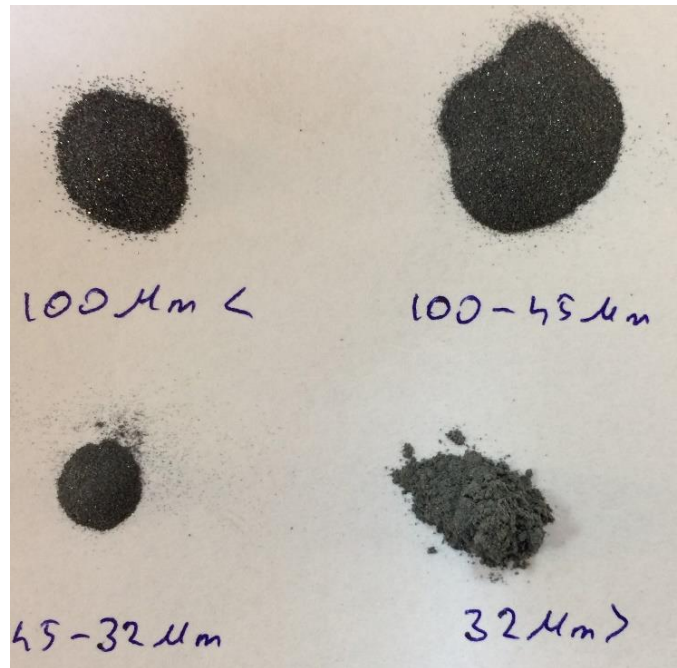
Şekil 5.10. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 30 dk öğütülen tozlar



Tablo 5.11. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 45 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	237,62 g bilye
Öğütme Sonrası	64,78 g toz	237,44 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 11,24	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 51,63	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 1,32	
32 $\mu\text{m}$ >	% 31,72	
Toz Kaybı	% 4,09	

Tablo 5.11.'de verilen değerlerde 32  $\mu\text{m}$  altı toz Ağ.% 31,72 oranında elde edilmiştir. Tablo 5.10.'da ise bu oran Ağ.% 21,85'tir. Bu oranın artmasına, sürenin 30 dakikadan 45 dakikaya yükseltilmesi etkili olmuştur.

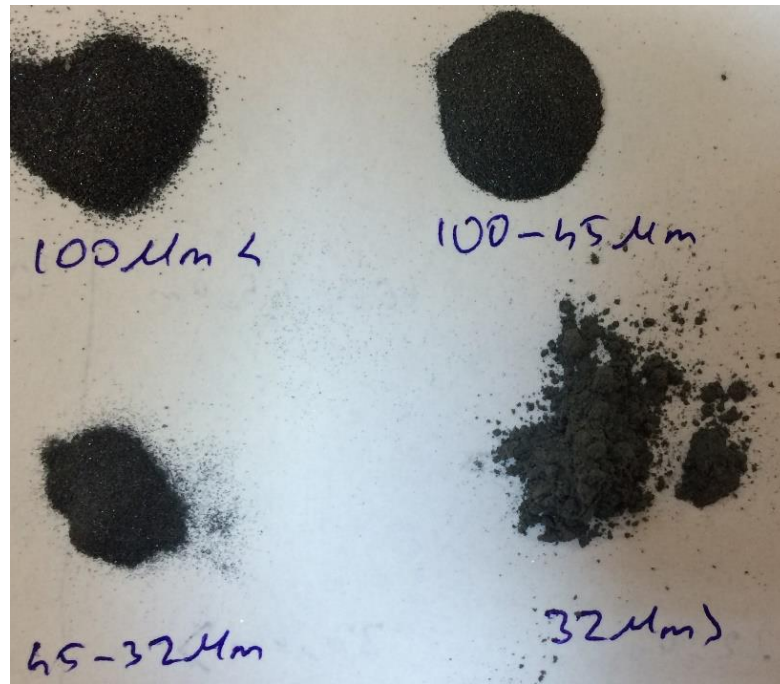


Şekil 5.11. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 45 dk öğütülen tozlar

Tablo 5.12. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 60 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	237,44 g bilye
Öğütme Sonrası	64,85 g toz	237,17 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 4,70	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 46,38	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 1,03	
32 $\mu\text{m}$ >	% 41,43	
Toz Kaybı	% 6,46	

Tablo 5.12.'de verilen değerlerde 32  $\mu\text{m}$  altı toz Ağ.% 41,43 oranında elde edilmiştir. Tablo 5.11.'de ise bu oran Ağ.% 31,72'dir. Bu oranın artmasına, sürenin 45 dakikadan 60 dakikaya yükseltilmesi etkili olmuştur.

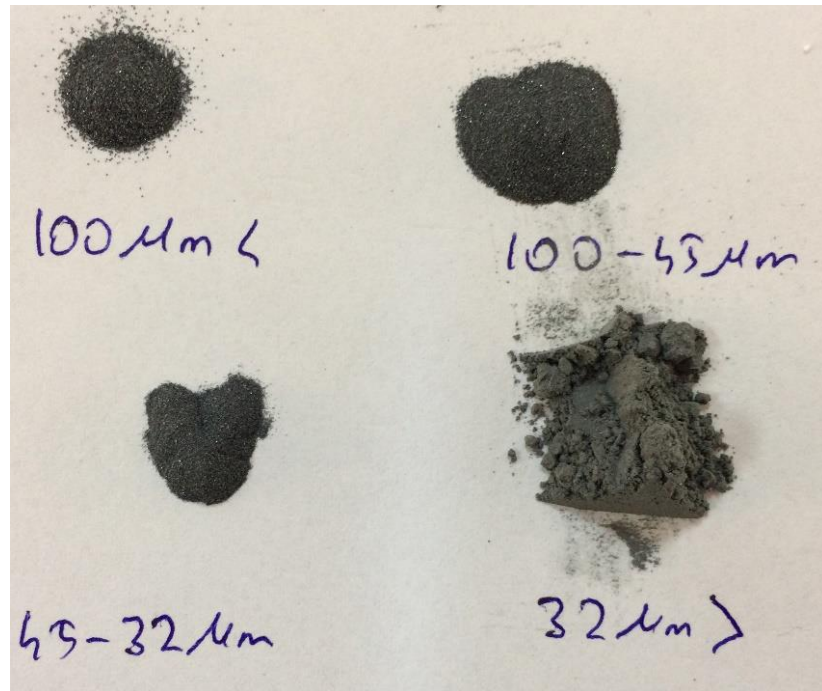


Şekil 5.12. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 60 dk öğütülen tozlar

Tablo 5.13. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 75 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	237,17 g bilye
Öğütme Sonrası	65,03 g toz	236,84 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 2,30	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 40,62	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 1,34	
32 $\mu\text{m}$ >	% 46,32	
Toz Kaybı	% 9,12	

Tablo 5.13.'de verilen değerlerde 32  $\mu\text{m}$  altı toz Ağ.% 46,32 oranında elde edilmiştir. Tablo 5.12.'de ise bu oran Ağ.% 41,43'tür. Bu oranın artmasına, sürenin 60 dakikadan 75 dakikaya yükseltilmesi etkili olmuştur.

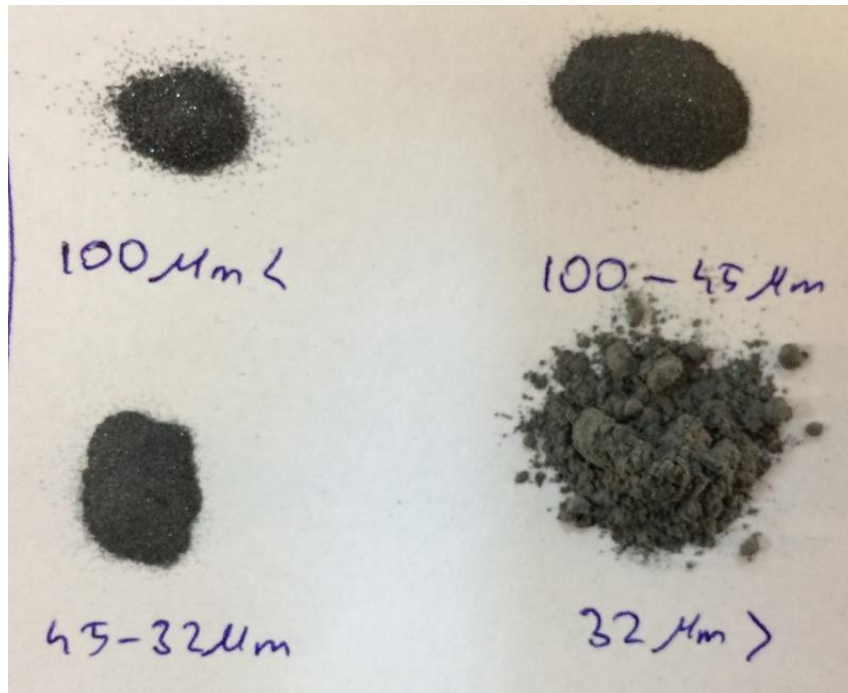


Şekil 5.13. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 75 dk öğütülen tozlar

Tablo 5.14. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 90 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	238,83 g bilye
Öğütme Sonrası	65,13 g toz	238,54 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 1,09	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 36,52	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 1,76	
32 $\mu\text{m}$ >	% 54,08	
Toz Kaybı	% 6,55	

Tablo 5.14.'de verilen değerlerde 32  $\mu\text{m}$  altı toz Ağ.% 54,08 oranında elde edilmiştir. Tablo 5.13.'de ise bu oran Ağ.% 46,32'dir. Bu oranın artmasına, sürenin 75 dakikadan 90 dakikaya yükseltilmesi etkili olmuştur.

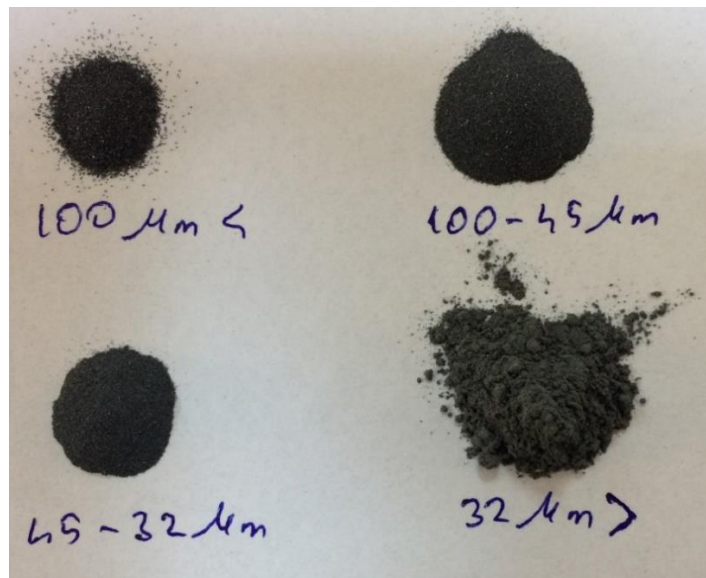


Şekil 5.14. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 90 dk öğütülen tozlar

Tablo 5.15. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 105 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	238,83 g bilye
Öğütme Sonrası	65,13 g toz	238,54 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 1,17	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 39,56	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 1,93	
32 $\mu\text{m}$ >	% 48,83	
Toz Kaybı	% 8,51	

Tablo 5.15.'de verilen değerlerde 32  $\mu\text{m}$  altı toz Ağ.% 48,83 oranında elde edilmiştir. Tablo 5.14.'de ise bu oran Ağ.% 54,08'dir. Bu oranın azalmasına, sürenin 90 dakikadan 105 dakikaya yükseltilmesi etkili olmuştur. Fakat oranın azalması gibi bir durum söz konusu değildir. Burada toz aglomerasyon olarak, oranın azalmasına sebep olmuştur.

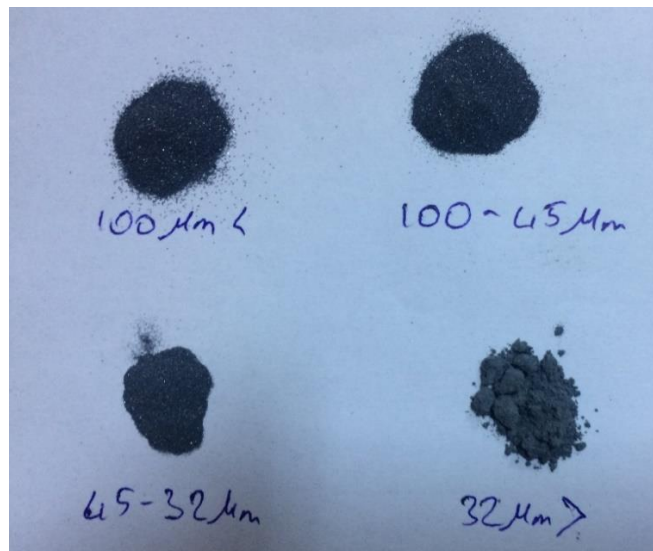


Şekil 5.15. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 105 dk öğütülen tozlar

Tablo 5.16. Orbital = 25 Hz(1500 devir/dk) Lineer = 35 Hz(2100 devir/dk) Süre = 120 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	238,15 g bilye
Öğütme Sonrası	64,77 g toz	237,93 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 5,12	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 51,49	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 1,34	
32 $\mu\text{m}$ >	% 35,61	
Toz Kaybı	% 6,44	

Tablo 5.16.'da verilen değerlerde 32  $\mu\text{m}$  altı toz Ağ.% 35,61 oranında elde edilmiştir. Tablo 5.15.'de ise bu oran Ağ.% 48,83'tür. Bu oranın azalmasına, sürenin 105 dakikadan 120 dakikaya yükseltilmesi etkili olmuştur. Fakat oranın azalması gibi bir durum söz konusu değildir. Burada toz aglomerasyon olarak, oranın azalmasına sebep olmuştur.

