



**EROZYON MEKANİZMASI YAKLAŞIMI İLE İŞ PARÇASI YÜZEY
KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE PARÇACIK BOYUTU VE
HIZININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Mustafa Hayri İNCİRKUŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2019

Mustafa Hayri İNCİRKUŞ tarafından hazırlanan “EROZYON MEKANİZMASI YAKLAŞIMI İLE İŞ PARÇASI YÜZEY KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE PARÇACIK BOYUTU VE HIZININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Rahmi ÜNAL

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Levent URTEKİN

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ahi Evran Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Gökhan KÜÇÜKTÜRK

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 16/12/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mustafa Hayri İNCİRKUŞ

16/12/2019

EROZYON MEKANİZMASI YAKLAŞIMI İLE İŞ PARÇASI YÜZEY KALİTESİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİNDE PARÇACIK BOYUTU VE HIZININ ETKİSİNİN
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Mustafa Hayri İNCİRKUŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2019

ÖZET

Günümüzde, gelişen teknolojiyle birlikte artan makine kullanımlarına bağlı olarak karmaşık parçalara gereksinim giderek artmaktadır. Bu karmaşık parçaların imalatında da eklemeli imalat yöntemi hızla yaygınlaşmaktadır. Eklemeli imalatın en büyük dezavantajı, yüzey kalitesinin iyileştirilmesi hususunda klasik yöntemler yerine yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmasıdır. Bu çalışma, gelecekte eklemeli imalat yöntemiyle üretilecek parçaların, yüzey kalitesinin iyileştirilmesinde kullanılabilecek olan “abrazif parçacıkla yüzey iyileştirme” metodunun temel mekanizmasının anlaşılmasını amaçlamaktadır. Bunun için çelik malzemeden üretilmiş belirli başlangıç yüzey kalitesine sahip basit geometrili yüzeylerin abrazif aşınma mekanizmasıyla yüzey kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Silisyum Karbür - Su karışımı ve susuz Silisyum Karbür içerisinde numunelerin kendi eksenine etrafında dönme ve ilerleme hareketiyle numunelerin yüzey kalitesindeki değişimler incelenmiştir. Çelik numuneler Ç1040 malzemeden üretilmiş, numunenin aşındırıcı ortam içerisindeki hareketi 1,5 m/s, 1,75 m/s ve 2,0 m/s olmak üzere üç farklı hızda uygulanmıştır. Bu hızlarda numuneler beş saate kadar farklı sürelerde işleme tabi tutulmuştur. Deneylerde, F20 ve F36 Silisyum Karbür tozları ayrı ayrı ve karışım olarak kullanılmıştır. Su karışımlı F20 tozlarıyla yapılan deneylerde malzeme yüzey kalitesinde iyileşmeler görülürken, su karışımlı F36 tozlarıyla yapılan deneylerde malzeme yüzey kalitesinde artışlar meydana gelmiştir. F36 parçacıklı deneylerin sonucunda, kısa süreli maruziyette yüzey kalitesinde olumlu etki görülürken sürenin artışıyla birlikte yüzey kalitesinde bozulmalar görülmüştür. Sulu F20 ve F36 toz karışımı ile yapılan deneylerde ise yüzey kalitesinde iyileşmeler görülmüştür. Fakat F36 tozlarının etkisi ile yüzeyde bozulmaların başladığı SEM görüntüleriyle tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : Erozyon, Abrazif, Aşınma, Yüzey Kalitesi, Silisyum Karbür, SiC, Ç1040

Sayfa Adedi : 61

Danışman : Prof. Dr. Rahmi ÜNAL

EXAMINATION OF THE EFFECT OF PARTICLE SIZE AND VELOCITY ON THE
IMPROVEMENT OF WORKPIECE SURFACE QUALITY BY USING EROSION
MECHANISM APPROACH

(M. Sc. Thesis)

Mustafa Hayri İNCİRKUŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2019

ABSTRACT

Nowadays, the demand for complex parts is gradually increasing depending on growing use of machinery with developing technology. In the manufacture of these complex parts, the additive manufacturing method is quickly becoming prevalent. The main disadvantage of additive manufacturing is the need for new methods rather than conventional methods for improvement of the surface quality matter. The aim of this thesis is to understand the fundemantal mechanism of surface improvement method with abrasive particles which can be used to improve the surface quality of parts to be produced by additive manufacturing method in the future. Therefore it is aimed to improve the surface quality of simple geometric surface (made of steel with a certain surface quality) with abrasive wear mechanism. For this purpose the changes in the surface quality of test sample surfaces which are formed by rotating and progressing in silicon carbide - water mixture and anhydrous silicon carbide were investigated. Test samples were made of AISI1040 steel and the movement of the sample in inabrasive media has been applied at 3 different velocities respectively 1,5 m/s, 1,75 m/s and 2 m/s. The samples at these velocities were processed with different periods of time up to five hours. In the experiments Silicon Carbide F20 and F36 powders were used separately and as a mixture. In the experiments with water-mixed F20 powders, improvements in the sample surface quality were observed while increase in material surface quality were occured in the experiments with water-mixed F36 powders. As a result of F36 particle tests short-term exposure has increased the quality of surface whereas longer duration has causeddistortion in the surface quality. In the experiments with water-mixed F20 and F36 powder mixture, improvements in surface quality has been observed. However, the deterioration at the surface with the effect of F36 powders was detected by SEM images.

Science Code : 91438

Key Words : Erosion, Abrasive, Wear, Surface Roughness, Silicon Carbide, SiC, Ç1040

Page Number : 61

Supervisor : Prof. Dr. Rahmi ÜNAL

TEŞEKKÜR

Bu çalışma sırasında desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Rahmi ÜNAL'a, çalışmam boyunca beni sürekli destekleriyle motive eden eşim Vecihe İNCİRKUŞ' a, test düzeneğimin ve numunelerimin imalatı esnasında maddi manevi desteğini esirgemeyen Ademsan Makina Ltd. Şti.' ye, tatilde denize girmek yerine tez yazıma yardım eden Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Görevlisi Dr. Nizamettin ÖZDOĞAN' a ve teknik desteğinden dolayı dostum Bora BOLAT' a teşekkür ederim...

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
2.1. Aşınma ve Türleri	3
2.2. Aşındırıcı Parçacıklar.....	6
2.3. Aşınma ve Yüzey İyileştirme Yöntemleri İle İlgili Bazı Çalışmalar	7
3. MALZEME VE YÖNTEM	25
3.1. Deney Düzenegi	25
3.2. Kullanılan Malzemeler.....	30
3.2.1. Numune malzemesi ve şekli.....	30
3.2.2. Aşındırıcı parçacık.....	31
3.3. Test ve Analizler.....	31
3.3.1. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı	31
3.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	32
3.4. Deneylerin Yapılışı	33

	Sayfa
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	37
4.1. F20 ve Su Karışımli Deney Sonuçları.....	37
4.2. F36 ve Su Karışımli Deney Sonuçları.....	40
4.3. F20 Su Karışimsız Deney Sonuçları	44
4.4. F20 - F36 ve Su Karışımli Deney Sonuçları.....	45
4.5. Yüzey Kararmasının Giderilmesi	49
4.6. Yüzey ve Parçacıkların SEM İncelemeleri	50
4.6.1. Yüzey incelemeleri	50
4.6.2. Parçacık SEM incelemeleri	53
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
5.1. Sonuçlar	57
5.2. Öneriler	58
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	61

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bazı malzemelerin knoop sertlik değerleri	6
Çizelge 2.2. Malzemelerin erozyon aşınma hızları	11
Çizelge 2.3. Değişik aşındırıcı parçacıkların değişik malzemeler üzerindeki aşındırıcı etkisi.....	15
Çizelge 3.1. Ç1040 Çeliğinin mekanik ve kimyasal özellikleri	30
Çizelge 3.2. SiC tozları ile yapılan 4 farklı çalışmanın hız ve süreleri.....	34
Çizelge 4.1. F20 Su karışımlı ortamda yapılan deneylerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri	37
Çizelge 4.2. F36 Su karışımlı ortamda yapılan deneylerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri	41
Çizelge 4.3 F20 Susuz ortamda yapılan deneylerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri	44
Çizelge 4.4. F20 - F36 Su karışımlı ortamda yapılan deneylerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri	46

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Mekanik aşınma proseslerinin sınıflandırılması	3
Şekil 2.2. Adezif aşınma mekanizması	4
Şekil 2.3. Tekrarlı yüke göre yüzey yorulma aşınmasının şematik gösterimi	4
Şekil 2.4. Abrasif aşınma mekanizması şematik gösterimi	5
Şekil 2.5. Eroziyon - Abrasif aşınma mekanizmasında gerçekleşebilecek aşınma türleri ..	5
Şekil 2.6. 1-Disk, 2-Numune Tutucu, 3-Numune, 4-Aşındırıcı Ortam, 5-Hazne, 6-Şaft, 7-Sürücü Motor, 8-Kolon, 9-Zemin	7
Şekil 2.7. 1-Hazne, 2-Tank, 3-Aşındırıcı Ortam, 4-Disk, 5-Farklı Açılarda Bağlanmış Numuneler, 6-Numune Tutucu	8
Şekil 2.8. Değişik açılarda dönme hızına göre kütle kaybı	9
Şekil 2.9. Koriolis test düzeneği. Deney düzeneğinin şematik gösterimi ve parçacık üzerine etkiyen kuvvetler	10
Şekil 2.10. Koriolis erozyonu test düzeneğinin şematik gösterimi.....	12
Şekil 2.11. Farklı çarpma açılarına göre 6061T-6511 Alüminyum numunede 15 dakikalık aşınma	12
Şekil 2.12. Hazne test düzeneğinin şematik gösterimi	14
Şekil 2.13. Malzemelerin aşındırıcı sertliğine göre aşınma miktarları	15
Şekil 2.14. Aşındırıcılı akış işleminin (AFM) genel mekanizması	16
Şekil 2.15. A-Tek Yön AFM, B-Çift Yön AFM, C-Yörüngesel AFM (İşlemeden öncesi ve sonrası).....	16
Şekil 2.16. Yeni ve kullanılmış aşındırıcı tozlarla değişken piston hızlarında a – Yüzey pürüzlülüğü, b – Malzeme kaybı	17
Şekil 2.17. Deney mekanizmasının çalışma şekli a – Helis yol olmadan, b – Dörtlü helis yol ile	19
Şekil 2.18. İşlem Tekrarına göre numune yüzeyinin pürüzlülüğü ve numunedeki malzeme kaybı	20

Şekil	Sayfa
Şekil 2.19. Helis yol kullanılarak ve helis yol kullanılmadan elde edilen yüzey pürüzlülüğünün değişik noktalardaki değerleri	20
Şekil 2.20. a- Aşındırıcılı Yüzey İşleme (AFF) Şematik diyagramı, b- Aşındırıcı Parçacıkların yüzey ile etkileşimi, c- Aşındırıcı parçacıkların yüzeyde Oluşturdukları mikro kırıntılar, d- Aşındırıcı parçacıkların işlem esnasındaki hızı ve kuvvetler	21
Şekil 2.21. Farklı jel oranlarında “soft styrene” polimer miktarının değişiminin yüzey pürüzlülüğü değişimindeki etkisi	22
Şekil 2.22. Abrasif parçacıkla iş parçasının teması	22
Şekil 2.23. Optik Profilmetre ile yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi (MicroProf FRT)...	22
Şekil 2.24. Değişik püskürtme hızları, parça dönüş hızı ve ilerleme hızına göre yüzey pürüzlülüğündeki değişim.....	23
Şekil 2.25. Değişik aşındırıcı yoğunluğu ve viskoziteli ortamın ısıtma işlem görmüş ve görmemiş maraging çeliğinin üzerindeki aşındırıcı etkisi	24
Şekil 3.1. Deney düzeneği genel görünümü parçaların numaraları	26
Şekil 3.2. Deney düzeneği kesit görünümü	26
Şekil 3.3. Numunenin içerisindeki aşındırıcılı karışımda hareket ettiği alüminyum kap.....	27
Şekil 3.4. Alüminyum kap ölçüleri	27
Şekil 3.5. Kapak içerisi döner kol ve dişli sistemi genel görünüm.....	28
Şekil 3.6. Numunelerin kendi eksenini etrafında dönmesi ve ilerleme hareketi mekanizması	29
Şekil 3.7. Deneylerde kullanılan numune şekli ve ölçüleri	30
Şekil 4.1. F20-Su karışımı ortamında farklı sürelerde yüzey pürüzlülüğünün süreye göre değişimi.....	39
Şekil 4.2. F20-Su karışımı ortamında farklı sürelerde yüzey pürüzlülüğünün hıza göre değişimi.....	40
Şekil 4.3. F20-Su karışımı ortamında farklı sürelerde yüzey pürüzlülüğünün süreye göre değişimi.....	43
Şekil 4.4. F20-Su karışımı ortamında farklı sürelerde yüzey pürüzlülüğünün hıza göre değişimi.....	43