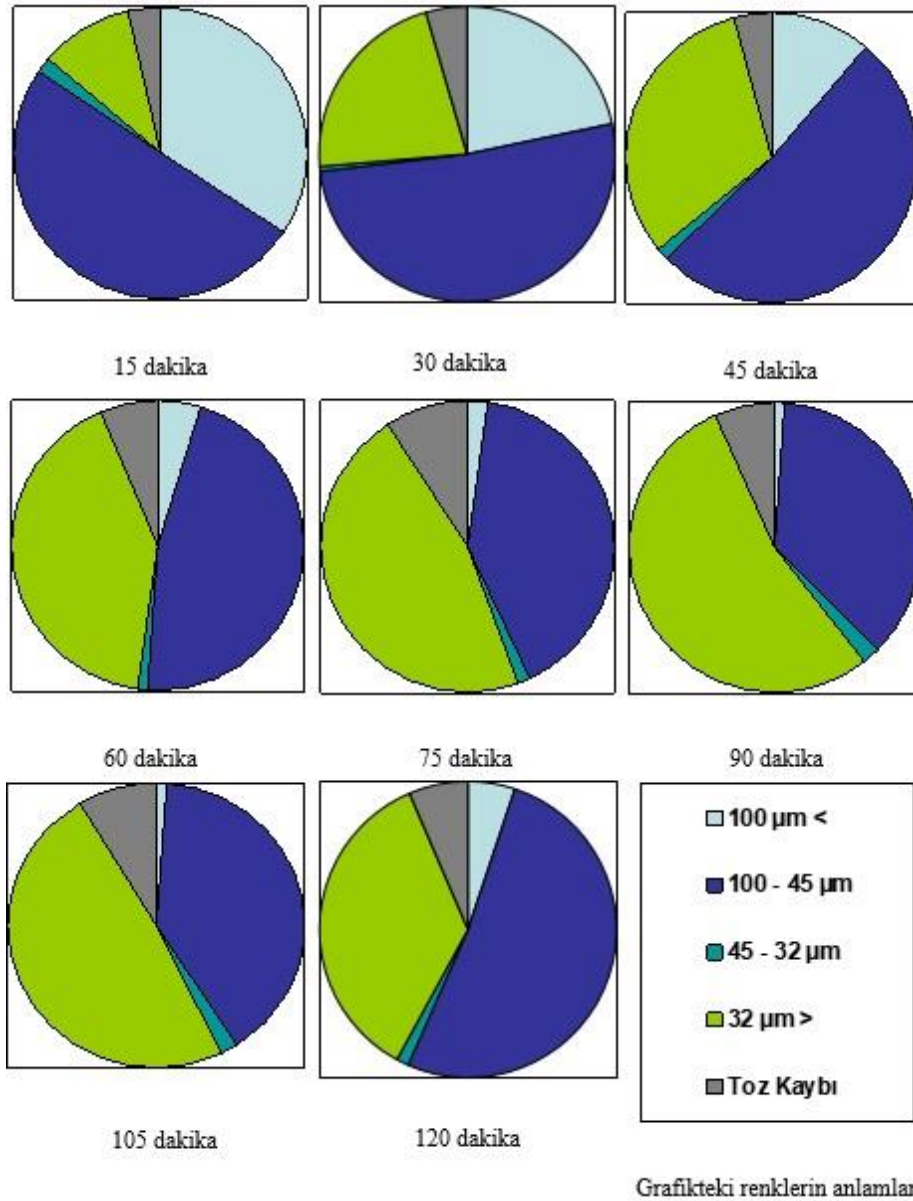


Şekil 5.16. Orbital = 25 Hz(1200 devir/dk) Lineer = 35 Hz(1800 devir/dk) Süre = 120 dk öğütülen tozlar



#### 5.2.2.4. Zamana bağılı olarak optimum değerin seçilmesi

Orbital ve lineer hareketlere bağılı olarak seçilen optimum (Orbital:25/Lineer:35) hızlar zaman sabit 15 dk tutularak seçildi. Burada ise orbital ve lineer hızlar sabit tutularak zamanda artırıldı ve grafiklerdeki sonuçlar elde edildi. Aşağıdaki grafiklerde görüldüğü gibi 32 µm altı toz miktarı 90 dk da %50 nin üzerine çıktı. Sonuç olarak elde edilen optimum değer “ Orbital = 25 Hz / Lineer = 30 Hz Süre = 90 dk ” olarak belirlendi.



Şekil 5.17. Tasarlanan öğütücü süreye bağılı olarak öğütülen SiC tozunun boyut grafikleri

### 5.3. Diğer Öğütücü Makinelerinde Toz Öğütme İşlemi Sonuçları

Tasarımı yapılan makine de optimum değerler “ Orbital = 25 Hz / Lineer = 30 Hz Süre = 90 dk ” bulunduktan sonra, optimum değerle aynı ya da yakın değerlerle diğer öğütücü makinelerinde toz öğütme işlemi yapıldı.

#### 5.3.1. Gezegen tipi öğütücü sonuçları

Gezegen tipi öğütücü cihazda toz haznelerinin dönen bir disk üzerinde ve kendi eksenleri etrafında dönmesi sonucu oluşan kuvvetler neticesinde aşağıdaki öğütme değerleri elde edilmiştir.

Tablo 5.17. 35 Hz (2100 devir / dk) süre 90 dk öğütülen toz sonuçları

Öğütme Öncesi	65,00 g toz	238,60 g bilye
Öğütme Sonrası	66,15 g toz	237,60 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 4,35	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 49,30	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 3,20	
32 $\mu\text{m}$ >	% 37,28	
Toz Kaybı	% 5,87	

35 Hz (2100 devir / dk) süre 90 dk öğütülen toz boyutu Ağ.% 37,28 oranında 32  $\mu\text{m}$  altına düştüğü görülmüştür.



### 5.3.2. Bilyalı değirmen sonuçları

Bilyalı değirmenin çalışma prensibi gereği hazne yüzeyinden savrulup düşen bilyelerin oluşturduğu kırıcı kuvvetler sonucu aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

Tablo 5.18. Süre 90 dk öğütülen toz sonuçları

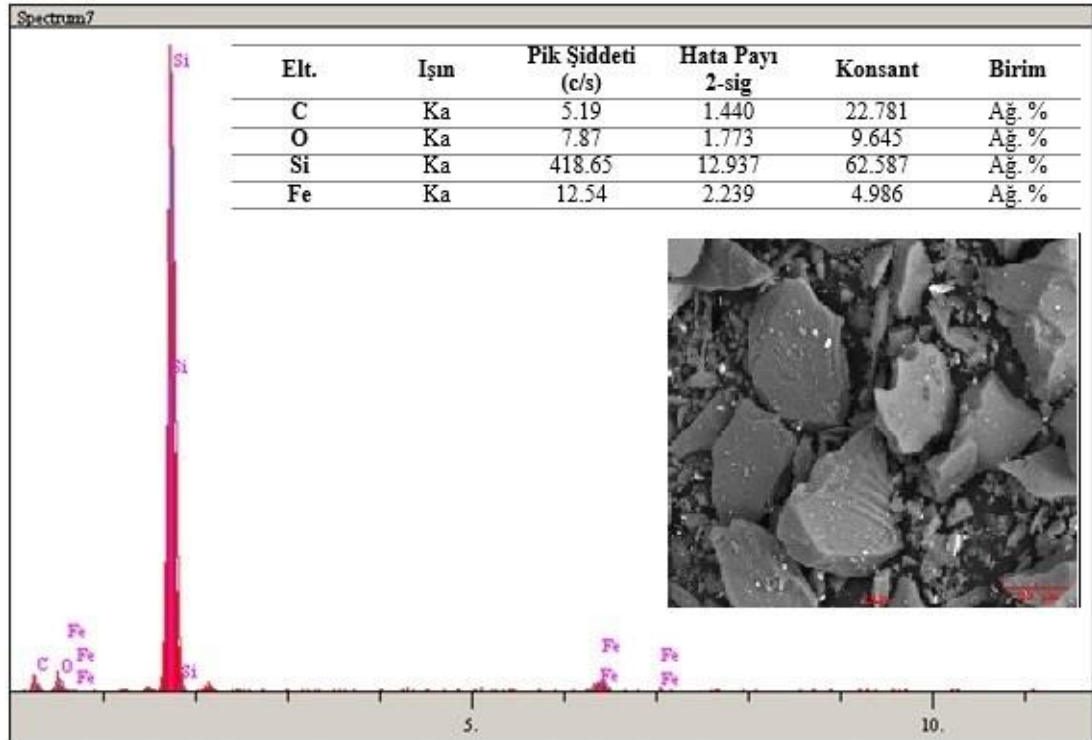
Öğütme Öncesi	65,00 g toz	237,60 g bilye
Öğütme Sonrası	65,24 g toz	237,88 g bilye
Mikrometre ( $\mu\text{m}$ )	Ağ. Yüzde (%)	
100 $\mu\text{m}$ <	% 40,10	
100 – 45 $\mu\text{m}$	% 49,74	
45 – 32 $\mu\text{m}$	% 0,93	
32 $\mu\text{m}$ >	% 7,17	
Toz Kaybı	% 2,06	

Süre 90 dk öğütülen toz boyutu Ağ.% 7,17 oranında 32  $\mu\text{m}$  altına düştüğü görülmüştür.

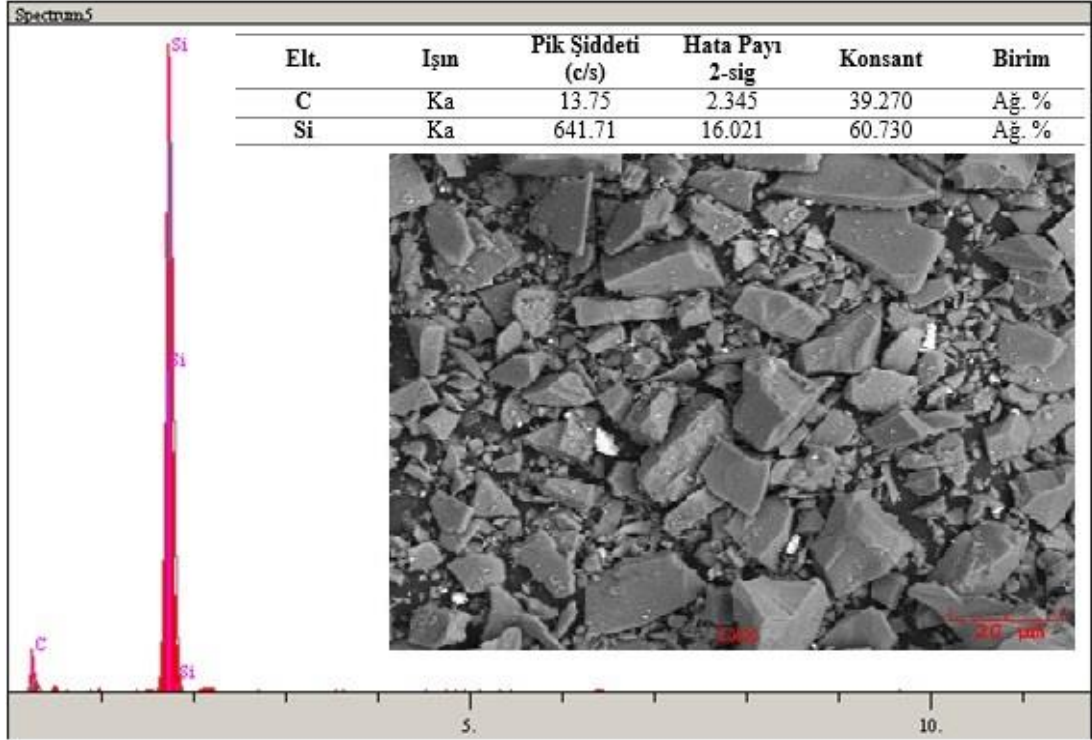
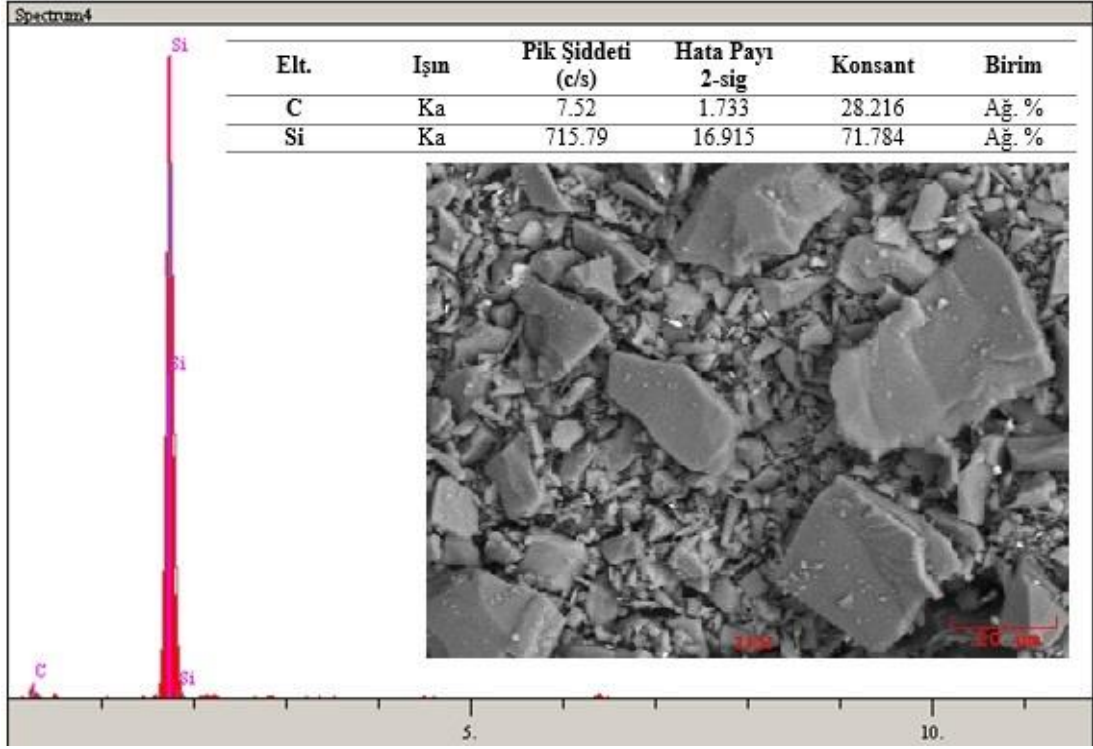
### 5.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımı Spektrometresi Analizi Sonuçları

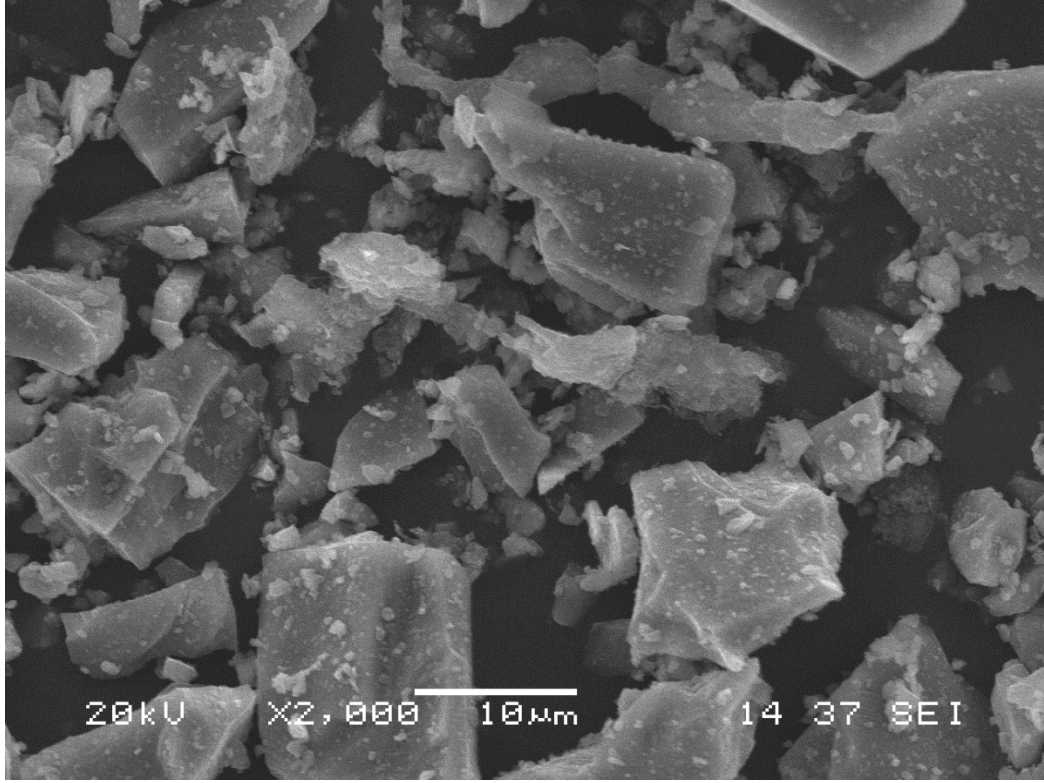
Elek analizinden sonra SiC tozlarına SEM ve EDS analizi yaparak toz boyutları ve tozun kimyasal dağılımı gözlemlenmiştir. Analizde tozların 100, 500, 1000 ve 2000 büyütmede görüntüleri ve EDS grafikleri alınarak karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Tasarlanan öğütücüde optimum hızda 90dk ve 120 dk öğütülmüş tozun EDS analizinde sadece Si ve C elementi olduğu gözükmektedir. Fakat gezegen tipi öğütücüde Si ve C elementinin yanında O ve Fe elementi de bulunmaktadır. Gezegen tipi öğütücüde O ve Fe elementlerinin bulunması öğütme sırasında bilyaların birbirleri ile çarpışarak birbirlerini öğütmesiyle sisteme giren Fe bileşiğinden kaynaklı kontaminasyon sebebiyle oluşmuş ve manyetik separatör yardımıyla uzaklaştırılabilecek bir empürite olduğu görülmektedir.

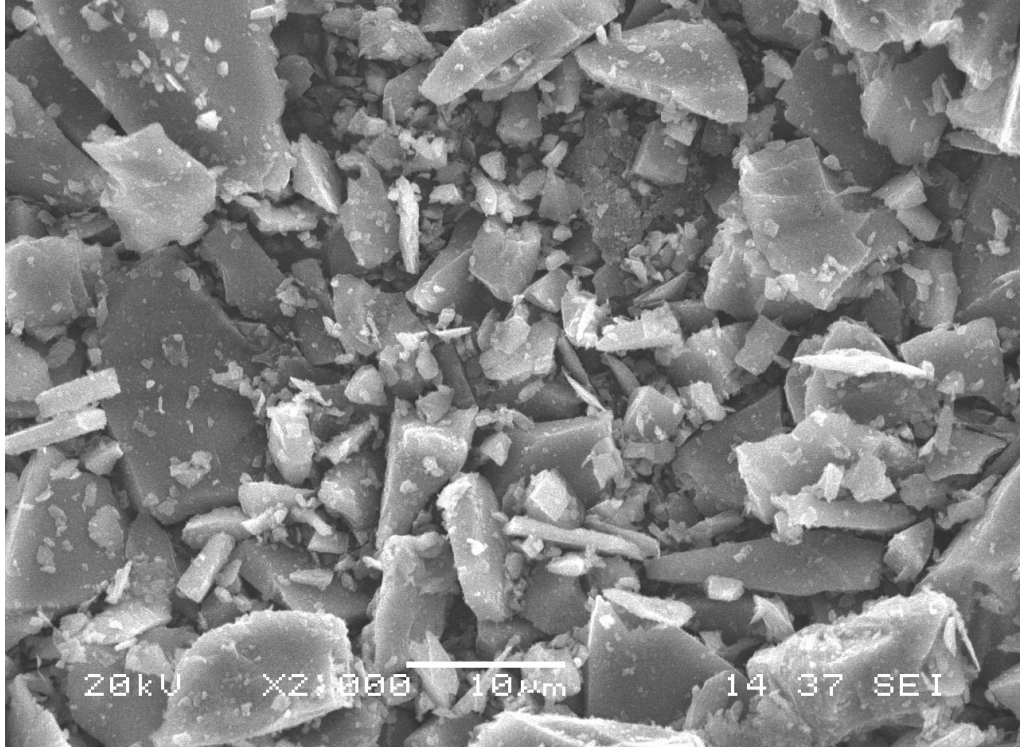


Şekil 5.18. Gezegen öğütücüde 90 dk 35 Hz hızda öğütülmüş tozun EDS analizi



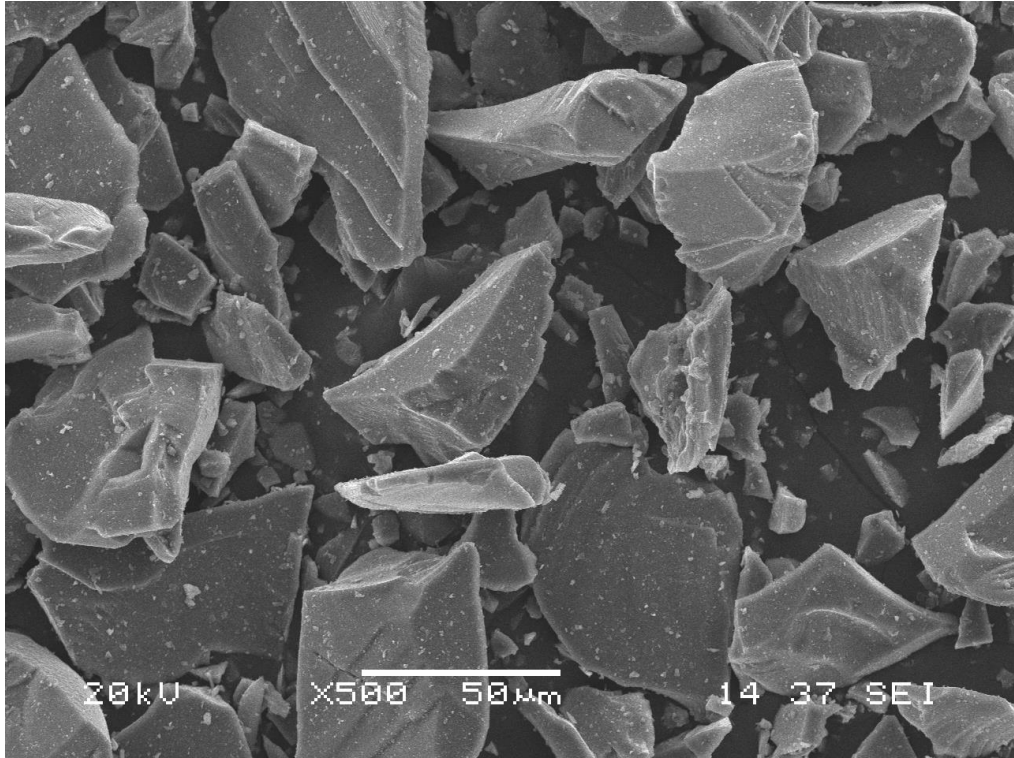


Şekil 5.21. Gezegen tipi öğütücüde 35 Hz hızda ve 90 dk da öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü

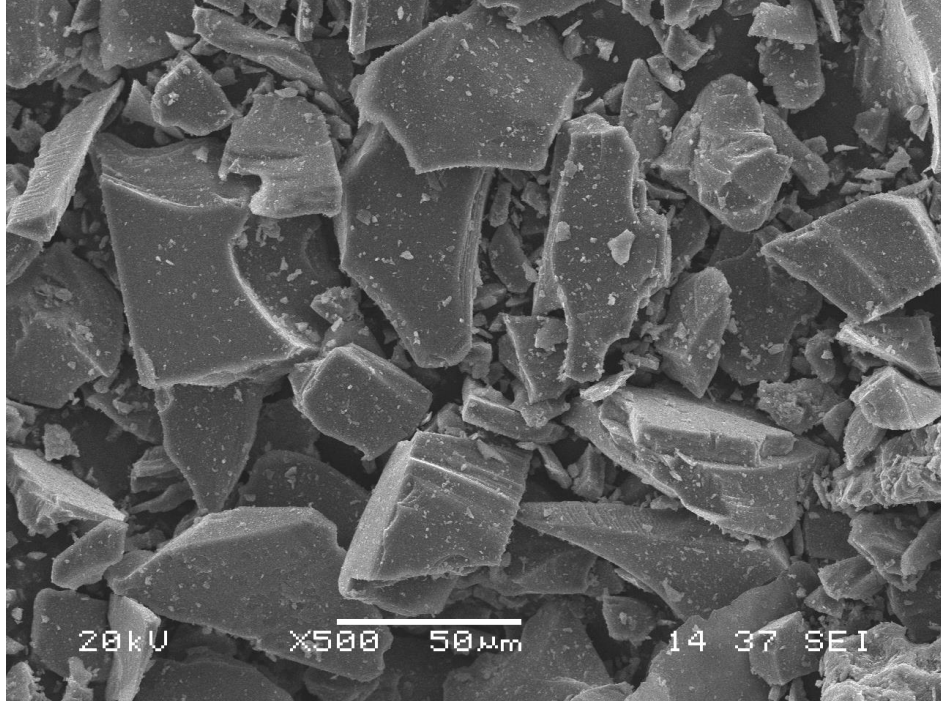


Şekil 5.22. Tasarlanan öğütücüde orbital 25 Hz/lineer 35 Hz hızda 90 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü

Şekil 5.21. ve Şekil 5.22.'de görüldüğü üzere SEM analizi fotoğraflarından tasarlanan öğütücünün tozları daha küçük mikronlara öğüttüğü gözükmemektedir. Toz boyut analizleri de yapılan aynı tozlarda bu sonuç gözükmemektedir. Tasarlanan öğütücünün en yakın rakibi olan gezegen tipi öğütücüden daha verimli olduğu SEM fotoğrafları ile de görülmektedir.

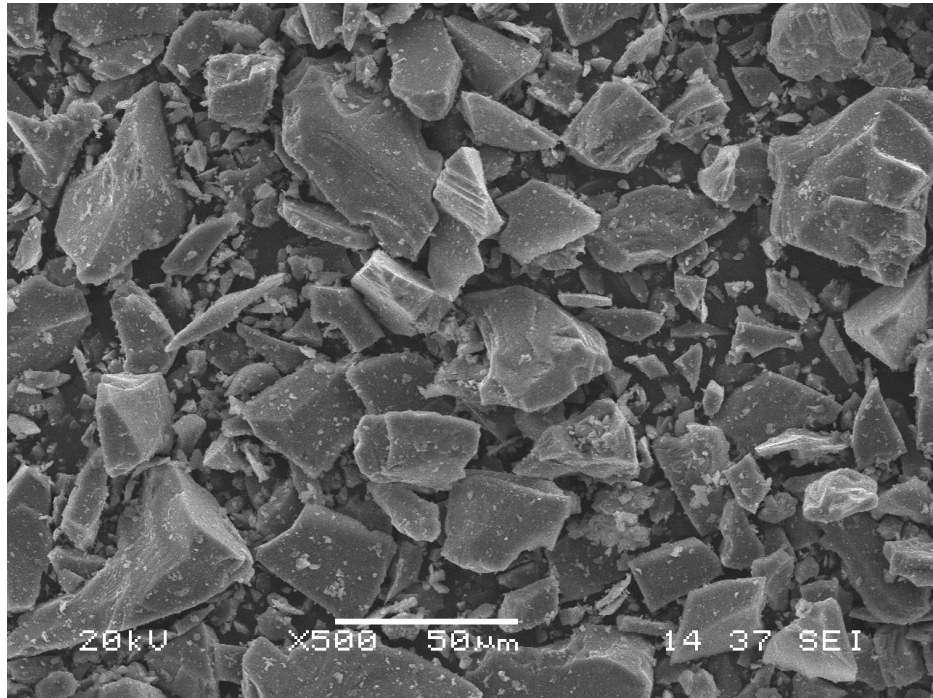


Şekil 5.23. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 15 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü



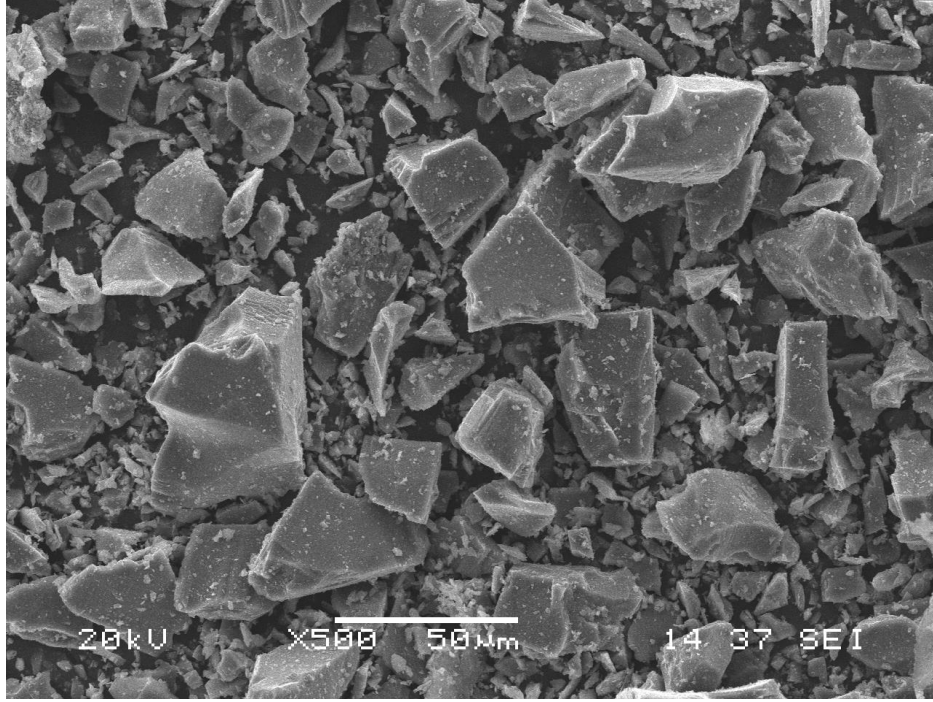
Şekil 5.24. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 30 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü

SEM analizi fotoğraflarında, tasarlanan öğütücünün çalışma süresi 30 dakikaya çıkarıldığında, Şekil 5.24. tozları Şekil 5.23.'e göre daha küçük mikronlara öğüttüğü gözükmemektedir.