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. F20 - F36 - Su karışımı ortamında farklı sürelerde yüzey pürüzlülüğünün süreye göre değişimi	48
Şekil 4.6. F20 - F36 - Su karışımı ortamında farklı sürelerde yüzey pürüzlülüğünün hıza göre değişimi	48

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. 30° Çarpma Açısındaki 2,93 m/s (a), 5,13 m/s (b) Hızlarındaki SEM Görüntüsü	9
Resim 2.2. Aşındırıcı morfolojileri, a) AFS 50–70 Silis kumu & b) 80 meş SiC	11
Resim 2.3. Farklı darbe açılarıyla 10 dakikalık testten sonra 6061T-6511 alüminyum numunelerin darbeli aşınma izi	13
Resim 2.4. AFM ile yüzeyi temizlenmiş bir diz protezi	17
Resim 2.5. Aşındırıcıların SEM Görüntüsü a – Yeni aşındırıcı, b – Kullanılmış aşındırıcı	18
Resim 2.6. Aşındırıcı ortamların oluşturduğu yüzeylerin SEM görüntüsü a – Yeni aşındırıcı, b – Kullanılmış aşındırıcı.....	18
Resim 3.1. Deney düzeneği üstten görünüşü	27
Resim 3.2. Alüminyum kap	28
Resim 3.3. Silisyum karbür (SiC) tozları; F20: 850–1180 mikron, F36: 425–600 mikron.....	31
Resim 3.4. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	32
Resim 3.5. Zeiss Evo 40 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM). Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü.....	32
Resim 3.6. Deney düzeneğinin kapak altı dişlileri ve numune bağlantı yerleri	33
Resim 4.1. F20 Su karışımlı ortamda aşınan deney numunesi görüntüleri.....	38
Resim 4.2. F36 Su karışımlı ortamda aşınan deney numunesi görüntüleri.....	42
Resim 4.3 F20 susuz ortamda aşınan deney numunesi yüzey görüntüleri.....	45
Resim 4.4. F20 F36 Su karışımlı ortamda aşınan deney numunesi görüntüleri	47
Resim 4.5. Farklı işlemlerin yüzeydeki kararmayı giderme etkisi	49
Resim 4.6. İşlenmemiş, 2 m/s ile 5 saat işlenmiş ve deneyler süresince işlenmiş numuneler	50
Resim 4.7. İşlenmemiş parçanın SEM görüntüleri.....	51
Resim 4.8. 2m/s hızında 5 saat boyunca işlenen parçanın SEM görüntüleri	52

Resim	Sayfa
Resim 4.9. Kuru ve karışım tozlu deneyler süresince işlenen karşı numunenin SEM görüntüleri	53
Resim 4.10. Kuru ve karışım tozlu deneyler öncesinde F20 ve F36 toz karışımı SEM görüntüsü	54
Resim 4.11. Kuru ve karışım tozlu deneyler sonrasında F20 ve F36 toz karışımı SEM görüntüsü	55

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

Ra

Ortalama yüzey kalitesi (mikro metre)

Kısaltmalar

Açıklamalar

AFF

Abrasif Akışlı Yüzey İyileştirme

AFM

Abrasif Akışlı İşleme

AM

Eklemeli İmalat

RPM

Dakikadaki Dönüş Adedi

SiC

Silisyum Karbür

SLM

Seçici Lazer Ergitmeli

1. GİRİŞ

Eklemeli imalat (Additive Manufacturing, AM) karmaşık şekilli parçaların üretimi için kullanılan modern bir yöntemdir. Eklemeli imalat yöntemleri günümüzde hızla gelişmekte ve maliyetler hızla düşmektedir. Bu yöntemle, imalatı geleneksel imalat yöntemleri ile mümkün olmayan parçalar rahatlıkla üretilebilmektedir. Eklemeli imalat geometrik tasarım esnekliği ve parça ağırlığını azaltma gibi hususlarda oldukça cazip bir imalat yöntemidir. Bununla birlikte, AM ile metal parçaların imal edilmesinde karşılaşılan en büyük zorluklardan birisi zayıf yüzey kalitesidir. AM parçalarının düşük yüzey kalitesi, metal AM teknolojileri için katman imalat yaklaşımı ve toz yapışmasından kaynaklanmaktadır. İkincisi, yüksek sıcaklık nedeniyle çevredeki tozların ergitilen kısma yapışması seçici lazer ergitmeli (SLM) işlemlerde görülmektedir. SLM ile üretilmiş parçaların yüzey kalitesi yüksek performans gerektiren uygulamalar için yeterli değildir. Üretim sonrası yüzey işlemleri, AM işleminde parçaların yüzey kalitesini artırmak amacıyla hala kaçınılmaz bir adımdır. Geometrik karmaşıklıklardan dolayı, metal eklemeli imalat parçalarının geleneksel parlatma işlemleri ile yüzeylerinin parlatması daha zordur. Bu nedenle parça geometrisine bağlı olarak özel yaklaşımların geliştirilmesi ihtiyacı bulunmaktadır.

Bu amaç için mekanik yüzey iyileştirme yaklaşımlarının parça geometrisine özel olarak uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle, mekanik yüzey aşındırma için aşındırıcı parçacıkların kullanılabileceği bir yüzey kalitesi iyileştirme düzeneği tasarlanarak imal edilmiştir. Deneysel çalışmalar ile çelik parça numuneler üzerinde hedeflenen yüzey kalitesine ulaşılması için parametrik çalışmalar yapılmıştır.

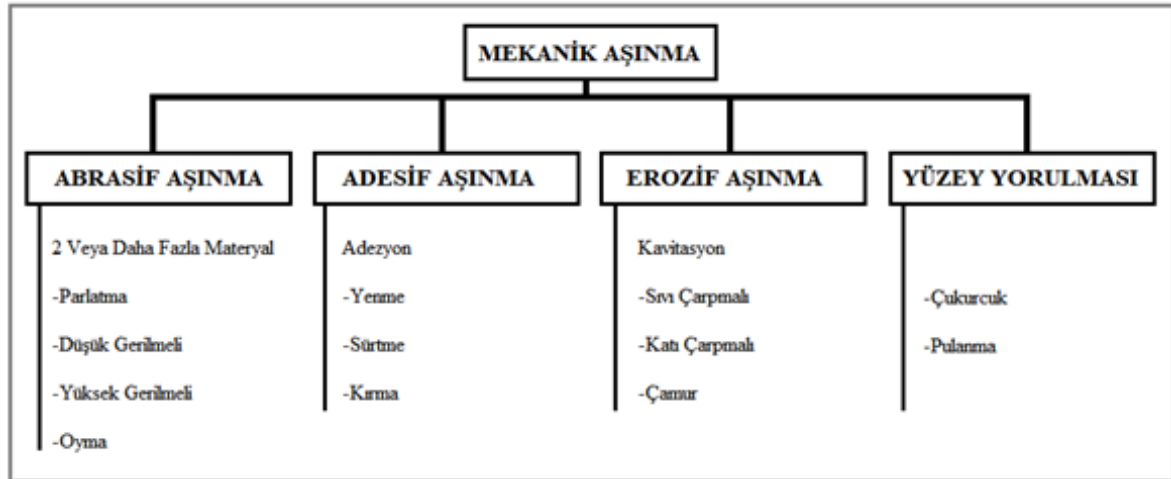
Bu çalışmada, gelecekte eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş parçalar için kullanılması düşünülen tekniklerden abrasif aşındırıcı ile yüzey iyileştirme tekniği için bir fikir oluşturma amaçlanmıştır. Aşınma mekanizmasının genel etkilerini görebilmek ve değişkenlerin etkisi hakkında bilgilere sahip olabilmek amacıyla, abrasif aşındırıcıya maruz bırakılacak yüzey silindirik bir yüzey tercih edilmiştir. Bu deneylerde malzeme olarak yüzey kalitesi daha önceden belirli düzeye getirilmiş Ç1040 çeliği kullanılmıştır. Genel olarak abrasif aşındırıcı parçacık olarak seramik bazlı sert malzemeler tercih edilir ve bu çalışmada yüksek aşındırıcı özellikleri nedeni ile Silisyum Karbür tozları (SiC) tercih edilmiştir. Bunun için çelik malzemeden üretilmiş belirli başlangıç yüzey kalitesine sahip

basit geometrili yüzeylerin abrazif aşınma mekanizmasıyla yüzey kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Silisyum Karbür - Su karışımı ve susuz Silisyum Karbür içerisinde numunelerin kendi eksenine etrafında dönme ve ilerleme hareketiyle numunelerin yüzey kalitesindeki değişimler incelenmiştir. Numunenin aşındırıcı ortam içerisinde ilerleme hareketi 1,5 m/s, 1,75 m/s ve 2,0 m/s olmak üzere üç farklı hızda uygulanmıştır. Bu hızlarda numuneler beş saate kadar farklı sürelerde işleme tabi tutulmuştur. Deneylerde işlem değişkenlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

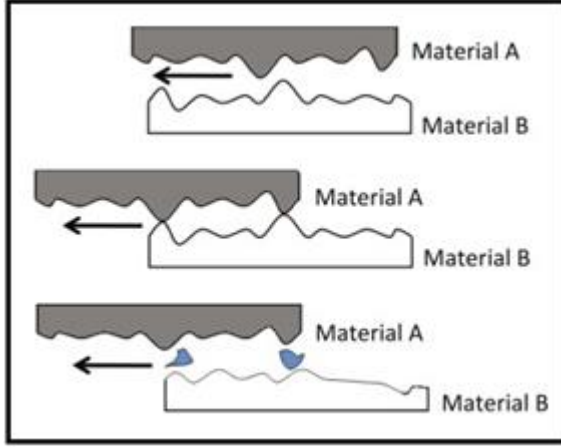
2.1. Aşınma ve Türleri

Yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesi aşındırma işleminin kontrollü ve belirli bir oranda gerçekleştirilmesi ile oluşur. Aşınma temelde iki ana başlıkta incelenmektedir. Mekanik aşınma ve Kimyasal aşınma (oksidasyon ve korozyon). Yüzey pürüzlülüğü işleminde kullanılan aşındırma türü mekanik aşındırma türüdür. Mekanik aşınma, iki farklı malzemenin teması sonucu oluşan ve bazen istenen bazen de istenmeyen malzeme kaybına denir. Mekanik aşınma adeziv aşınma, eroziv aşınma, yüzey yorulması ve abrasif aşınma olarak dört ana başlıkta incelenmektedir (Şekil 2.1) [1,2].



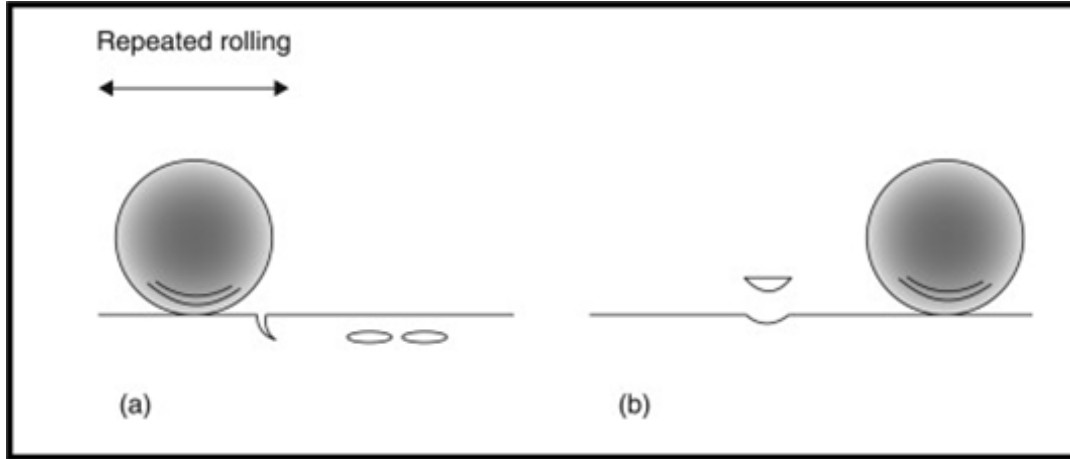
Şekil 2.1. Mekanik aşınma proseslerinin sınıflandırılması [2]

Adezif aşınma birbirine göre kayan iki yüzey arasında meydana gelir. Temas eden pürüzlü yüzeylerdeki yüksek basınç, plastik şekil değişimine, adezyona ve lokal birleşmelere neden olur. Bu yüzeyler arasındaki göreceli kayma bu birleşmelerin kopmasına ve genellikle bir yüzeyden diğerine geçmesine, yapışmasına sebep olur [3]. Şekil 2.2’ de adeziv aşınmaya ait şekil verilmiştir.



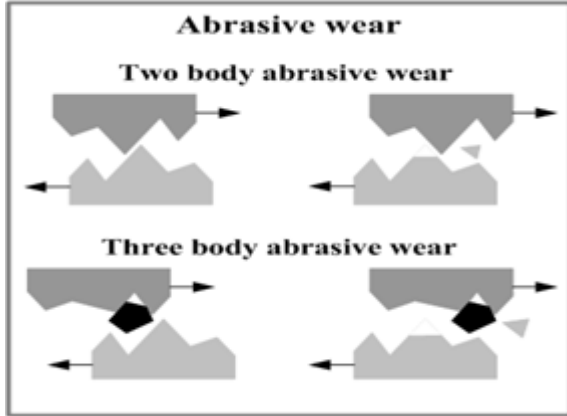
Şekil 2.2. Adezif aşınma mekanizması [4]

Yüzey yorulması tekrarlı değişken yüklemeler nedeniyle çatlak oluşumu ve malzeme dökülmesi sonucu meydana gelen aşınmaya denir. Temas eden katı parçalar arasındaki yuvarlanma ve/veya kayma veya sıvıların veya katıların darbesi sonucu çevrimsel yüzey gerilmeleri oluşur. Birbirine göre hareket halindeki yüzeylerde pürüzlerin tekrar eden kayma teması nedeniyle mikro ölçekte yerel yorulma oluşur (Şekil 2.3) [5].



Şekil 2.3. Tekrarlı yüke göre yüzey yorulma aşınmasının şematik gösterimi [5]

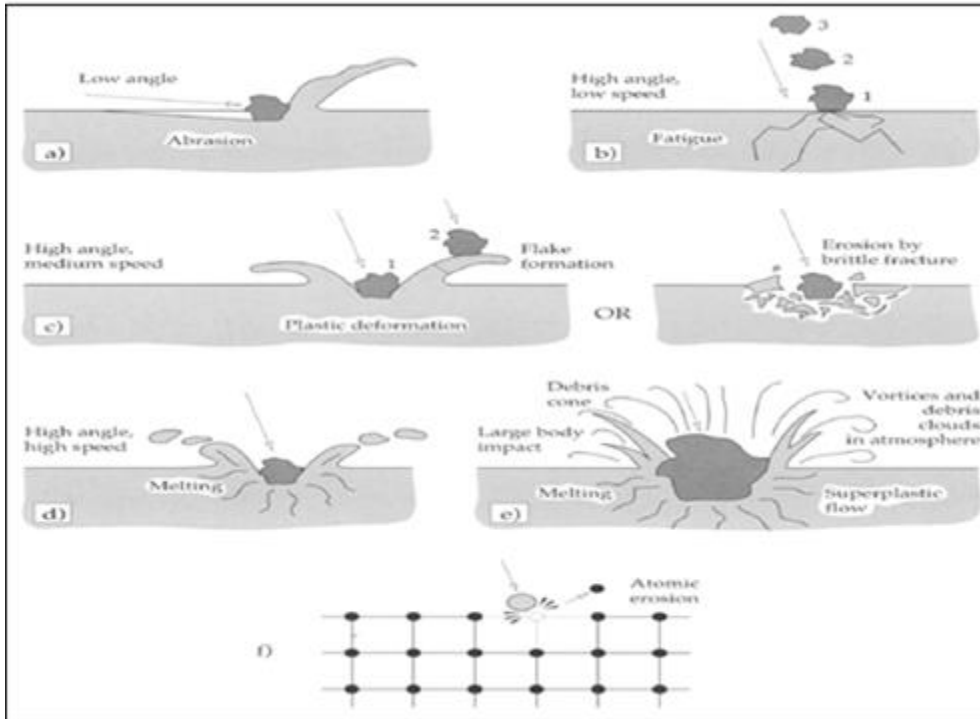
Abrazif aşınma sertliği aynı veya saha sert bir malzemenin parçacıkları tarafından diğer malzemenin yüke maruz kalmasıyla meydana gelir. Aşındırıcı malzemenin aşınan malzemeye çarparak, sürtünerek parça koparmasıyla meydana gelir. Genelde çalışan iki yüzey arasında dışardan giren veya bu yüzeylerden kopan parçacıkların koparma ile oluşturduğu aşınma türüdür (Şekil 2.4) [6].



Şekil 2.4. Abrasif aşınma mekanizması şematik gösterimi [4]

Erozif aşınma katı veya sıvı aşındırıcı parçacıkların hava veya sıvı bir ortam içerisinde hedef numunenin yüzeyine çarparak numuneden malzeme kaldırması olayıdır.

Sıvı içerisinde aşındırıcı parçacıkların parça üzerine teması ile oluşan aşındırma türü genel olarak Eroziyon - Abrasif aşınma olarak bilinir. Bu aşınma türünde aşınmanın birkaç mekanizması aynı anda gerçekleşebilir. Aşındırıcı parçacıkların çarpma açısı ve aşınan malzemenin sertliğine bağlı olarak Şekil 2.5’ de görülen aşınma mekanizmaları gerçekleşebilir [7,8].



Şekil 2.5. Eroziyon - Abrasif aşınma mekanizmasında gerçekleşebilecek aşınma türleri [7]

2.2. Aşındırıcı Parçacıklar

Bir aşındırıcının en önemli özelliği sertliktir. Sertliğin yüksek sıcaklıklarda tutulması ve aşındırıcının kimyasal olarak reaksiyona girmemesi veya iş parçası malzemesine çok kolay yayılmaması önemlidir. En yaygın aşındırıcıların sertlik değerleri genellikle Giga Paskal (yani GN / m^2) olarak ifade edilen Knoop sertliği olarak belirtilir [9]. Üreticiler tarafından sağlanan bazı sertlik değerleri Çizelge 2.1' de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı malzemelerin knoop sertlik değerleri [10]

MATERIAL	KNOOP HARDNESS (Gpa)
Diamond Particles	80-120
Polycrystalline diamond, PCD/PDC	65-80
Cubic Boron Nitride (CBN)	35-45
Boron Carbide	25-35
Aluminium Oxide	15-22
Silicon Carbide	21-30
Tungsten Carbide	17-22

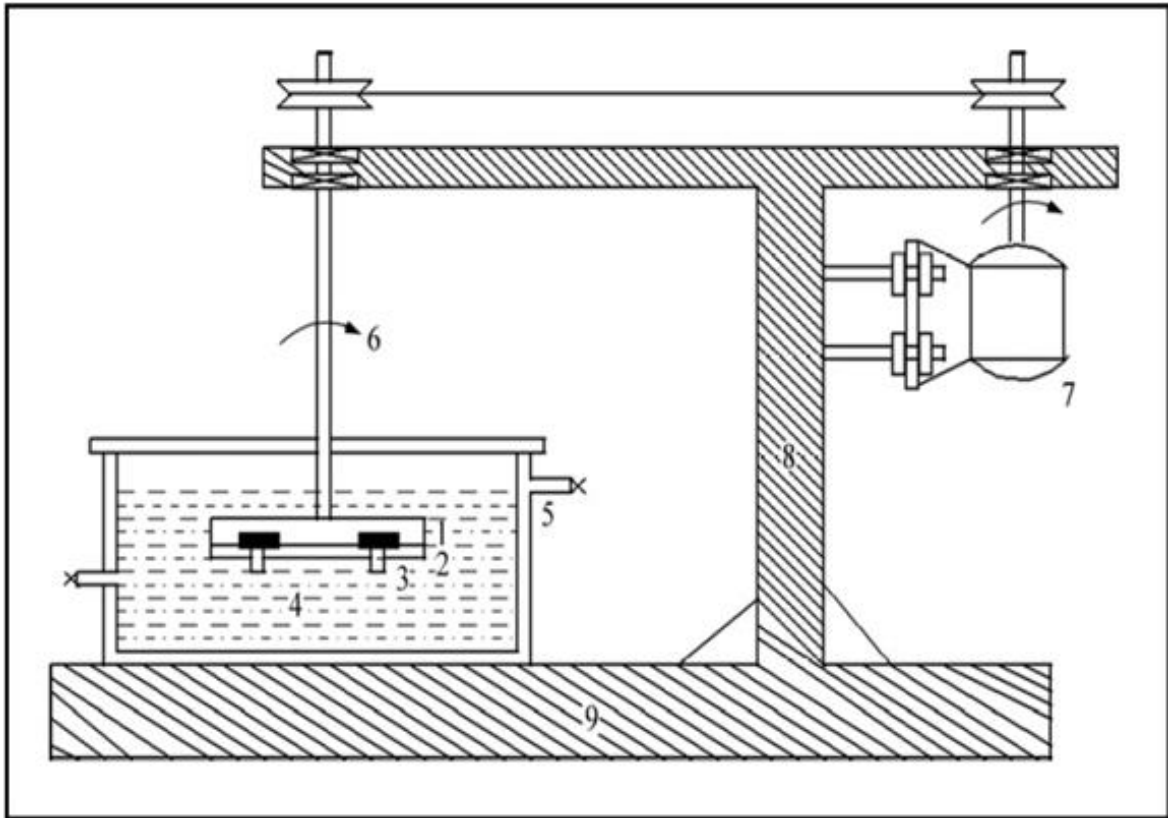
Silisyum karbür, farklı yöntemlerle üretilen ve farklı dış ve iç mikro yapılarıyla ve bunun sonucunda geniş bir özellik yelpazesine sahip malzeme için genel bir isimdir. SiC 'ün termal, mekanik, kimyasal ve elektronik özellikleri önemli sayıda ve çeşitli uygulamaları mümkün kılar [11]. Silisyum karbür, otomotiv kavramaları ve frenler ve kurşungeçirmez yelekler için faydalı kılan son derece sert bir seramik oluşturur. Bu seramik, tüm gelişmiş seramikler arasında $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar mukavemetini koruyarak ek korozyon direnci gösterir. Silisyum karbür ayrıca mükemmel aşınma direncine ve termal şok performansına sahiptir. Seramik karbürün diğer uygulamaları arasında pompa parçaları, mekanik contalar, nozüller ve silikon plakaların parlatılması yer alır [12].

Silisyum karbür konvansiyonel aşındırıcıların en sertidir, ancak alüminyum oksitten daha düşük darbe direncine sahiptir ve çeliklerin taşlanması için kullanıldığında daha yüksek aşınma direnci gösterir. Silisyum karbür, demir ve nikel gibi karbona ilgisi olan metalleri öğütmek için kullanıldığında daha hızlı aşınır. Bu nedenle öncelikle demir dışı malzemeler için kullanılır. Yeşil silisyum karbür siyah silisyum karbürden daha yüksek saflıktadır.

Yeşil silisyum karbür keskin ve kırılgandır, bu da onu iyi bir aşındırıcı yapar. Geleneksel aşındırıcıların en sert olanıdır ve karbürler ve seramikler gibi daha düşük çekme dayanımlı daha az esnek malzemelerin taşlanması için kullanılır. Siyah silisyum karbür biraz daha az serttir ve seramik gibi aşındırıcı iş parçası malzemeleri ve sünek demir dışı malzemeler için kullanılır. Gri dökme demir gibi daha yüksek karbon içerikli demirler için de kullanılır [9].