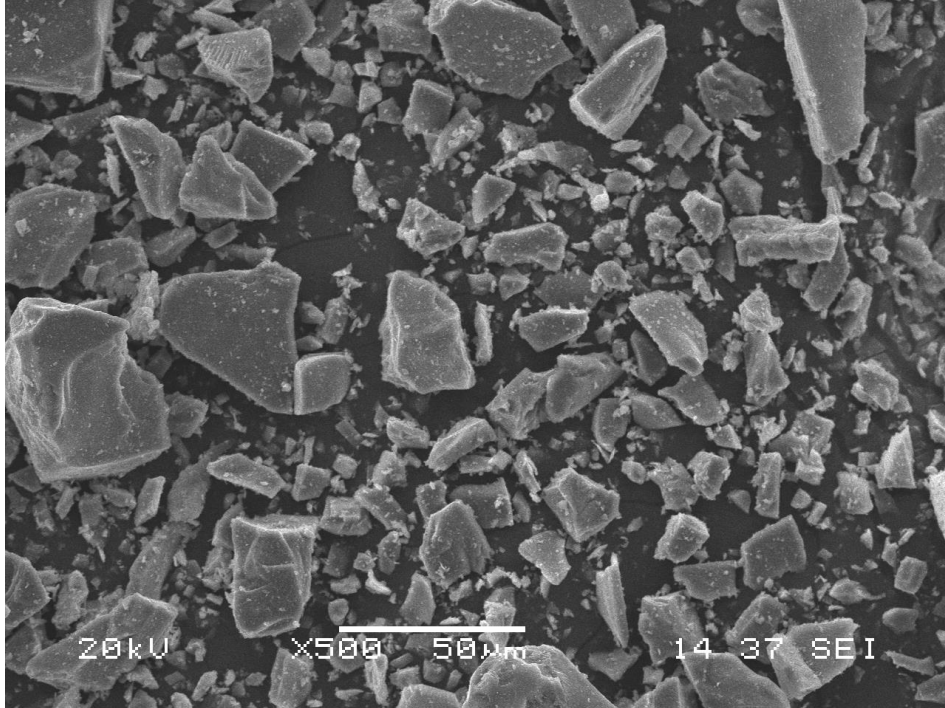
Şekil 5.25. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 45 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü



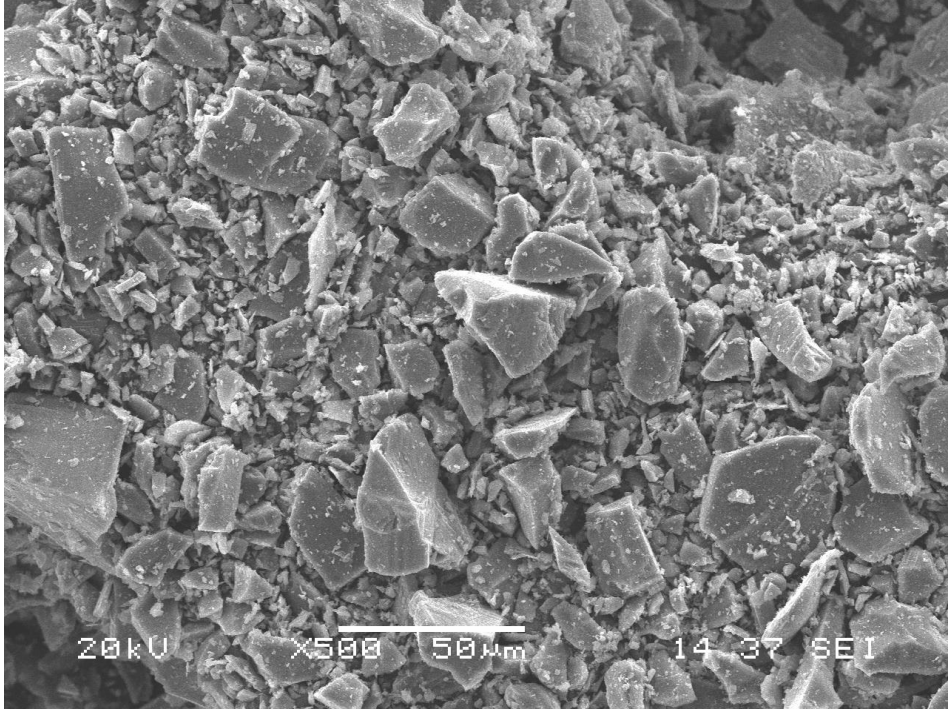


Şekil 5.26. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 60 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü

SEM analizi fotoğraflarında, tasarlanan öğütücünün çalışma süresi 60 dakikaya çıkarıldığında, Şekil 5.26. tozları Şekil 5.24. ve Şekil 5.25.'e göre daha küçük mikronlara öğüttüğü gözükmemektedir.

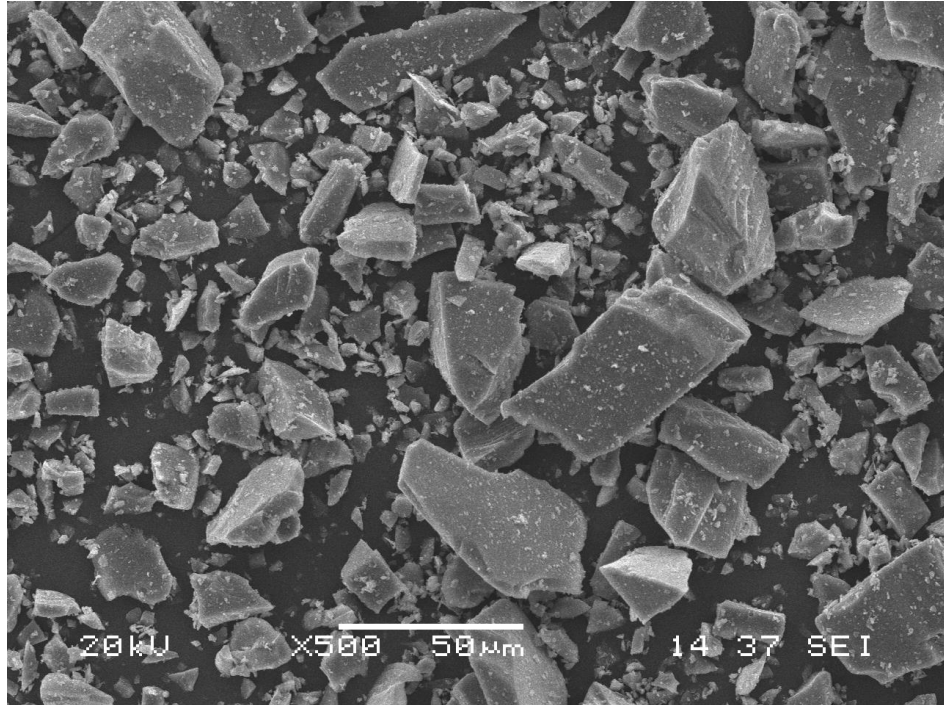


Şekil 5.27. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 75 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü



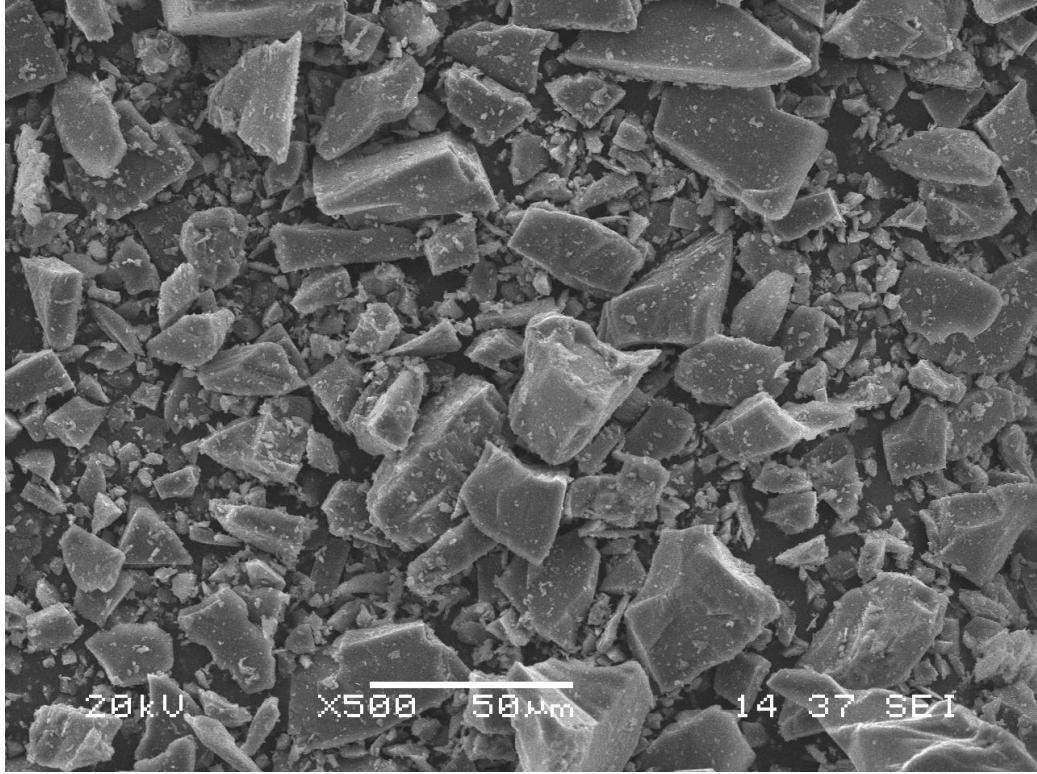
Şekil 5.28. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 90 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü

SEM analizi fotoğraflarında, tasarlanan öğütücünün çalışma süresi 90 dakikaya çıkarıldığında, Şekil 5.28. tozları Şekil 5.26. ve Şekil 5.27.'ye göre daha küçük mikronlara öğüttüğü gözükmemektedir.



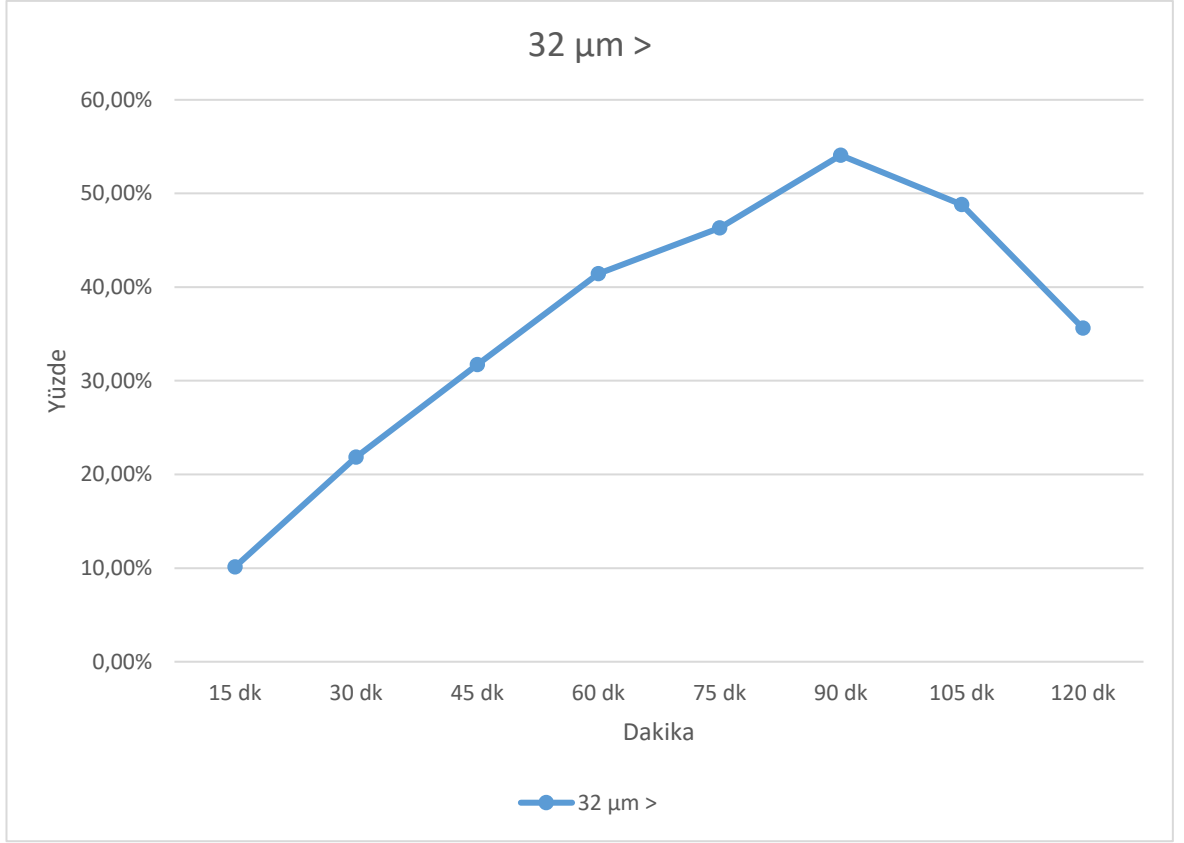
Şekil 5.29. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 105 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü