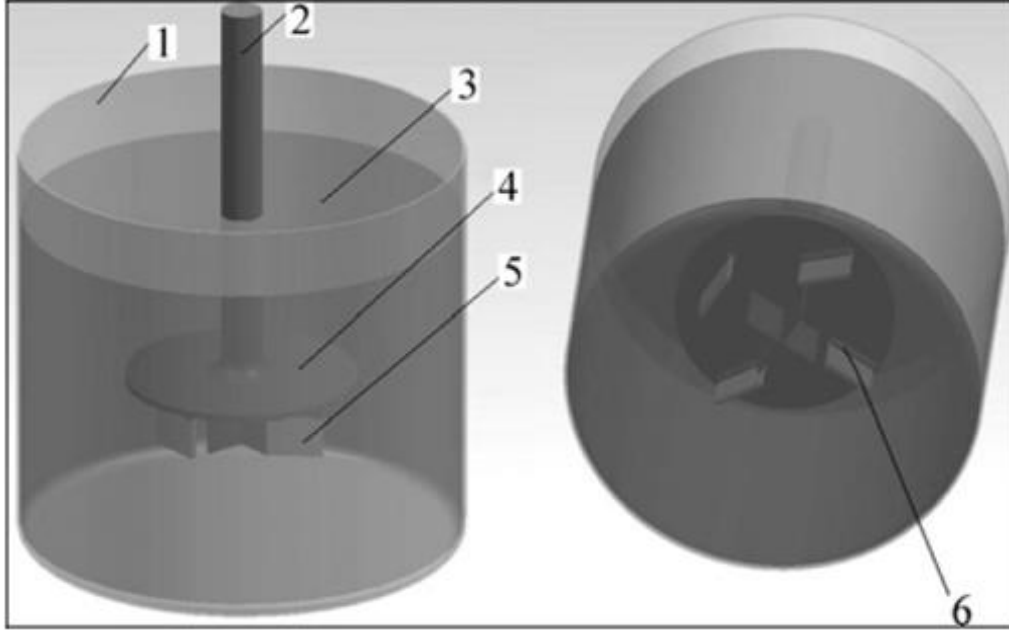
2.3. Aşınma ve Yüzey İyileştirme Yöntemleri İle İlgili Bazı Çalışmalar

Jha [13] yaptığı çalışmada, bir hazne içerisine aşındırıcı parçacıklar ve su koymuştur. Aşındırıcı parçacık olarak silika kumu tercih etmiştir. Ağırlıkça % 40 kum ve % 60 su kullanmıştır. Kullandığı kumun tanecik boyutu 200 ila 300 mikron arasındadır. Kumun içerisinde aşındırmak üzere alüminyum parça tercih etmiştir. Deney düzeneği Şekil 2.6' daki gibidir [13].



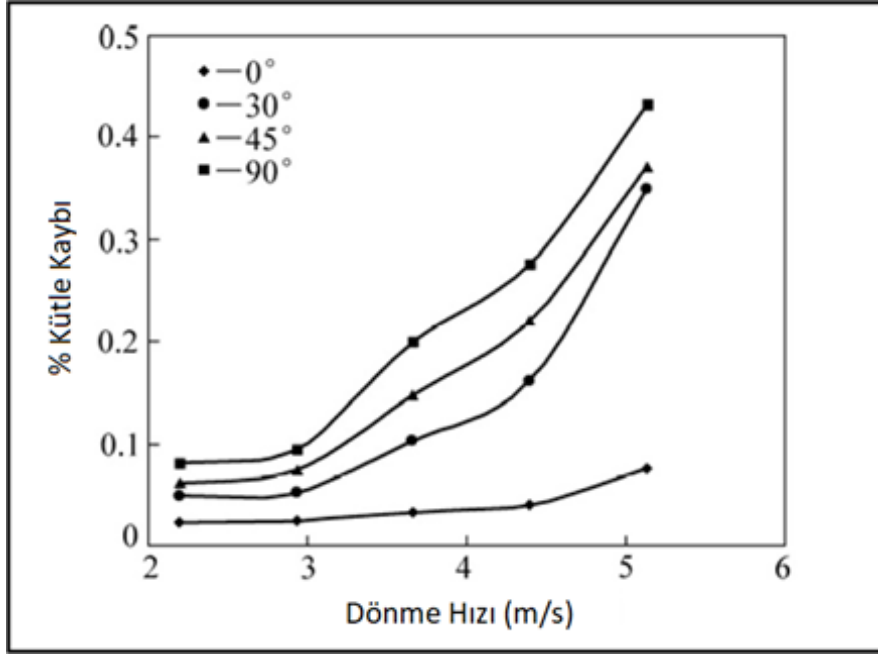
Şekil 2.6. 1-Disk, 2-Numune Tutucu, 3-Numune, 4-Aşındırıcı Ortam, 5-Hazne, 6-Şaft, 7-Sürücü Motor, 8-Kolon, 9-Zemin. [13]

Jha [13] deney düzeneğinde aynı anda 4 adet numune bağlamıştır ve bu numunelerin her birini aşındırıcı ortam içerisindeki hareketine göre 4 farklı pozisyonda (0° , 30° , 45° ve 90°) bağlamıştır. Farklı açılarda yerleştirmedeki amaç farklı çarpma açılarının aşındırma üzerindeki etkisini gözlemlemektir. Şekil 2.7’ de hazne ve içerisindeki numunelerin bağlantısı görülmektedir. [13]



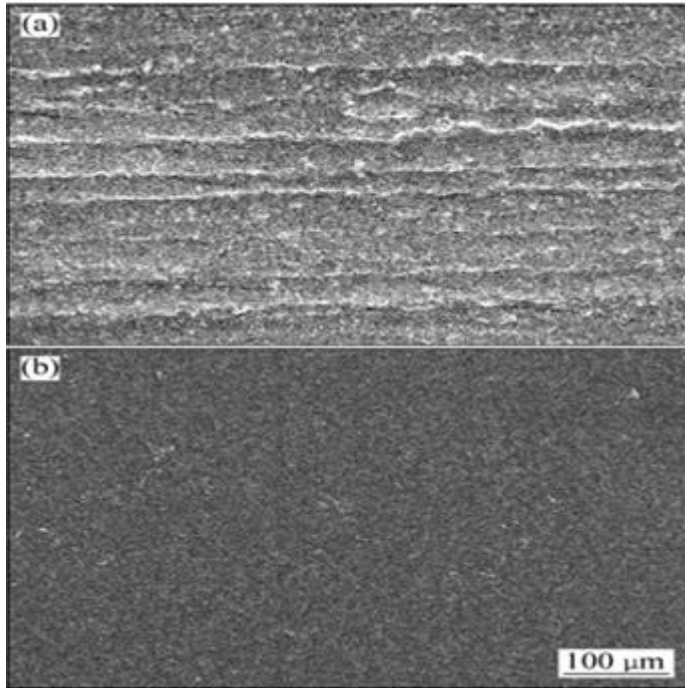
Şekil 2.7. 1-Hazne, 2-Tank, 3-Aşındırıcı Ortam, 4-Disk, 5-Farklı Açılarda Bağlanmış Numuneler, 6-Numune Tutucu [13]

Yine bu deneyleri 5 farklı hızda incelemiştir. 300, 400, 500, 600 ve 700 RPM. Numuneleri bağladığı diskin çapına göre numunelerin teğetsel hızları 2,2; 2,93; 3,66; 4,4 ve 5,13 m/s dir. Deney sonuçları Şekil 2.8’ de grafik olarak gösterilmiştir [13].



Şekil 2.8. Değişik açılarda dönme hızına göre kütle kaybı [13]

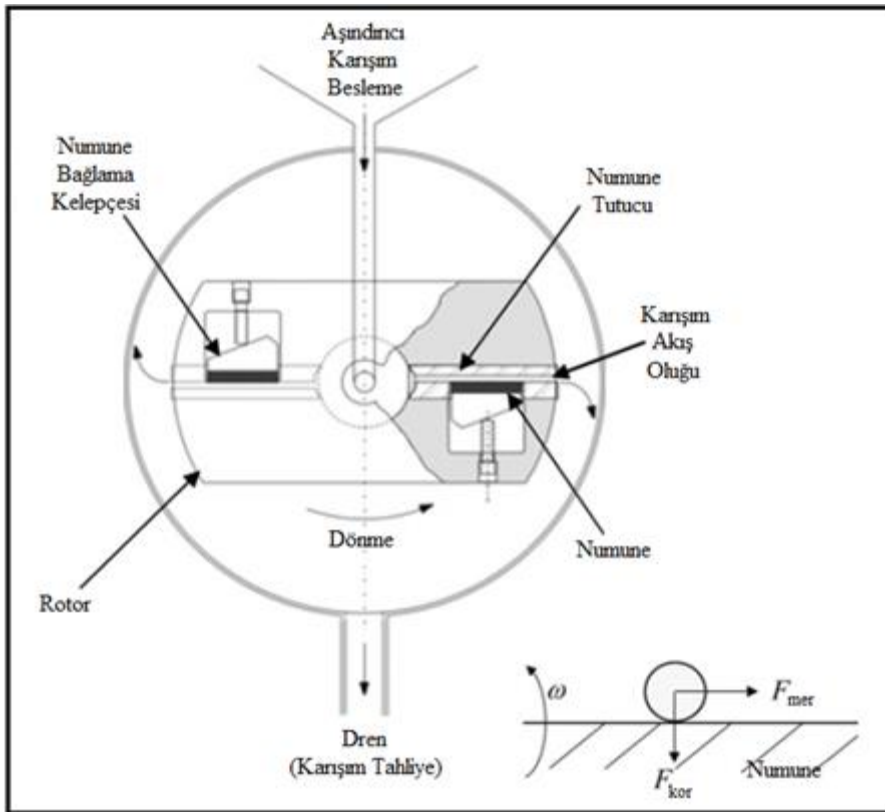
Şekil 2.8' de görüldüğü gibi yüksek çarpma hızlarında ve yüksek çarpma açısında aşınma daha yüksek olmuştur. 2,20 m/s hızdan 2,93 m/s hıza gelinceye kadar ki aşınma hızlarında değişim olmamıştır [13].



Resim 2.1. 30° Çarpma Açısındaki 2,93 m/s (a), 5,13 m/s (b) Hızlarındaki SEM Görüntüsü [13]

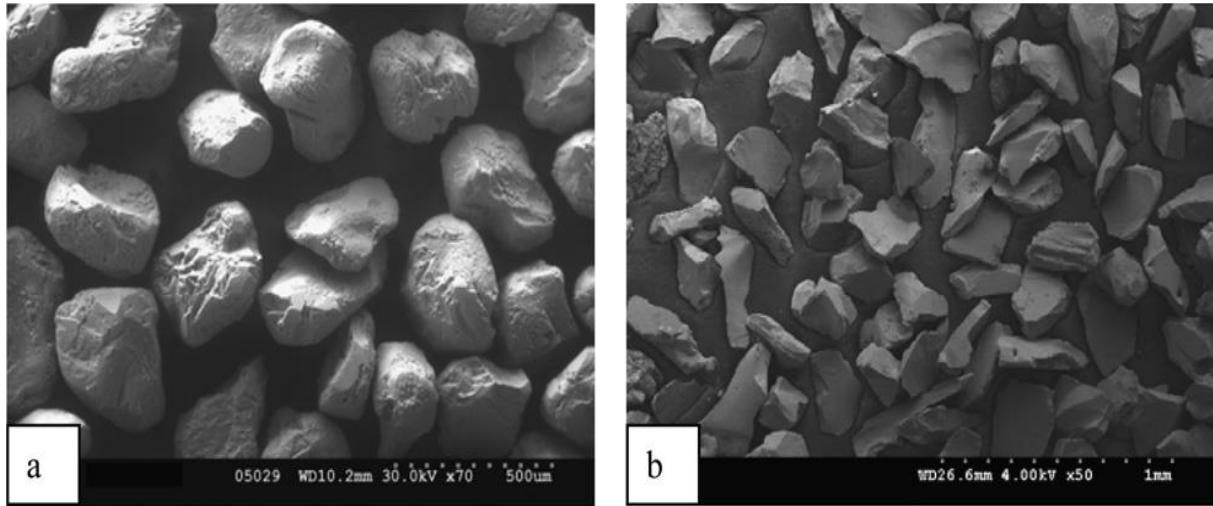
Resim 2.1’ de 30° çarpma açısındaki iki farklı hızdaki SEM görüntüleri verilmiştir. Resimde düşük hızda malzeme yüzeyinde aşınma doğrultusunda izler belirgin iken, yüksek hızda bu izler görülmemekte ve yüzey daha pürüzsüz görülmektedir.