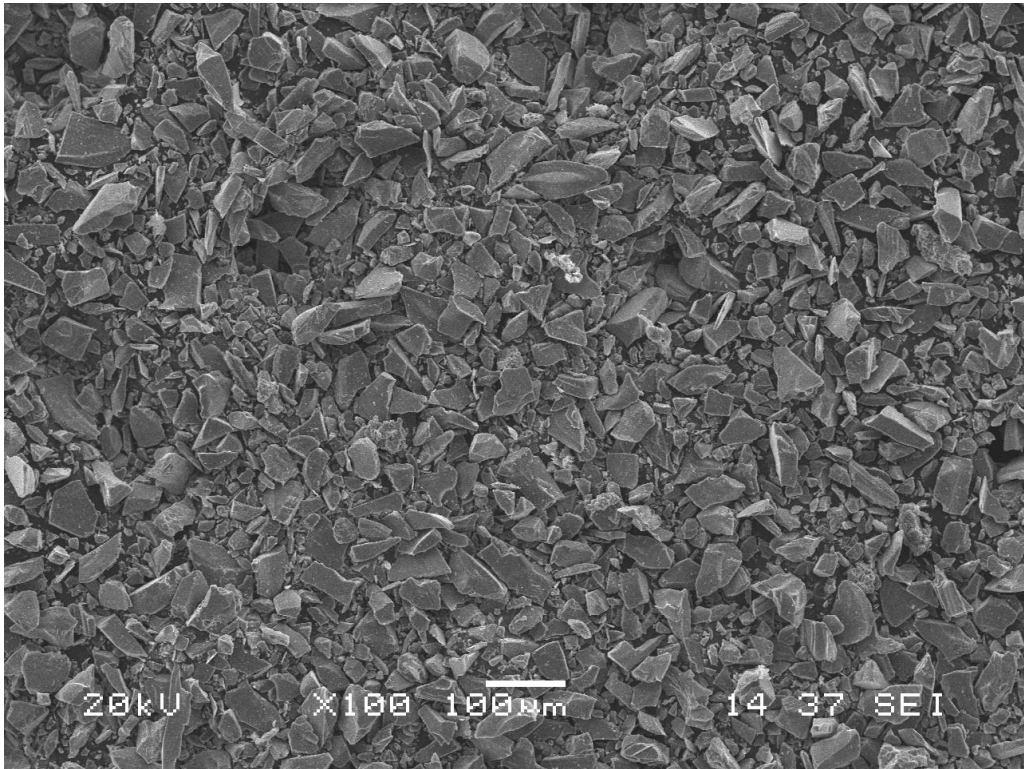


Şekil 5.30. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda 120 dk öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüsü

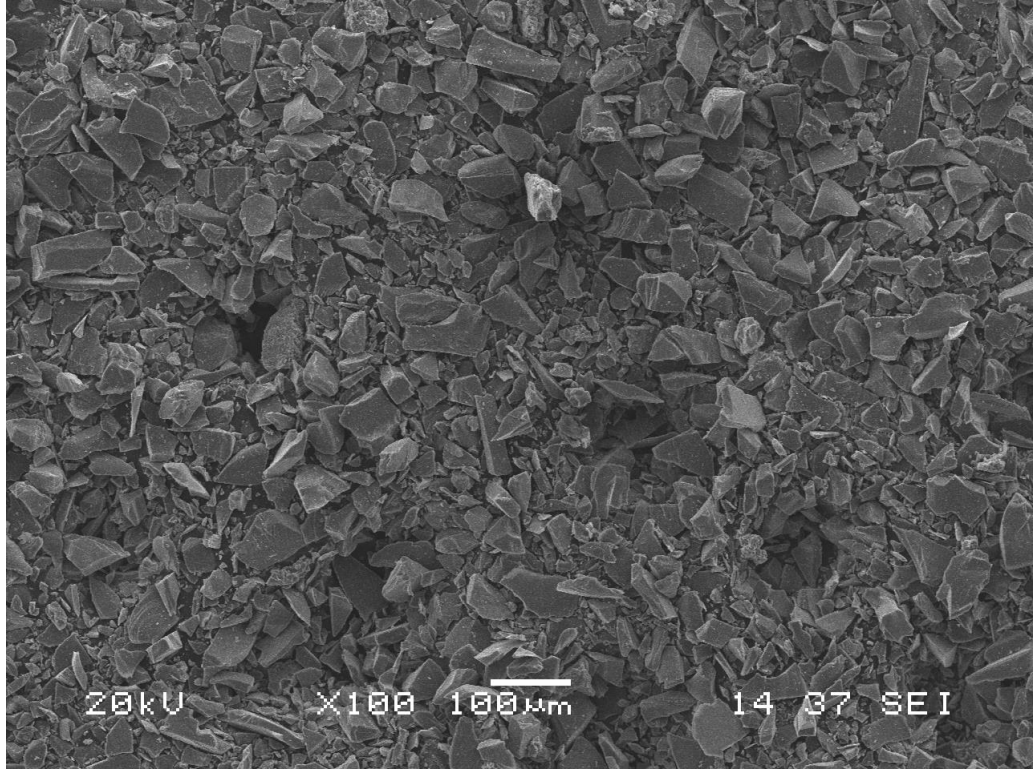
Yukarıda Şekil 5.23.'den Şekil 5.30.'a kadar olan şekillerdeki görüntüler, tasarlanan öğütücü de orbital 25 Hz/lineer 35 Hz optimum hızda 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 ve 120 dakikalarda öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüleridir. Bu görüntülerde toz boyutlarındaki küçülmeler rahatlıkla görünmektedir. Dakikalara göre 32  $\mu\text{m}$  altındaki toz miktarı aşağıdaki grafikte verilmiştir. Bu grafikte görüldüğü üzere 32  $\mu\text{m}$  altına Ağ. %54,08 oranında toz miktarına 90dk da ulaşılmıştır. 90 dakikadan sonra 32  $\mu\text{m}$  altına inen tozda bir düşüş gözükmemektedir. Aslında bu düşüş tozların daha da küçük boyutlara inerek aglomerasyon oluşmasıyla açıklanabilir. Bu aglomerasyonları SEM analizi ile görülmemektedir. Fakat Şekil 5.29.'da görüldüğü gibi toz boyutu oldukça küçülmüştür.



Şekil 5.31. Tasarlanan öğütücüde optimum(O25/L35) hızda öğütülmüş 32  $\mu\text{m}$  altı toz miktarı grafiği

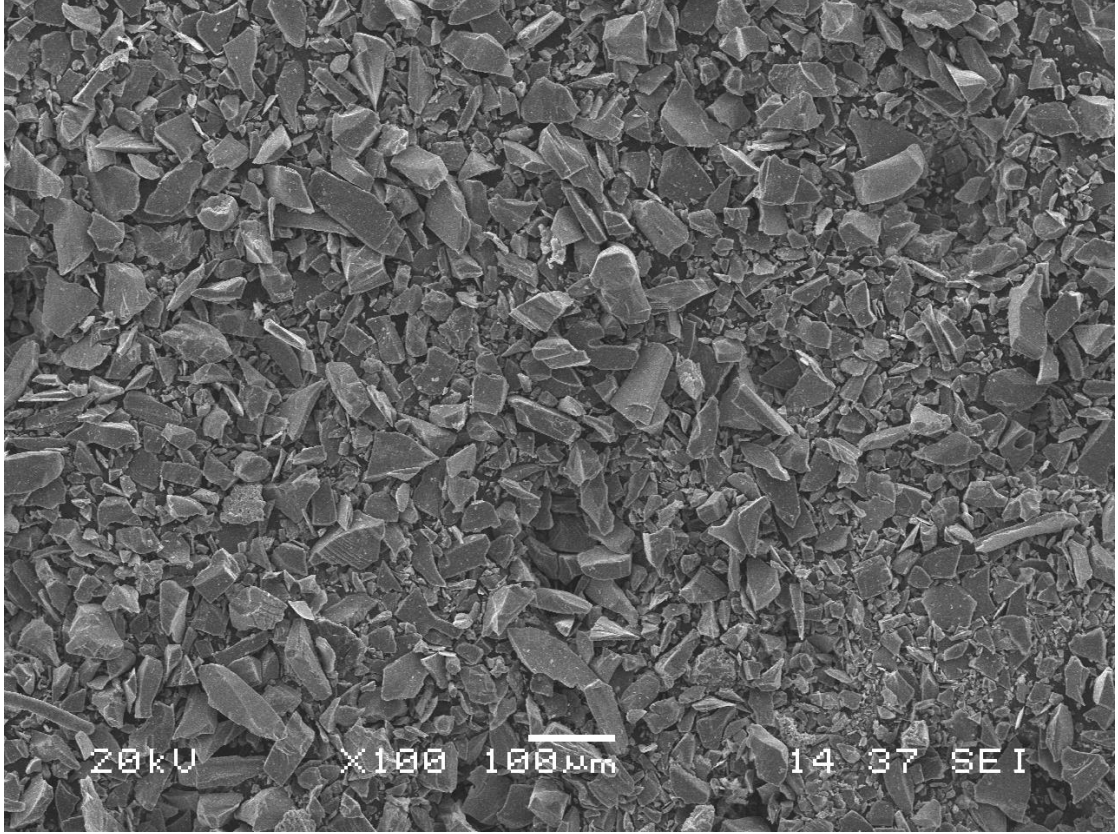


Şekil 5.32. Orbital 25Hz/lineer 35Hz hızda 15 dk da öğütülmüş SiC tozunun 100 büyütmedeki SEM görüntüsü



Şekil 5.33. Orbital 25Hz/lineer 40Hz hızda 15 dk da öğütülmüş SiC tozunun 100 büyütmedeki SEM görüntüsü

SEM analizi fotoğraflarında, tasarlanan öğütücünün lineer hızı 35 Hz'den 40 Hz'e çıkarıldığında, Şekil 5.32.'ye göre daha az oranda küçük mikronlara öğüttüğü gözükmemektedir. Bunun nedeni lineer hızdaki artışın optimum hızın üzerine çıkmasından dolayı Şekil 5.1.'de gösterilen kırıcı kuvvetlerden bazılarının devre dışı kalmasıdır.



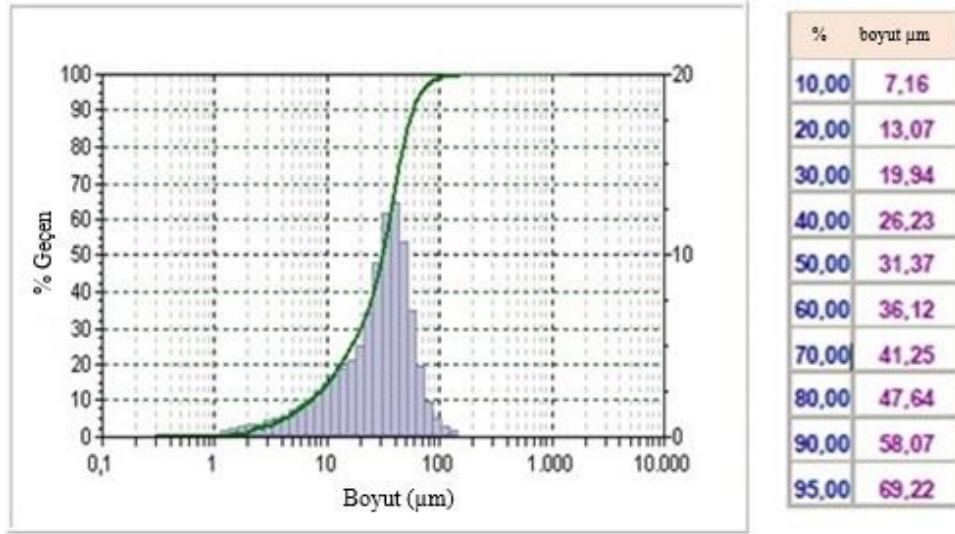
Şekil 5.34. Orbital 30Hz/lineer 35Hz hızda 15dk da öğütülmüş SiC tozunun 100 büyütmedeki SEM görüntüsü

Şekil 5.32.'den Şekil 5.34.'e kadar olan görüntüler, tasarlanan öğütücüde 15 dakika süre sabit olup orbital 25Hz/lineer 35Hz, orbital 25Hz/lineer 40Hz ve orbital 30Hz/lineer 35 Hz hızlarında öğütülmüş SiC tozunun SEM görüntüleridir. Bu görüntülerde toz boyutlarındaki küçülmeler görülmektedir. Toz boyutunun genel olarak daha küçük olarak görüldüğü Şekil 5.32. optimum hızın seçildiği değerdir. Bu değerde 32  $\mu\text{m}$  altına Ağ. %10,13 oranında toz miktarı ulaşılmıştır. Şekil 5.33. ve Şekil 5.34. deki hızlara göre daha verimli olduğundan dolayı optimum değer seçilmiştir ve SEM görüntüleri de bunu desteklemektedir.

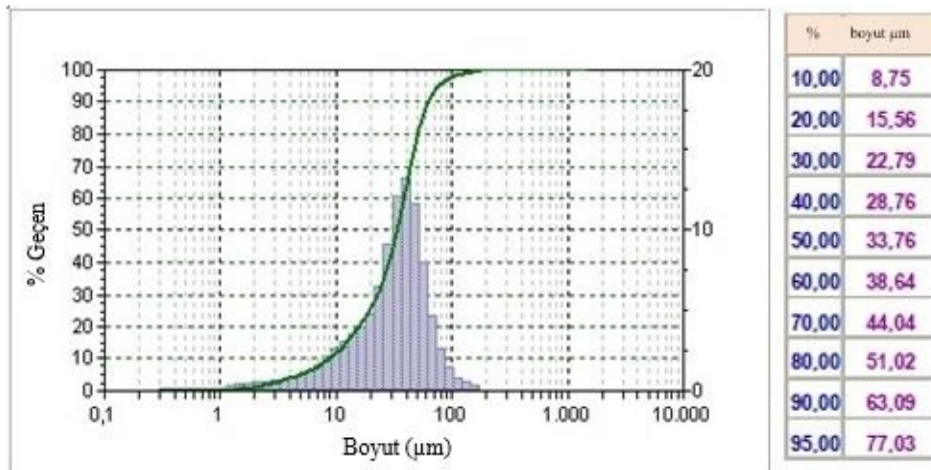


### 5.5. Toz Boyutu Analizi Sonuçları

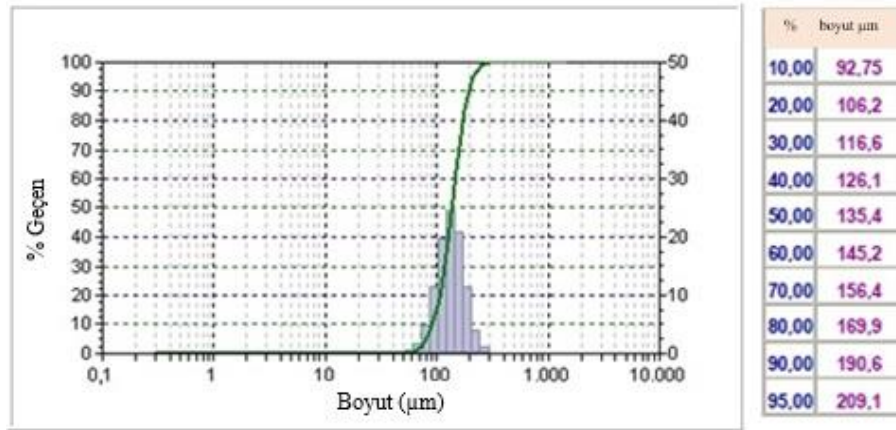
Elek analizinden sonra SiC tozlarının dağılımını belirlemek için toz boyut analizine gönderilmiştir. Analiz sonucunda tozların boyut dağılımı grafikler şeklinde elde edilmiştir. Sonuçlar bölümünde grafikler ele alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Aşağıdaki şekillerde ise toz boyutu analizinden elde edilen grafiklerden bazıları verilmiştir.