Jones ve arkadaşlarının [14] yaptığı çalışmada, eroziv aşınmayı elastomer malzeme üzerinde denemiştir. Bunun için Şekil 2.9’ da şematik olarak gösterilen bir düzeneği kullanmıştır. Düzeneğin çalışması şu şekildedir: Kapalı bir hazne içerisinde dönen bir rotor vardır. Rotor 5000 RPM ile dönmektedir. Bu rotorun ortasına bir kanal yardımı ile su-kum (SiO_2) karışımı 60 ml/s ile verilmektedir. Rotorun iki tarafında kanallar vardır ve dönme etkisi ile merkezinden giriş yapan karışım merkezci ivmenin etkisi ile olukları kullanarak dışarı doğru savrulur. Karışım dışarı çıkarken yine rotor kolları üzerinde bağlı bulunan numunelerin üzerinden akar. Yani aşındırıcı karışım numune yüzeyine paralel olarak akar. Yüzeye paralel akan akışkan korioris kuvveti sayesinde yüzeye bir kuvvet uygular ve beklenen aşınma bu sayede gerçekleşir. Bu deneyde kum tanecik boyutu 275-415 μm arasındadır. Kum oranı ağırlıkça % 10 dur [14].



Şekil 2.9. Koriolis test düzeneği. Deney düzeneğinin şematik gösterimi ve parçacık üzerine etkiyen kuvvetler [14]

Jones [14] bu çalışmasında Silis Kumunun (SiO_2) elastomer malzemeye pek bir etkisi olmadığını gözlemlemiş ve daha farklı malzemelerde bu deneyi tekrarlamış. Yine aynı malzemelerle aşındırıcıyı değiştirerek deneyleri tekrarlamış. Bu sefer daha keskin köşelere sahip Silisyum Karbür (SiC , 205-365 μm) tozları kullanmış. Çizelge 2.2’ de tespit edilen erozyon hızlarını aşınma iz uzunluğuna oranlayarak tablo oluşturmuştur [14]. Resim 2.2’ de silis kumu ve silisyum karbürün SEM görüntüleri verilmiştir.



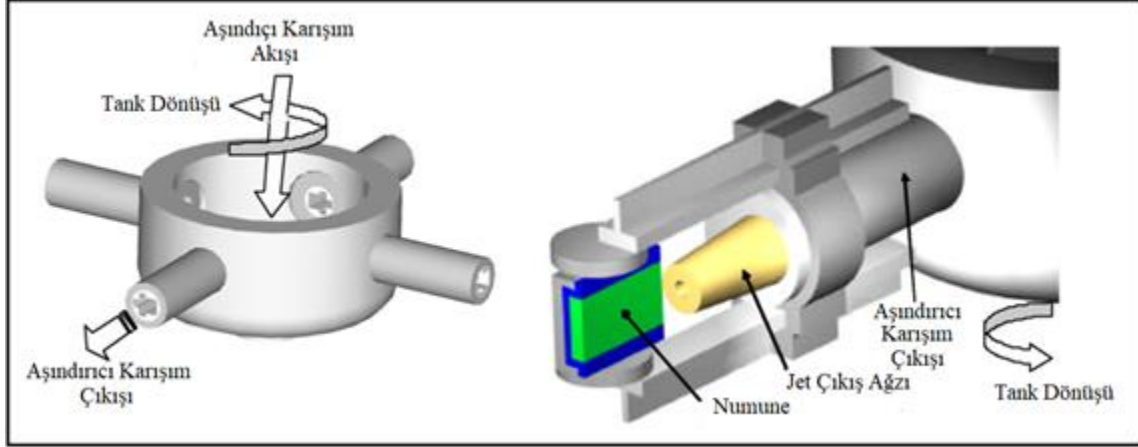
Resim 2.2. Aşındırıcı morfolojileri, a) AFS 50–70 Silis kumu & b) 80 meş SiC [14]

Çizelge 2.2. Malzemelerin erozyon aşınma hızları [15]

Malzeme	Erozyon Hızı ($\text{mm}^3 \text{kg}^{-1} \text{mm}^{-1}$)	
	SiO_2	80 mesh SiC
AISI 1018 Çelik	0,205	0,185
Doğal Lastik 1		0,013
Doğal Lastik 2		0,051
Poliüretan	0,009	0,166
WC/NiBSi BTAW Overlay	0,005	0,033
%35Cr %5C Beyaz Demir	0,002	0,032
%27Cr %3C Beyaz Demir	0,008	0,059
Martenzitik Paslanmaz Çelik	0,179	0,165
AR 600HB Plaka	0,059	0,082
WC-Ağırlıkça %3Co	0,0004	0,003

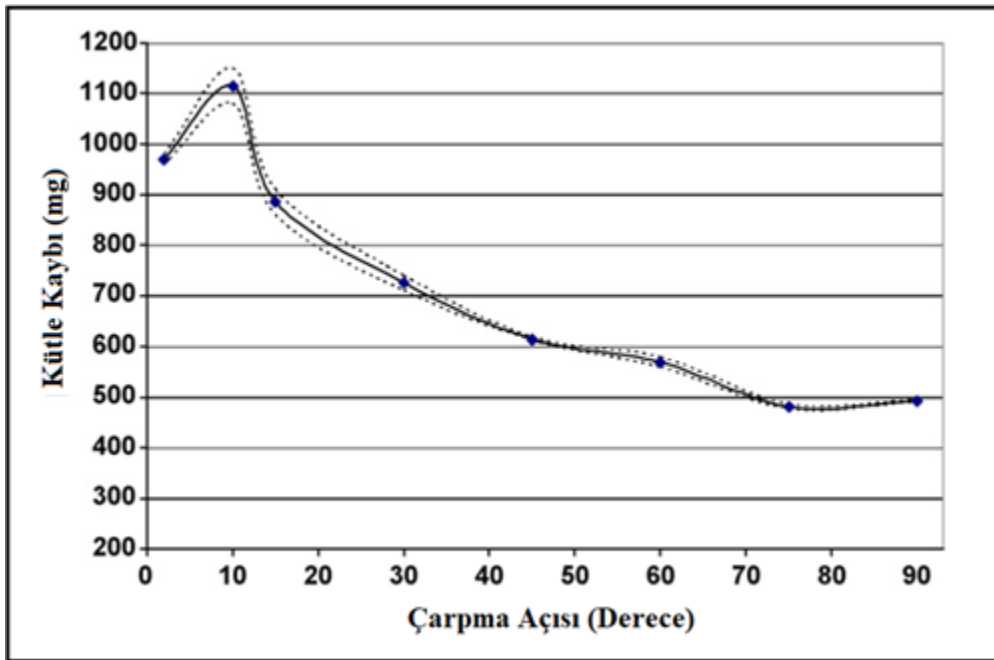
Başka bir çalışmada Tian [15], bir önceki çalışmada kullanılan mekanizmaya benzer bir mekanizma kullanmıştır. Bu deney düzeneğinde dönen bir tank vardır ve içerisi su - silis kum karışımı ile beslenmektedir. Dönen tankın dışında 4 adet jet çıkış ağzı vardır.

Merkezcil ivmenin etkisi ile su-kum karışımı bu ağızdan fişkırmaktadır. Jet çıkış ağzı karşısına aşındırılmak istenen numuneler istenilen açılarda yerleştirilmiştir. Aşınma işlemini gerçekleştiren karışım altta başka bir haznede toplanarak tekrar dönen hazneyi beslemek için pompa ile devir daim yapılır [15].

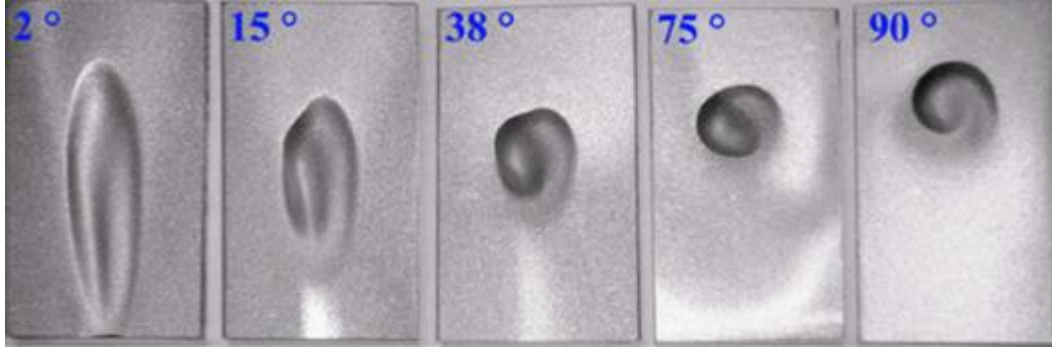


Şekil 2.10. Koriolis erozyonu test düzeneğinin şematik gösterimi [15]

Bu deneyde tankın dönme hızı 925 RPM dir. Aşındırıcı parçacıkların ortalama çapı (D50) 660 μm dir. Jet çıkışında aşındırıcı karışımın hızı 15 gal/dak (0,05685 m^3/dak) dır. Şekil 2.11' de farklı çarpma açılarına göre aşınma miktarlarını gösteren grafik verilmiştir [15].

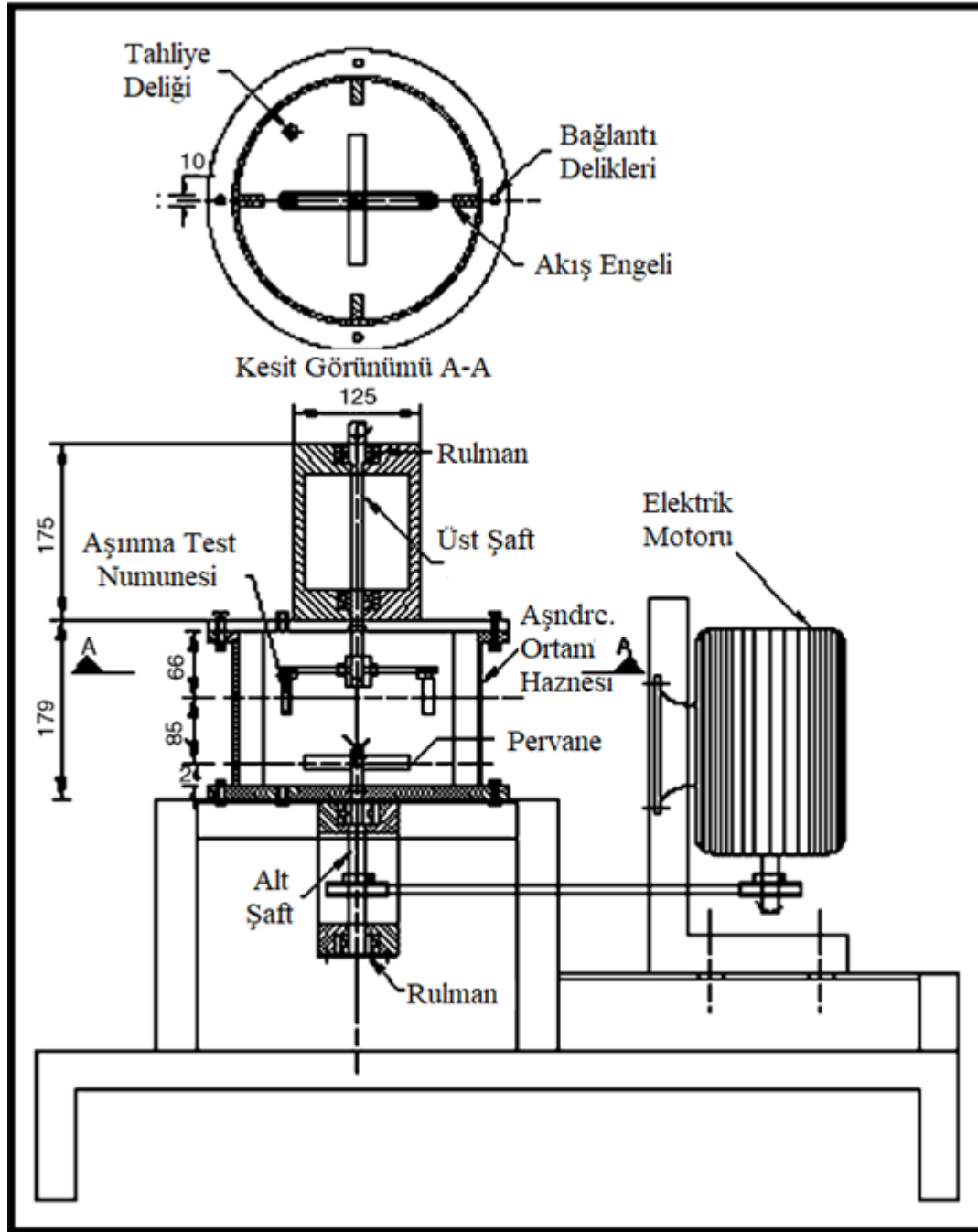


Şekil 2.11. Farklı çarpma açılarına göre 6061T-6511 Alüminyum numunede 15 dakikalık aşınma [15]