Şekil 5.35. Tasarlanan öğütücüde 90 dk öğütülmüş SiC tozunun toz boyut analizi grafiği



Şekil 5.36. Gezen öğütücüde öğütülmüş SiC tozunun toz boyut analizi grafiği

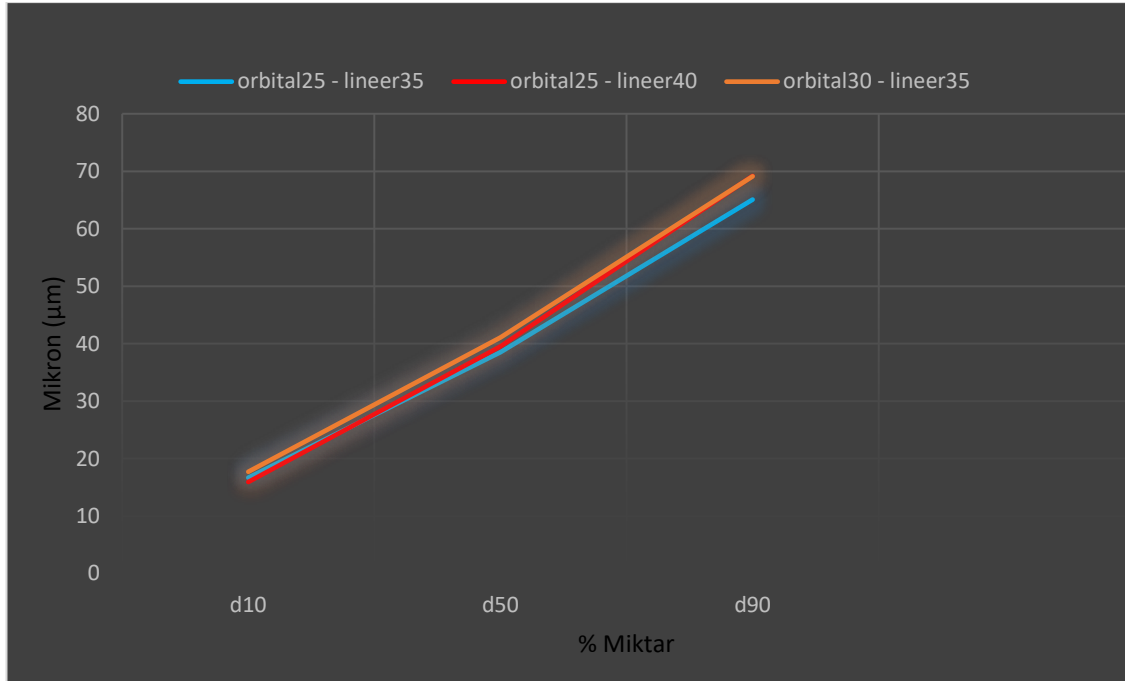


Şekil 5.37. Hiç öğütülmemiş SiC tozunun toz boyut analiz grafiği

Tablo 5.19. Tasarlanan öğütücüde 15 dk sabit sürede farklı hızlarda öğütülmüş SiC tozunun toz boyut analizleri

	$d_{10}$ (µm)	$d_{50}$ (µm)	$d_{90}$ (µm)
Orbital 25Hz – lineer 35Hz	16,68	38,53	65,07
Orbital 25Hz – lineer 40Hz	15,94	39,52	69,18
Orbital 30Hz – lineer 35Hz	17,71	41,07	69,11

$d_{50}$  sütununda görüldüğü gibi hiç öğütülmemiş SiC tozunun %50'si 135,4 µm altındadır. Eşit miktarlarda, eşit sürede ve farklı hızlarda – Orbital 25Hz(1500devir/dk) / lineer 35Hz(2100devir/dk), Orbital 25Hz(1500devir/dk) / lineer 40Hz(2400 devir/dk), Orbital 30Hz(1800devir/dk) / lineer 35Hz(2100devir/dk) – öğütülerek toz boyutları karşılaştırılmıştır. Orbital 25Hz – lineer 35Hz hızlarda öğütülmüş tozun %50'si 38,53 µm altındadır, Orbital 25Hz – lineer 40Hz hızlarda öğütülmüş tozun %50'si 39,52 µm altındadır ve son olarak Orbital 30Hz – lineer 35Hz hızlarda öğütülmüş tozun %50'si ise 41,07 µm altındadır. Bu sonuçlara göre optimum seçilen Orbital 25Hz – lineer 35Hz hızı; Orbital 25Hz – lineer 40Hz hızına göre % 8,8 daha verimli, Orbital 30Hz – lineer 35Hz hızına göre ise %21,73 daha verimli olduğu gözlemlenmiştir.

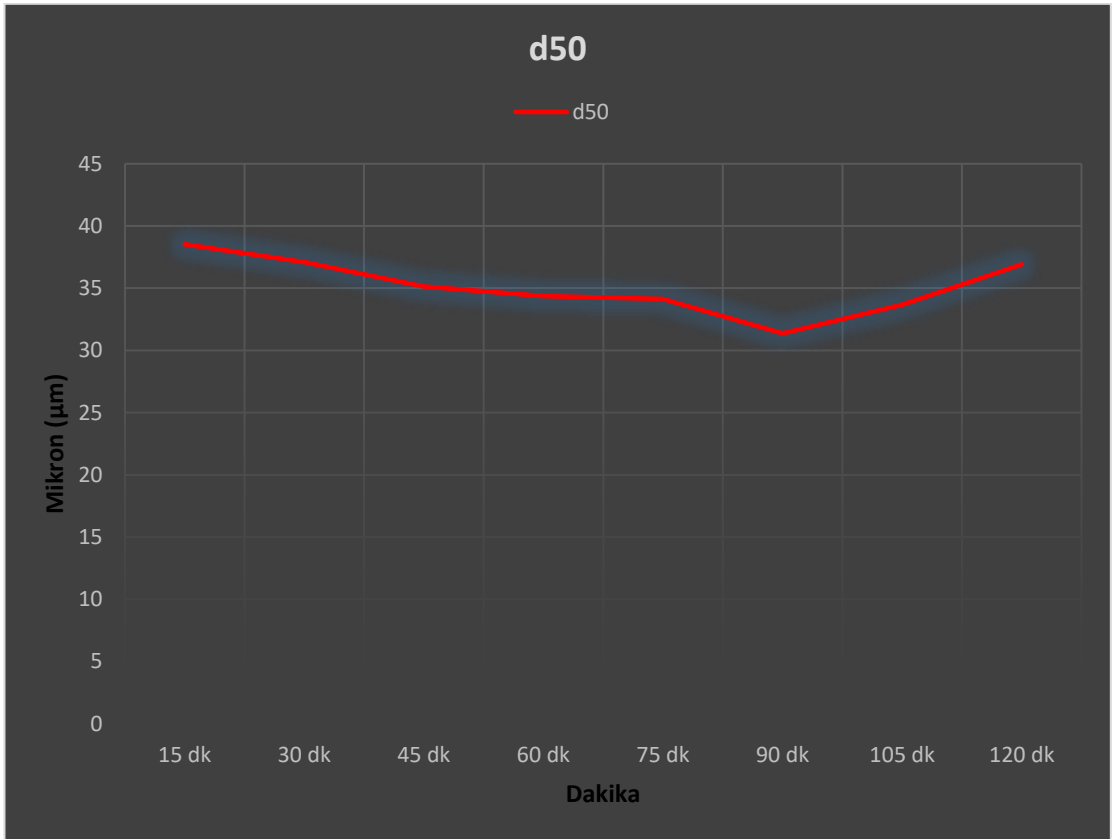


Şekil 5.38. Tasarlanan öğütücüde 15 dk sabit sürede farklı hızlarda öğütülmüş SiC tozunun toz boyut analizleri

Tablo 5.20 Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda öğütülmüş SiC tozunun farklı dakikalardaki toz boyut analizleri

	$d_{10}$ (µm)	$d_{50}$ (µm)	$d_{90}$ (µm)
15 dakika	16,68	38,53	65,07
30 dakika	14,41	37,10	63,47
45 dakika	11,86	35,14	62,45
60 dakika	10,75	34,36	61,05
75 dakika	10,75	34,14	60,30
90 dakika	7,16	31,37	58,07
105 dakika	10,18	33,67	60,12
120 dakika	12,78	36,91	64,58

Görüldüğü gibi 15 dakikadan 90 dakikaya kadar toz boyutundaki küçülme artmaktadır. 90 dakikadan sonra 120 dakikaya kadar toz boyutunda artış görülüyor. Bu artış sebebi öğütme süresi arttıkça buna bağlı olarak tozların daha fazla parçalanmasına yol açıyor, parçalanmış tozlar çok büyük oranda yeni yüzey alanları oluşturuyor. Yeni oluşan yüzeylerin yapışma eğilimi fazla olduğu için de aglomerasyon oluşmaktadır. SEM analiz cihazı oluşan aglomerasyonları ayırt edemediği için tek tane olarak göstermektedir. Bu sebepten dolayı artış gözükmemektedir.



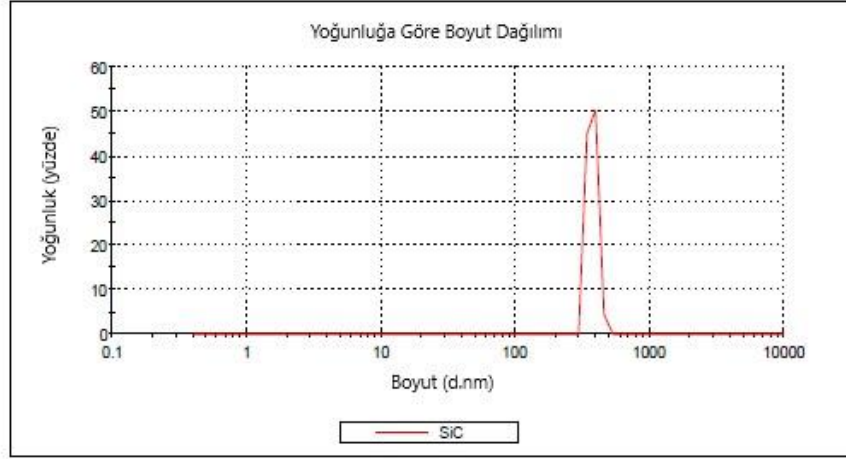
Şekil 5.39. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda öğütülmüş SiC tozunun farklı dakikalardaki toz boyut analizleri

Meydana gelen aglomerasyonu ayırt edebilmek için 150 dk boyuna öğütülen SiC tozlarına Yıldız Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda Zetasizer analizi ile nano boyut ölçümü yapılmıştır. Analiz sonucu Şekil 5.41.'de belirtilmiştir.



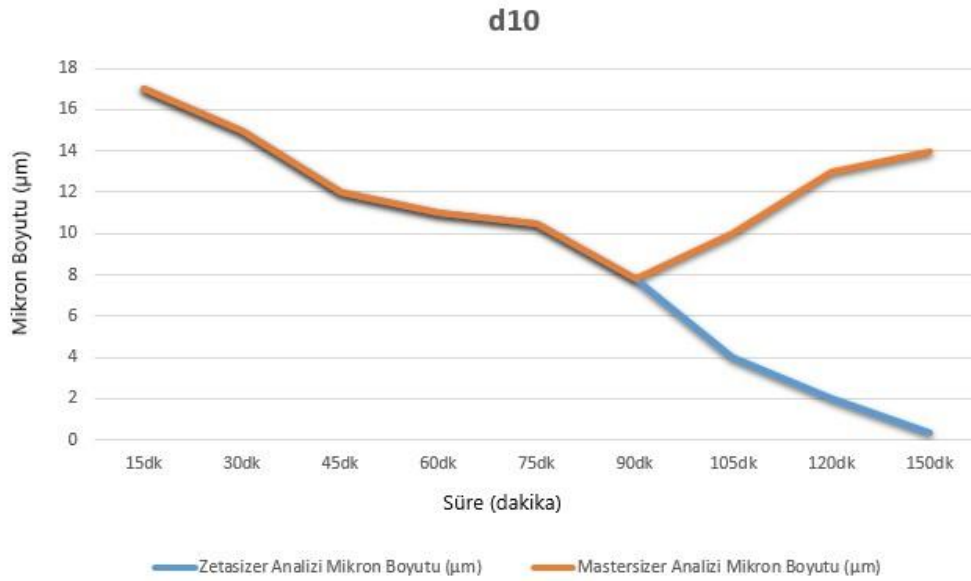
## Zetasizer Sonuç

	Boyut (d.nm)	%Yoğunluk
Z-Ortalama (d.nm):	1518	
PdI:	0,934	
Pik 1:	374,5	100,0
Pik 2:	0,000	0,0
Pik 3:	0,000	0,0



Şekil 5.40. Zetasizer toz boyut analizi

Zetasizer analizi sonucu 374,5 nonometre boyutlarına kadar parçacık boyutunun düştüğü görülmüştür. 150 dakika öğütme sonucunda tozun yoğunlukça % 50 oranında 374,5 nanometre toz boyutuna küçüldüğü, geriye kalan miktardaki daha iri toz boyutlarının analiz suyu içerisinde çöktüğü görülmüştür.