Resim 2.3. Farklı darbe açılarıyla 10 dakikalık testten sonra 6061T-6511 alüminyum numunelerin darbeli aşınma izi [15]

Desale [16] farklı aşındırıcı parçacıklar ve farklı malzemeler kullanarak aşınma deneyi yapmıştır. Bunun için Şekil 2.12’ de gösterilen deney düzeneğini kullanmıştır. Üç farklı aşındırıcı malzeme: Alüminyum, Quartz ve Silisyum Karbür kullanmıştır. Aşındırmak için işe değişik sertlikte malzemeler kullanmıştır: AA6063 Alüminyum, bakır, pirinç, yumuşak çelik, AISI304, AISI316 ve türbin kanadı çeliği kullanmıştır. Aşındırıcı parçacıklar numunelere 3 m/s hızında etki etmiştir. Ortam yoğunluğu ağırlıkça % 10 parçacıktır. Parçacıkların ortalama boyutu ise 550 μm dir. Elde edilen aşınma miktarları Çizelge 2.3’ te gösterilmiştir. Bu çizelgede ayrıca parçacıkların ve hedef malzemelerin sertlik değerleri de verilmiştir [16].

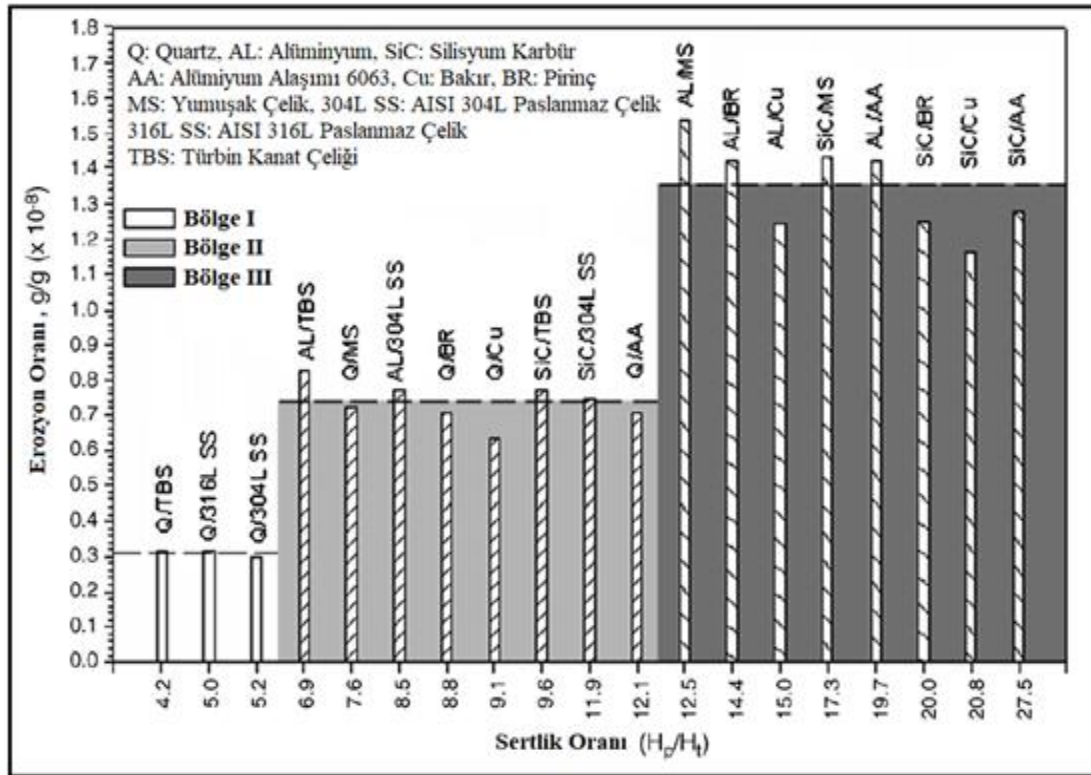


Şekil 2.12. Hazne test düzeneğinin şematik gösterimi [16]

Çizelge 2.3. Değişik aşındırıcı parçacıkların değişik malzemeler üzerindeki aşındırıcı etkisi [16]

Hedef Malzeme (sertlik, HV)	Kütle Kaybı Oranı (mg/h)		
	SiO ₂	80 mesh SiC	80 mesh SiC
AA6063 (91)	1,18	2,40	2,15
Bakır (120)	1,05	2,10	1,95
Pirinç (125)	1,18	2,40	2,10
Yumuşak Çelik (144)	1,20	2,60	2,40
AISI 304L (210)	1,50	1,30	1,25
AISI 316L (218)	0,53		
Türbin Kanat Çeliği TBS (260)	0,53	1,40	1,30

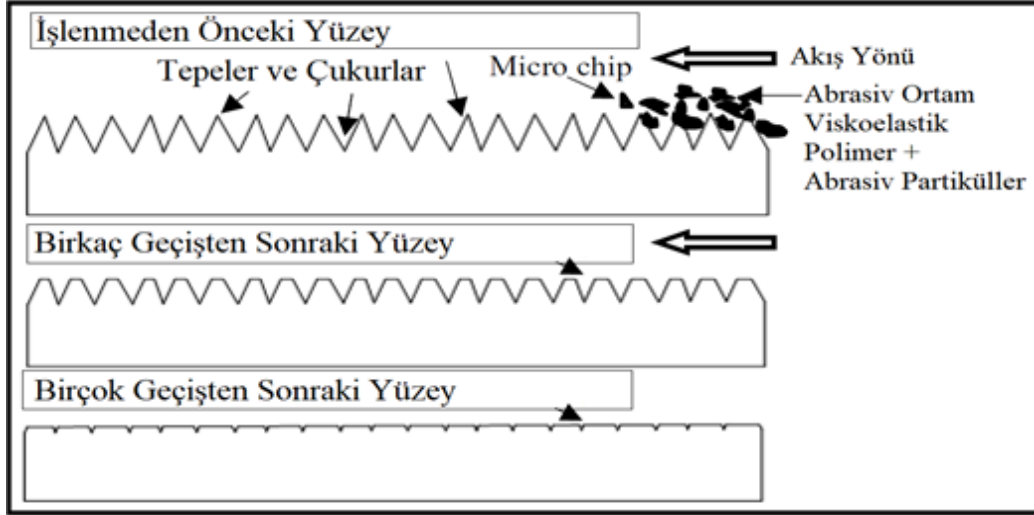
Desale elde ettiği bu verilerden yola çıkarak aşınmaları 3 farklı aşınma hız bölgeleri olarak gruplamıştır (Şekil 2.13) [16].



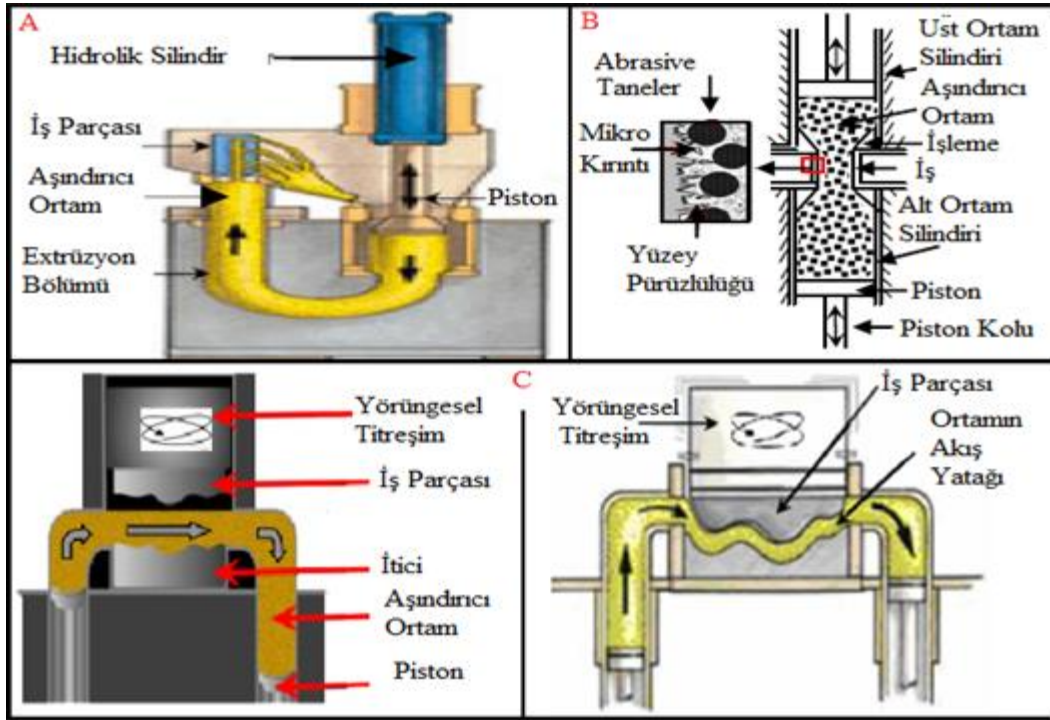
Şekil 2.13. Malzemelerin aşındırıcı sertliğine göre aşınma miktarları [16]

Kumar ve ark. [17] aşındırıcılı akış işlemeyi (AFM) genel olarak ele almışlar. Araştırmacılara AFM mekanizması hakkında genel bilgi vermişlerdir (Şekil 2.14) Hali hazırda genel olarak kullanılan tekniklerin neler olduğuna değinmişlerdir. AFM mekanizmalarını 3 ana başlıkta sınıflandırmışlardır. Bunlar;

- Tek yön AFM: Aşındırıcı akışkan iş parçasına temas ederek bir önde ilerler.
- Çift Yön AFM: Aşındırıcı akışkan iş parçasına temas ederek gider ve gelir.
- Yörüngesel AFM: Aşındırıcı akışkan iş parçasına temas ederek ilerlerken iş parçasına yörüngesel titreşim verilir (Şekil 2.15) [17].



Şekil 2.14. Aşındırıcı akış işleminin (AFM) genel mekanizması [17]



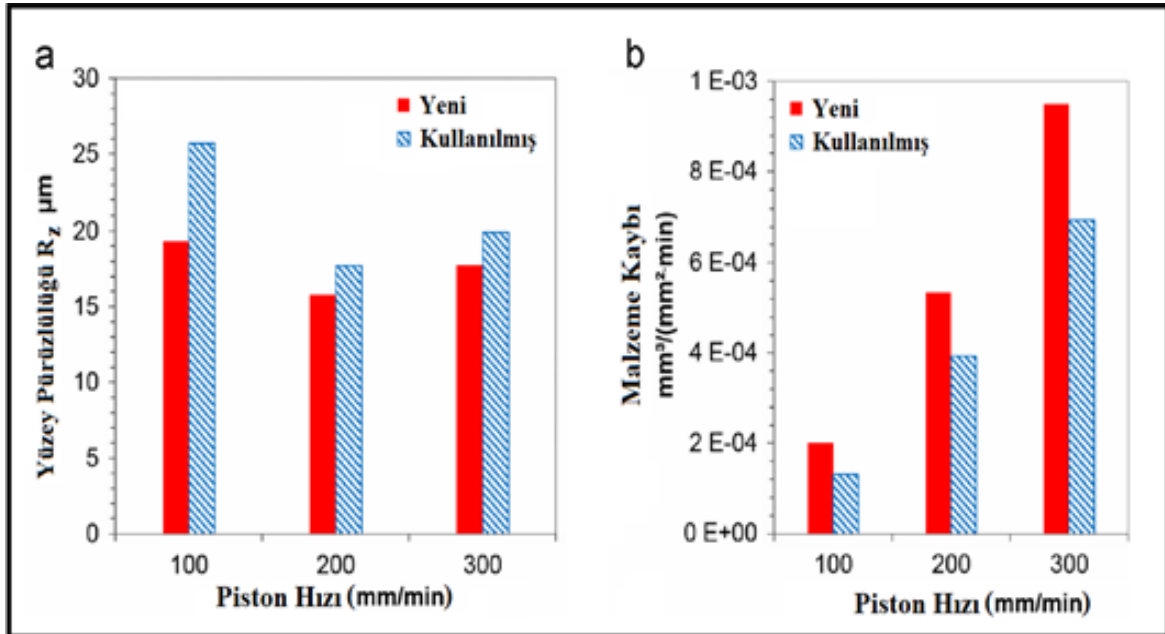
Şekil 2.15. A-Tek Yön AFM, B-Çift Yön AFM, C-Yörüngesel AFM (İşlemeden öncesi ve sonrası) [17]



Resim 2.4. AFM ile yüzeyi temizlenmiş bir diz protezi [17]

Bremerstein ve arkadaşları [18] kurdukları düzenekte aşındırıcı parçacıklar (*SIC Silisyum Karbür*) içeren karışımı iş parçası yüzeyinden bir piston yardımı ile ileri geri hareket ettirmişlerdir (Çift Yön AFM). Kullanılan aşındırıcı karışımın içerisindeki aşındırıcı parçacıkları da incelemişlerdir. Parçacıkların aşınma ile keskin köşelerini yitirmesinin iş parçası üzerindeki aşındırıcı etkisini azalttığını tespit etmişlerdir [18].

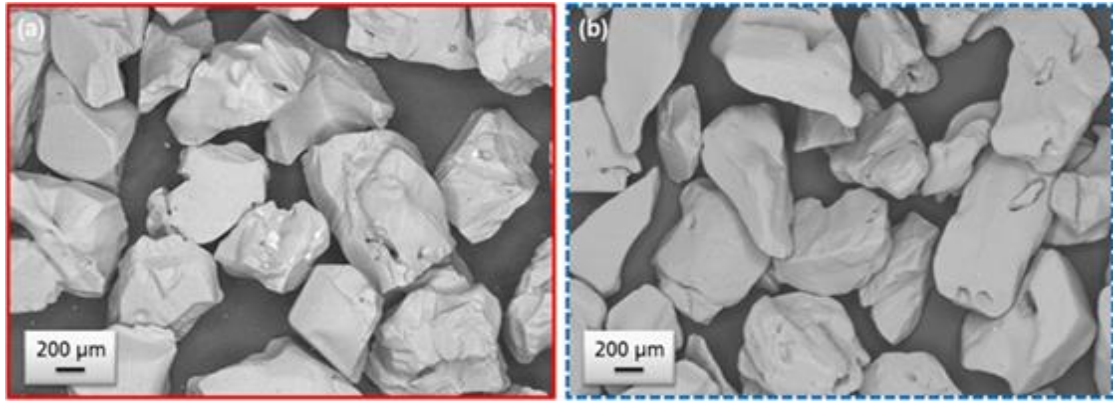
Bu deneyde Ağırlıkça % 58,4 Silisyum Karbür (SiC) kullanılmıştır. Kullanılan SiC tozları 3 farklı tane boyutundadırlar: % 28,6 F24 (745 μm), % 42,8 F36 (525 μm), % 28,6 F400 (17 μm) [18].



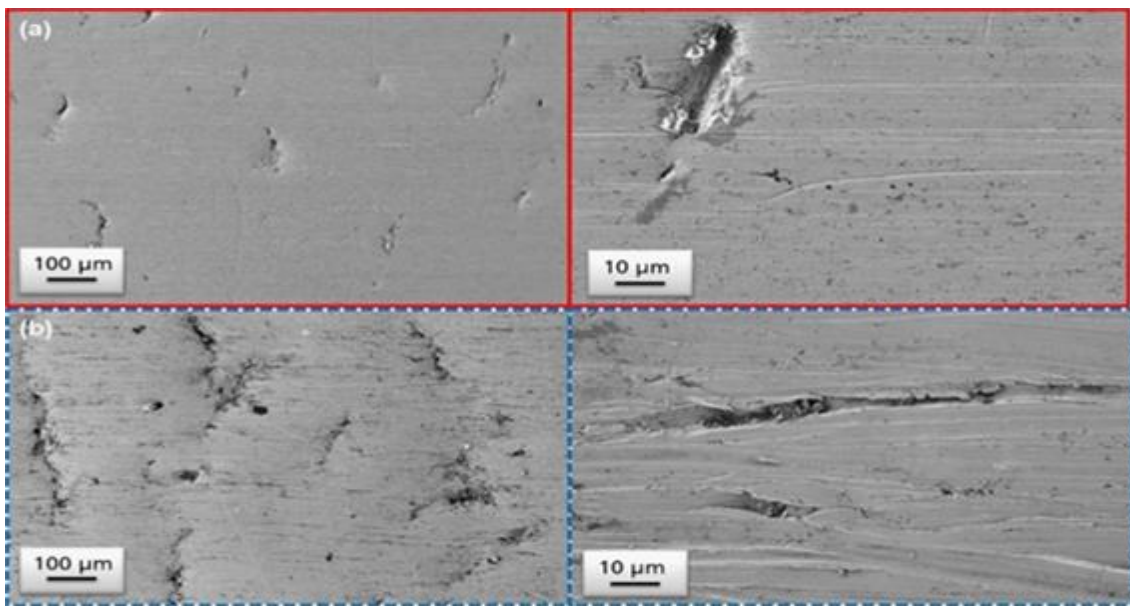
Şekil 2.16. Yeni ve kullanılmış aşındırıcı tozlarla değişken piston hızlarında a – Yüzey pürüzlülüğü, b – Malzeme kaybı [18]

Şekil 2.16 incelendiğinde piston hızının artışı ile malzeme kaybının doğal olarak arttığı tespit edilmiştir (b). Fakat yüzey pürüzlülüğünün belirli bir piston hızından sonra tekrar arttığını tespit etmiştir (a). Şekilden yeni parçacıkların daha fazla malzeme kaldırdığı, aşınmayı artırdığı ve sonucu olarak da daha kaliteli bir yüzey elde edildiği görülmektedir.

Resim 2.5’ te yeni ve kullanılmış parçacıkların SEM görüntüleri verilmiştir. Kullanılmış parçacıkların keskin köşelerinin kaybolduğu rahat bir şekilde görülmektedir. Resim 2.6’ da ise aşınmaya maruz kalan yüzeyin SEM görüntüsü verilmiştir. Yeni aşındırıcının kullanılmış aşındırıcıya nazaran oluşturduğu yüzey kalitesi gayet açık görülmektedir.



Resim 2.5. Aşındırıcıların SEM Görüntüsü a - Yeni aşındırıcı, b – Kullanılmış aşındırıcı [18]



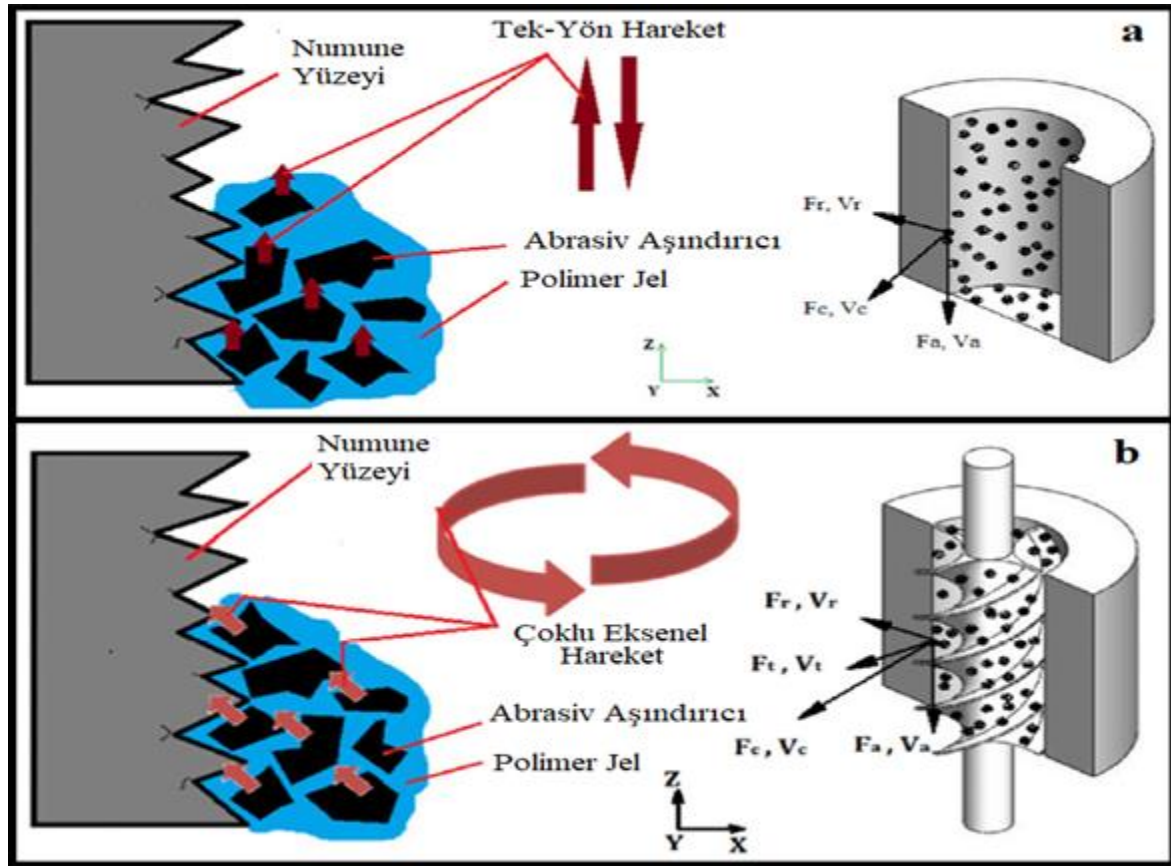
Resim 2.6. Aşındırıcı ortamların oluşturduğu yüzeylerin SEM görüntüsü a – Yeni aşındırıcı, b – Kullanılmış aşındırıcı [18]

Wang ve arkadaşları [19] hazırladıkları aşındırıcı parçacıklı (*SiC Silisyum Karbür*) iki farklı çeşit silikon jeli silindir şeklindeki iç parçasının içerisinden belirli tekrarda geçirmişlerdir. Amaçları yüzey temas süresini artırmak olduğu için delik içerisine jelin helis bir yol izlemesi için matkap ucuna benzer bir malzeme yerleştirmişlerdir (Şekil 2.17). Bunun etkisini öğrenmek için kontrol deneylerinin bir kısmını da deliğe jeli direkt olarak göndermişlerdir. Sonuç olarak iki farklı şekilde de yüzey kalitesinde artış gözlenmiş, fakat helis yolu takip eden jelin daha fazla aşınma yaparak, daha fazla pürüzlülük giderdiği görülmüştür (Şekil 2.13). Üstelik helis yolu izleyen aşındırıcı jelin giderdiği yüzey pürüzlülüğü her noktada homojen olduğu gözlenmiştir (Şekil 2.14). Yine deneyde iki farklı aşındırıcı ortam kullanmıştır.