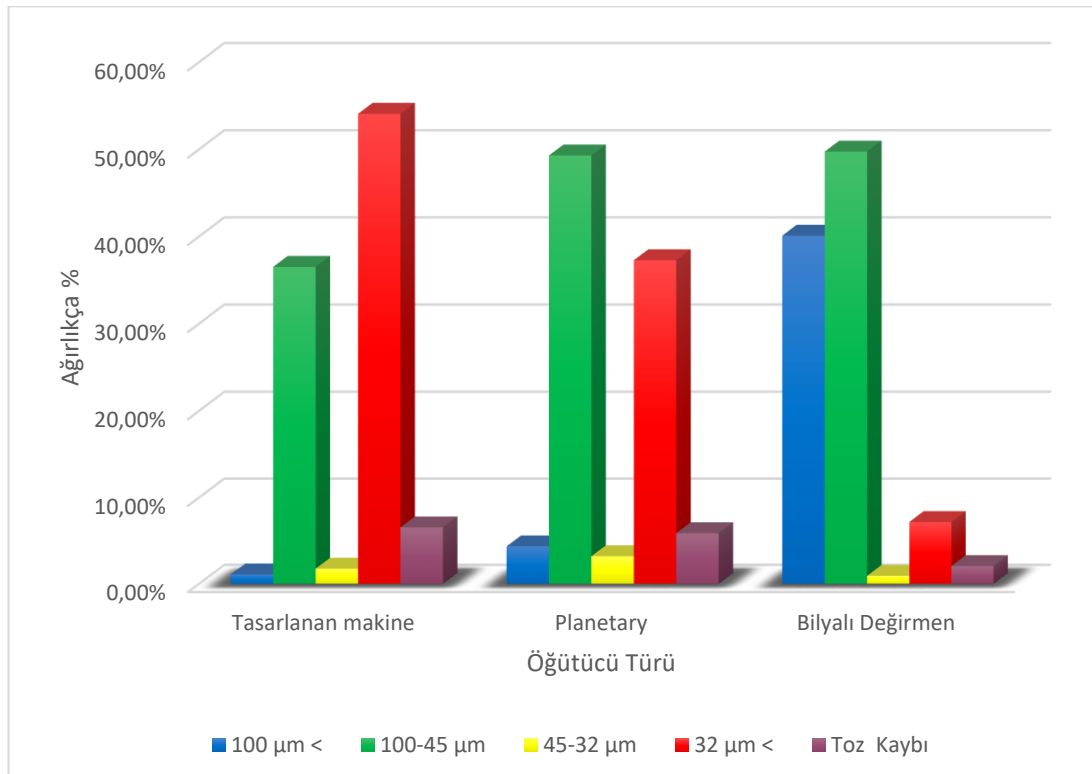
Şekil 5.41. Orbital 25Hz/lineer 35Hz sabit hızda öğütülmüş SiC tozunun farklı dakikalardaki toz boyut analizleri

Orbital 25 Hz / Linear 35 Hz sabit hızda öğütülmüş SiC tozunun zamana bağlı olarak değişen toz boyutu miktarlarının mastersizer ve zetasizer analizleri Şekil 5.41.'de gösterilmiştir.

### 5.6. Tasarlanan Öğütücünün Diğer Öğütücüler ile Karşılaştırılması

Tasarlanan makine de optimum değerler bulunduktan sonra gezegen ve bilyalı değirmende aynı değerler ya da yaklaşık değerlerle toz öğütülmüştür. Yani gezegen tipi öğütücü de 35 Hz(2100 devir/dk) ve bilyalı değirmen de kritik hıza çıkılmıştır.

Aşağıdaki grafik, yukarıdaki tabloların verileri kullanılarak hazırlanmıştır. Grafikte görüldüğü gibi 32 µm altında toz miktarı Ağ. % 50'nin üzerinde tasarlanan makine de çıkmıştır. Ona en yakın olan gezegen tipi öğütücüde 32 µm altında toz Ağ. % 35 civarlarında çıkmıştır. Bilyalı değirmen de ise 32 µm altı toz oranı Ağ. % 10'lara bile ulaşamamıştır.



Şekil 5.42. Öğütülen tozlara göre karşılaştırma grafiği

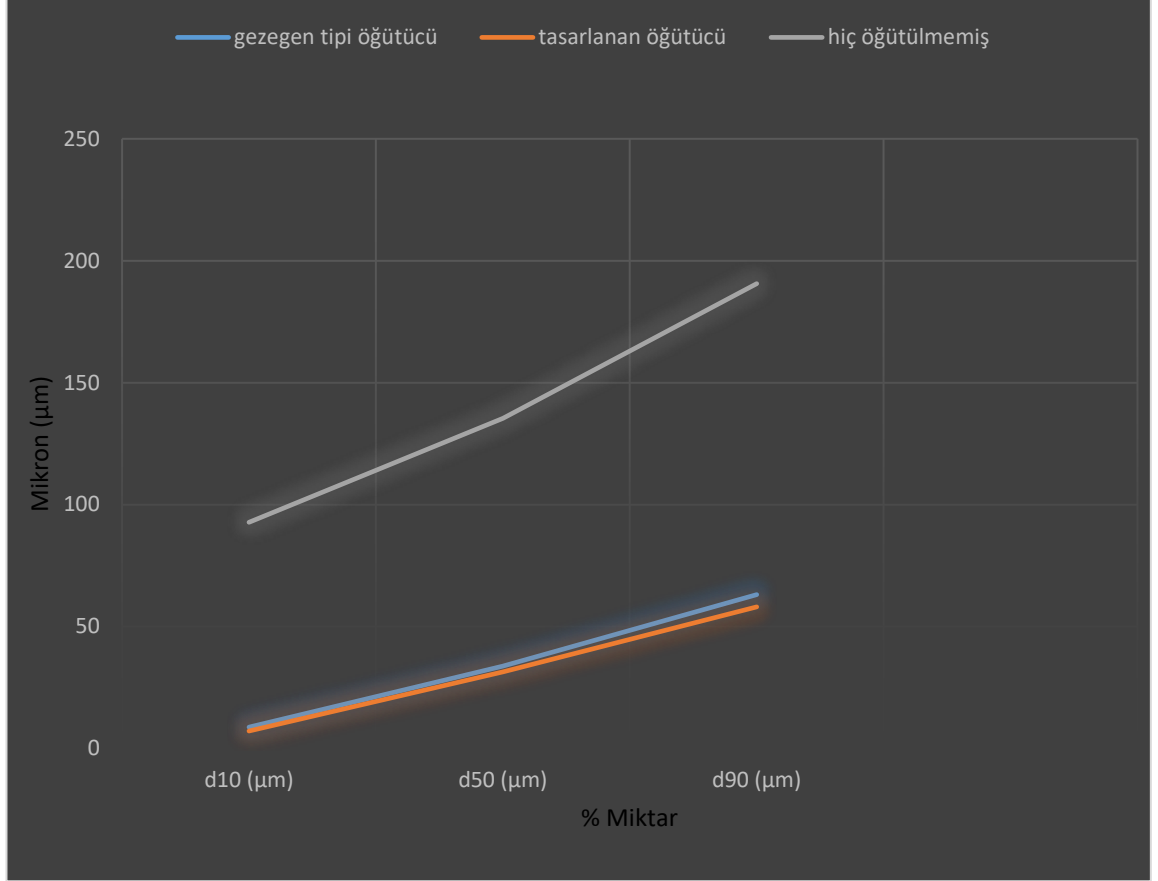
Tablo 5.21. Gezegen ve tasarlanan öğütücüde 90 dk öğütülmüş ve hiç öğütülmemiş SiC tozunun toz boyut analizleri

	$d_{10}$ ( $\mu\text{m}$ )	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	$d_{90}$ ( $\mu\text{m}$ )
Gezegen tipi öğütücü	8,75	33,76	63,09
Tasarlanan öğütücü	7,16	31,37	58,07
Hiç öğütülmemiş	92,75	135,4	190,6

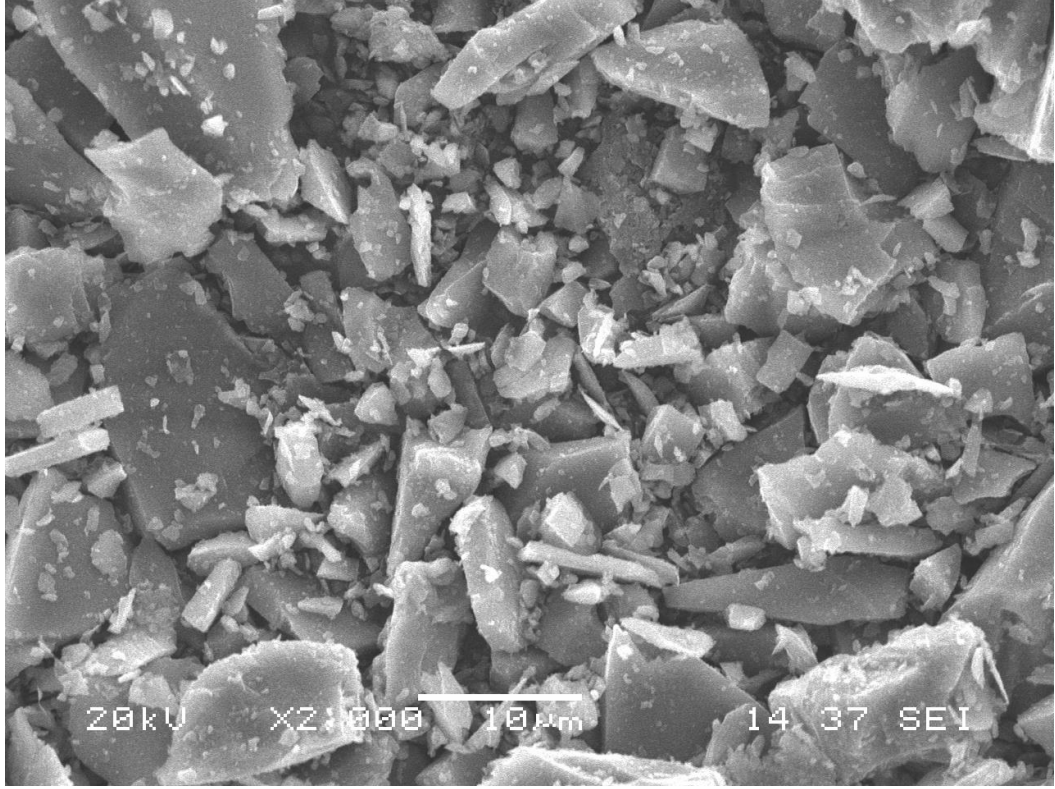
$d_{50}$  sütununda görüldüğü gibi hiç öğütülmemiş SiC tozunun %50'si 135,4  $\mu\text{m}$  altındadır. Eşit miktarlarda, eşit sürede ve birbirine yakın hızlarda – tasarlanan makine de optimum değerlerde (lineer = 2100 devir/dakika, orbital = 1500 devir/dakika), gezegen tipi öğütücüde 2100 devir/dakika – öğütülerek toz boyutları karşılaştırılmıştır.

Tasarlanan öğütücüde öğütülmüş tozun %50'si 31,37  $\mu\text{m}$  altındadır, en yakın rakibi olan gezegen tipi öğütücüde öğütülmüş tozun ise %50'si 33,76  $\mu\text{m}$  altındadır. Bu sonuçlara göre tasarlanan öğütücü gezegen tipi öğütücüye göre %30,6 daha verimli olduğu görülmüştür.

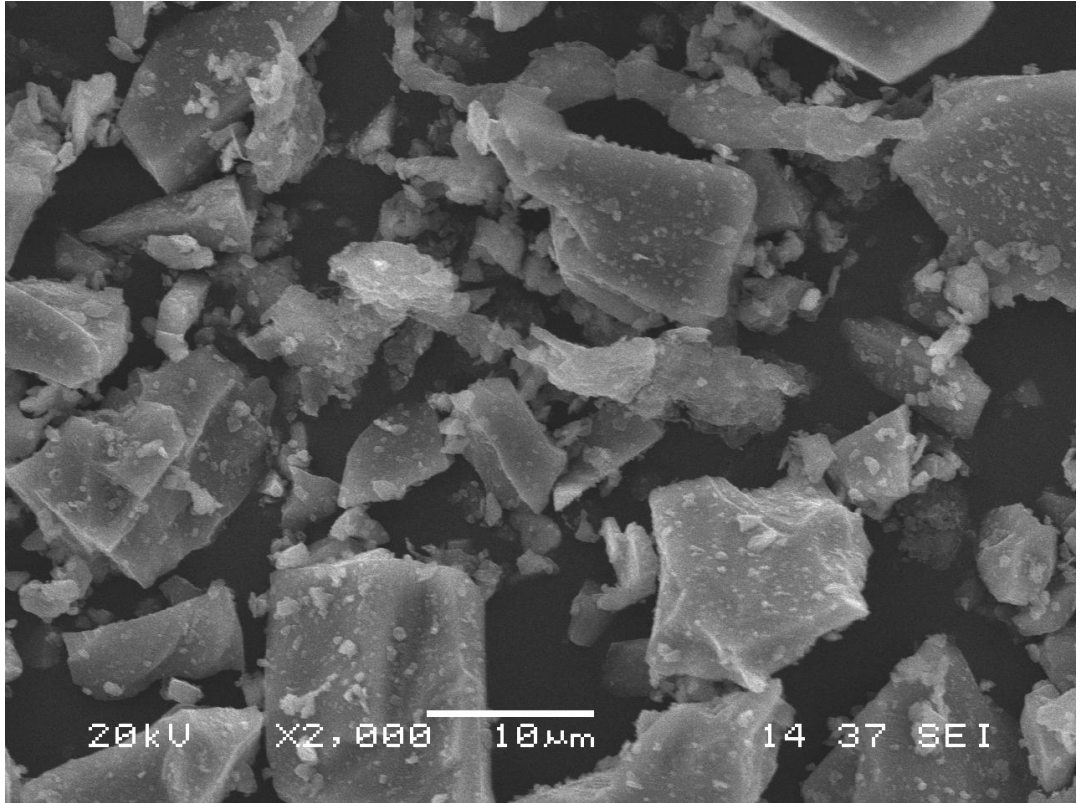
Aşağıda SEM görüntüleri de verilmiştir.



Şekil 5.43. Gezegen tipi öğütücü ve tasarlanan öğütücüde 90 dk öğütülmüş ve hiç öğütülmemiş SiC tozunun toz boyut analizleri



Şekil 5.44. Tasarlanan öğütücüde öğütülmüş SiC tozunun 2000 büyütmedeki SEM görüntüsü



Şekil 5.45. Gezegen öğütücüde öğütülmüş SiC tozunun 2000 büyütmedeki SEM görüntüsü

## **BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

### **6.1. Genel Sonuçlar**

Daha farklı bir mantıkla çalışan daha ucuza mal edilen ve daha yüksek performans elde edilen yeni bir cihaz tasarlanmıştır. Tasarımın çizimleri ve cihaz maliyet hesaplamaları sonrası makinenin üretimine başlanmıştır. Üretimi gerçekleştikten sonra deneysel çalışmalar başlanmıştır.

Deneysel çalışmalarda öncelikle kuvars tozu tercih edilerek orbital 20 Hz(1200 devir/dk) lineer 30 Hz(1800 devir/dk) hızlarında 15 dk çalıştırılarak toz boyutundaki küçülmeler gözlemlenerek rapor edilmiştir. Tekrardan kuvars tozuyla aynı hızlarda süreleri arttırılarak 30 dk ve 45 dk da toz boyutlarındaki küçülmeler gözlemlenerek rapor edilmiştir. Kuvars tozunun toz boyutunda yüksek oranda küçülmeler tespit edilince, kuvars tozundan daha sert olan silisyum karbür tozu için deneysel çalışma yapılmaya başlanmıştır.

Silisyum karbür tozunun öğütme işleminde ilk önce süre 15 dk sabit tutularak, orbital ve lineer hızların değişkenliğinde optimum değer belirlenmesi yapılmıştır. Optimum değer belirlenirken ilk önce lineer hız sabit tutularak orbital hızda optimum değer belirlenmiş daha sonra orbital hız sabit tutularak lineer hız da optimum değer belirlenmiştir. Sabit sürede bulunan optimum değerler orbital 25 Hz(1500 devir/dk) lineer 35 Hz(2100 devir/dk) bulunmuştur.

Sabit sürede bulunan optimum değerler yani orbital 25 Hz(1500 devir/dk) lineer 35Hz(2100 devir/dk) hızları sabit tutularak süre arttırılmıştır. 15'er dakika olacak şekilde arttırılan sürelerde optimum değer 90 dk olarak bulunmuştur.

Bulunan optimum değerler ile bilyalı değirmen ve planetary tipi öğütücü makinelerin de silisyum karbür tozu öğütme işlemi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile tasarlanan makinenin sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu tasarlanan makine deki amaca ulaşılmıştır.

Tasarlanan makinede bulunan optimum hız değerleri ve süre baz alınarak gezegen tipi ile bilyalı değirmen aynı süre zarfında çalıştırılarak karşılaştırılmıştır. Her üç makinede de aynı ağırlıkta, aynı sürede ve aynı mikron boyutunda SiC tozu öğütülmüştür. Öğütme sonucunda tasarlanan makine, tozun ağırlıkça %54,08 oranında, gezegen tipi öğütücü ağırlıkça %37,28 oranında, bilyalı değirmen ise ağırlıkça %7,17 oranında toz boyutunu 32 µm altına kadar düşürdüğü görülmüştür. Yapılan deneylerde görüleceği üzere bilyalı değirmenin verimliliği, tasarlanan makinenin ve gezegen tipi öğütücü değirmenin oldukça gerisinde kalmıştır.

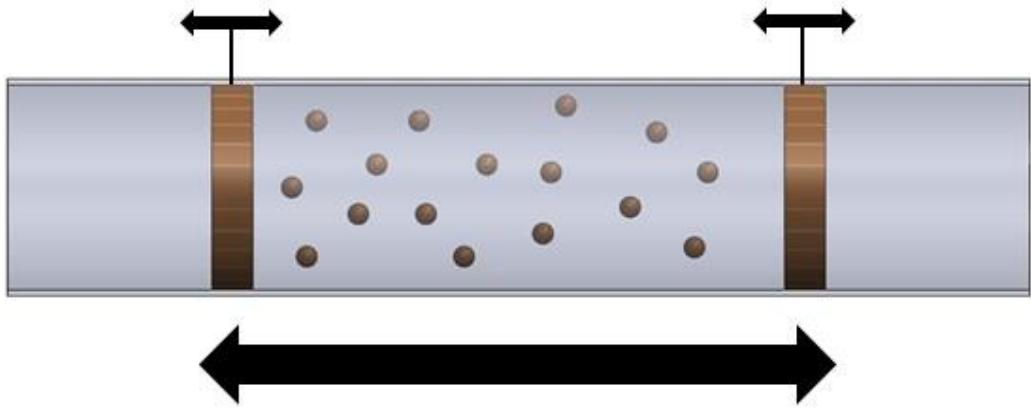
Aynı ağırlıktaki toz boyutu, gezegen tipi öğütücü değirmende ağırlıkça %37,28 oranında 32 µm altına indirilirken tasarlanan makinede %54,08 oranında 32 µm toz boyutunun altına indirilerek tasarlanan makinenin öğütme yönünden daha verimli olduğu görülmektedir. 32 µm tane boyutunun altındaki toz boyutları aynı miktarda incelendiğinde, tasarlanan makinenin öğüttüğü tozun %10'u 7,16 µm altında, gezegen tipi öğütücü değirmenin öğüttüğü tozun %10'u 8,75 µm altında olduğu görülmüş ve tasarlanan makinenin ulaşabileceği minimum toz boyutunun daha küçük değerlere ulaşmasıyla verimlilik yönünden daha iyi olduğu görülmüştür.

Tasarlanan makine 6000 – 7000 TL'ye mal olurken, gezegen tipi öğütücünün satış fiyatları 50000 – 80000 TL arasında ve bilyalı değirmen ise 15000 – 30000 TL arasında değiştiği görülmüştür. Çalışma performanslarında yapılan incelemeler sonucunda gezegen tipi öğütücü değirmenden ve bilyalı değirmenden daha verimli olduğu görülen tasarlanan öğütücü maliyet açısından da diğerlerine göre daha verimli olduğu görülmüştür.

## 6.2. Öneriler

Mevcut sistemdeki öğütücüler maksimum 1000 devir/dakika hız sergilerken tasarlanan öğütücü 3000 devir/dakika hız değerine kadar çıkabilmektedir. Tasarlanan sisteme soğutma ünitesi kurulursa, çalışma hız değeri daha yüksek devirlere çıkarılabilir. Tasarlanan sistemin toz haznesi, ağırlıkça daha fazla toz öğütmek için hacimce büyütülebilir. Bunun yanı sıra sistemde aynı anda birden farklı malzeme öğütülebilmesi için toz haznesinin sayısı artırılabilir. Sistem orbital ve lineer olarak iki farklı hareketi ayrı ayrı veya aynı anda gerçekleştirebilmektedir.

İstendiği takdirde, toz haznesinin içine yerleştirilecek birbirinden bağımsız iki farklı kırıcı yüzey arasında, sadece sistemin lineer hareketi ile çok yüksek devirlerde yeni bir kırıcı – öğütücü sistem oluşturmak mümkündür.



Şekil 6.1. Oluşturulabilecek kırıcı - öğütücü sistemi



## KAYNAKLAR

- [1] Çıtak, R., 1998, “Metalik Ba-Al Başlangıç tozlarının Düşük Sıcaklıklarda Oksidasyonu ile Al Matrisli Kompozit Üretimi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2-26.
- [2] Sur, G., 2002, “Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretimi ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-42.
- [3] Acılar, M., 2002, “Al/SiC Kompozitlerin Vakum infiltrasyon Yöntemi ile Üretimi ve Asınma Davranışlarının Araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 44-62.
- [4] Smith, W.F., 2012, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Çeviri Kınıkoğlu, N.G., Literatür Yayıncılık, İstanbul,
- [5] Varol T., 2012, AA2024 Matrisli B4C Parçacık Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 3-6.
- [6] Nazik C., Tarakçıoğlu N.,2013, “Alüminyum Matrisli B4c Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 13-14.
- [7] Eker, A.A., 2008, Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri, Yıldız Teknik Üniversitesi,
- [8] Şahin, Y., 2006, Kompozit Malzemelere Giriş, Ankara, 113-131.
- [9] Arcasoy, A., 1983. Seramik Teknolojisi, Marmara Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- [10] Smith W.F., Kınıkoğlu, N. G., (Ceviren), 2001. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

- [11] Geckinli, E., 1992. İleri Teknoloji Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Basımevi, İstanbul.
- [12] Bengisu, M., 2006. Seramik Bilimi ve Mühendisliği, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [13] Richerson, D., 1992. Modern Ceramic Engineering, NewCastle Library, New York.
- [14] Erdoğan, M., 2001. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel, Ankara.
- [15] Ford, W.F., 1967. The Effect of Heat on Ceramics, Maclaren & Sons, London.
- [16] Phil, W., Rainfort, M., 1994. Ceramic Microstructures, Chapman-Hill, London.
- [17] Saito, S., 1988. Advanced Ceramics, Oxford University Pres.
- [18] Uçar, T., 2008.
- [19] Turan, E. 2004. Bor-Karbür-Silisyum karbür kompozitlerinin sıcak presleme ile elde edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] Mingü, K., 2002, Alümina Esaslı Dökülebilir Refrakterlerin SiC ve C ilavesi ile geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] Weimer, A.W., 1997. Carbide, nitride, and boride materials synthesis and processing, Chapman and Hall, London.
- [22] Pierson H. O., 1996. Handbook of Refractory Carbides and Nitrides, Noyes Publications, NJ.
- [23] Heaney, P.J. , 1994: “ Structure and Chemistry of the Low-Pressure Silica Polymorphs”, Silica Physical Behaviour, Geochemistry and Materials Applications, vol 29, pp 1-32.
- [24] Davila, L.P., 1998: Computer modeling studies of the interstitial structure of selected silica polymorphs, M.S. Thesis, University of California, Davis.

- [25] Shackelford, J. F. Et al., 2008: Quartz and Silicas, Ceramic and Glass Materials Structure, Properties and Processing, pp71-87, Springer, Newyork.
- [26] Luton, M. J., Jayanth, C. S. Disko, M. M., Matras, M. M., Vallone, J. (1989). In: McCandlish, L. E, Polk, D. E. Siegel, R. W. , Kear, B. H. , eds. Multicomponent Ultrafine Microstructures. Pittsburgh, PA: Mater. Res. Soc. 132:79—86.
- [27] Uchirin, J., Uchirin, R., Avvakumov, E. G. (1995). Mater. sci. For. 179-181:425-430.
- [28] Salimon, A. L, Korsunsky, A. M., Kaloshkin, S. D, Tcherdyntsev, V. V. , Shelekhov, E. V., Sviridova, T. A. (2001). Mater. Sci. For. 360-362:137-142
- [29] Kwon, Y.-S., Gerasimov, K. B. , Lomovsky, O. I. , Pavlov, S. V. (2003). J. Alloys Compounds 353:194—199.
- [30] Demirel, H. 1994. Öğütme”, Cevher Hazırlama El Kitabı, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, Güven Önal&Gündüz Ateşok (ed), s. 58-71.
- [31] Wills, B.A., 1997. Mineral Processing Technology, Sixth Edition, Pregmon International Library, England, Chapter 7; s.142-176.
- [32] Yüce, E., 2008. Boyut Küçültme (Kırma-Öğütme) ve Sınıflandırma Teknolojisi, Yenilikler ve Proses Maliyetlerine Etkileri, Cevher ve Kömür Hazırlama Tesislerinde İşletme Denetimi ve Verim Arttırma Kursu, 21-25 Ocak 2008, YMGV Yayını.
- [33] Yıldız, N. 2007. Cevher Hazırlama”, Ertem Basım yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd.Şti. Ankara, s.504, ISBN: 978-975-96779-1-6.
- [34] Suryanarayana, C., Mechanical Alloying And Milling, ISBN 9780824741037 - CAT# DK1314, September 2004. Equipment For Mechanical Alloying, Types of Mills, Attritor Mills, p 41 - 43
- [35] Claudio, L. D. C., Brian, S. M., Nanoparticles from Mechanical Attrition, Synthesis, Functionalization and Surface Treatment of Nanoparticles, M.I. Barton, editor, American Scientific Publishers, 2002.
- [36] Suryanarayana, C., Mechanical Alloying And Milling, ISBN 9780824741037 - CAT# DK1314, September 2004.
- [37] Dictionary of nanotechnology (Nanodictionary),

- [38] Yazıcı, E., Ultrasonik sprey piroliz tekniğiyle küresel gümüş nano-parçacıklarının üretimi, İ.T.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü yüksek lisans tezi, 2009.
- [39] Davis, R. M. , McDermott, B. , Koch, C. C. (1988). Metall. Trans. 19A:2867-2874.
- [40] Okada, K., Kikuchi, S., Ban, T., Otsuka, N. (1992). J. Mater. sci. Lett. 11:862-864.
- [41] Bellosi, A., Montverde, F., Botti, S., Martelli, S. (1997). Mater. sci. For. 235-238:255260.
- [42] Dolgin, B. P., Vanek, M. A., McGory, T., Ham, D. J. (1986). J. Non-Cryst. Solids 87:281-289.
- [43] Blaskov, V., Radev, D. D, Klissurski, D, Yordanov, N. D. (1994). J. Alloys Compounds 206:267-270.
- [44] Yaşar, H. (1997) Termal Bariyer Kaplamanın Turbo Doldurmalı Bir Dizel Motorunun Performansına Etkileri. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [45] Geçkinli, A. (1992) İleri Teknoloji Malzemeleri. Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- [46] Öztürk, M. (2007) SiC İlaveli Alümina Seramik Kompozitler. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- [47] Alp, A. (1996). Muğla Boksitlerinden Alümina Üretiminde Verimlilik Koşullarının İncelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

## ÖZGEÇMİŞ

Harun GÜNGÖRDÜ, 30.08.1985'de Sakarya'da doğdu. İlköğretimini ve ortaöğretimini Sakarya'da tamamladı. Lise eğitimini Sakarya'da bulunan Mithat Paşa Şükrü Ayna Lisesi'nde 2002 yılında tamamladı. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği bölümünü kazanarak üniversite eğitimine başladı. 2009 yılında lisans eğitimini tamamlayarak Denizli'de askerlik görevini yerine getirdi. 2009 yılında Sakarya'da bulunan Samtek Otomotiv Elektroteknik A.Ş. firmasında iş hayatına başladı. 2013 yılında makine tasarım ve imalat sorumlusu olarak çalıştığı firmadan istifa ederek Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği programında yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı yıl içinde Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği programında ikinci lisans eğitimine başladı. 2014 yılında ikinci lisans eğitimini tamamlayarak Sakarya'da bulunan Eksan Mekanizma A.Ş. firmasında üretim müdürü olarak çalışma hayatına devam etti. Aynı yıl içinde Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği programında ikinci yüksek lisans eğitimine başladı. 2015 yılında çalıştığı firmada fabrika müdürü olarak çalışma hayatına devam etti. 2017 yılında çalıştığı firmadan istifa ederek Sakarya'da bulunan Aydın Endüstri A.Ş. firmasında çelik işletme müdürü olarak iş hayatına devam etti. Şu anda Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği programında ikinci yüksek lisans eğitimine ve Sakarya 'da bulunan Aydın Endüstri A.Ş. firmasında çelik işletme müdürü olarak iş hayatına devam etmektedir. Mesleki ilgi alanları arasında bilgisayar destekli tasarım, toz metalürjisi, imal usülleri bulunmaktadır.