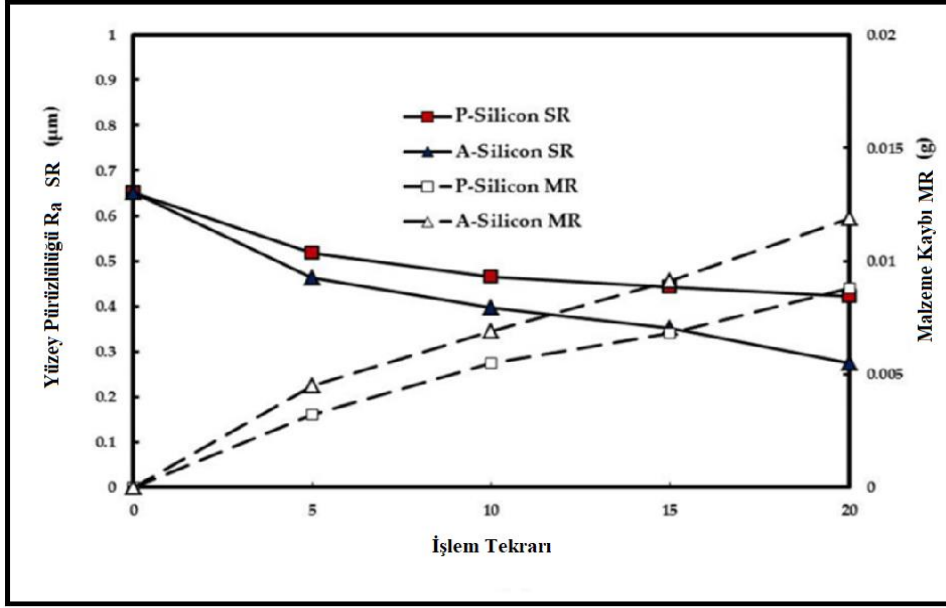
P Silikon: Katkısız (Pure) Silikon + SiC.

A Silikon: Katkılı (Additives) Silikon + SiC.

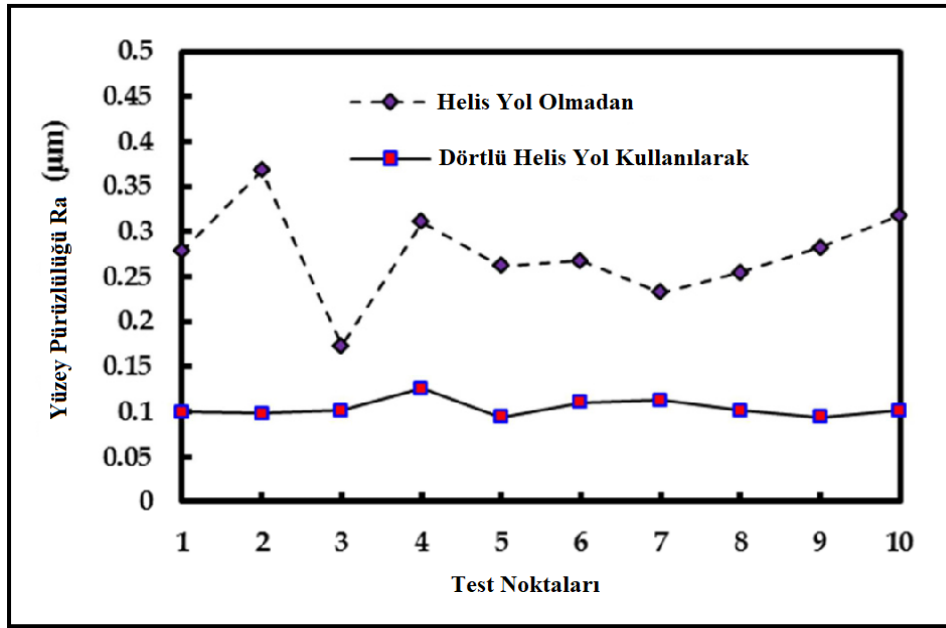
Burada silikon içersine eklenen katkıların amacı viskoziteyi artırmaktır [19].



Şekil 2.17. Deney mekanizmasının çalışma şekli a – Helis yol olmadan, b – Dörtlü helis yol ile [19]



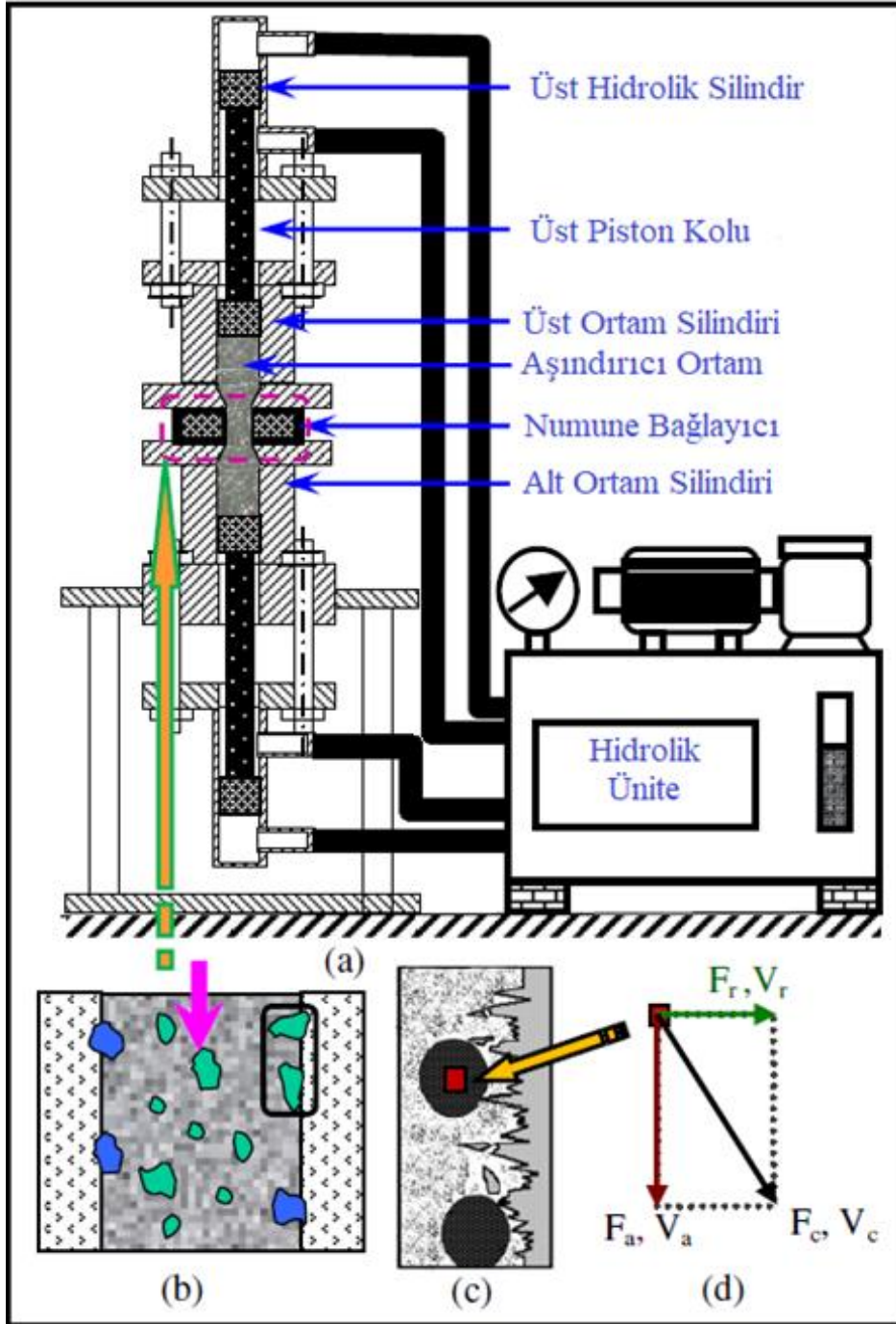
Şekil 2.18. İşlem Tekrarına göre numune yüzeyinin pürüzlülüğü ve numunedeki malzeme kaybı [19]



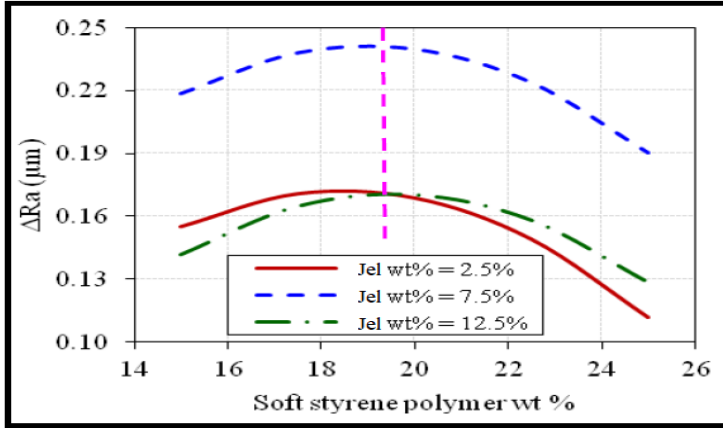
Şekil 2.19. Helis yol kullanılarak ve helis yol kullanılmadan elde edilen yüzey pürüzlülüğünün değişik noktalardaki değerleri [19]

Sankar ve arkadaşları [20] hazırladıkları silikon, polimer, jel ve aşındırıcı parçacıklı akışkan bir çift yön mekanizması ile iş parçasına uygulamışlardır (Şekil 2.20). Aşındırıcı ortam olarak polimer, jel ve aşındırıcı parçacıklar kullanılmıştır. Elastik özelliklerin etkisini gözlemlemek amacı ile iki farklı polimeri değişik oranlarda denemişlerdir. Kullanılan polimerler saf silikon ve elastik özelliği artırıcı “soft styrene” karışımıdır.

Akışkan içerisindeki bileşen miktarlarında değişiklik yaparak optimum yüzey pürüzlülüğünü tespit etmişlerdir. % 10 Alüminyum SiC aşındırıcılı ve % 20 “soft styrene” karışım polimerli akışkanın maksimum düzeyde yüzey pürüzlülüğü giderdiğini gözlemişlerdir (Şekil 2.21) [20].

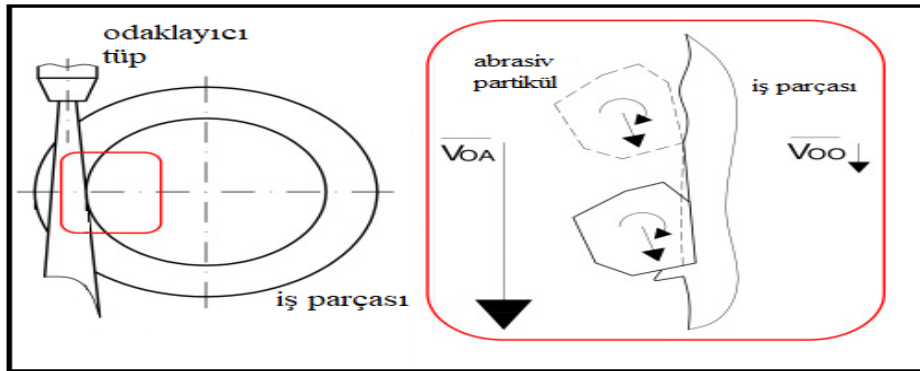


Şekil 2.20. a- Aşındırıcılı Yüzey İşleme (AFF) Şematik diyagramı, b- Aşındırıcılı Parçacıkların yüzey ile etkileşimi, c- Aşındırıcılı parçacıkların yüzeyde oluşturdukları mikro kırıntılar, d- Aşındırıcılı parçacıkların işlem esnasındaki hızı ve kuvvetler [20]

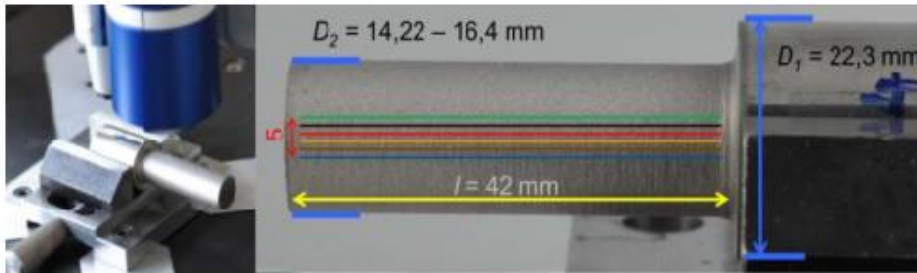


Şekil 2.21. Farklı jel oranlarında “soft styrene” polimer miktarının değişiminin yüzey pürüzlülüğü değişimindeki etkisi [20]

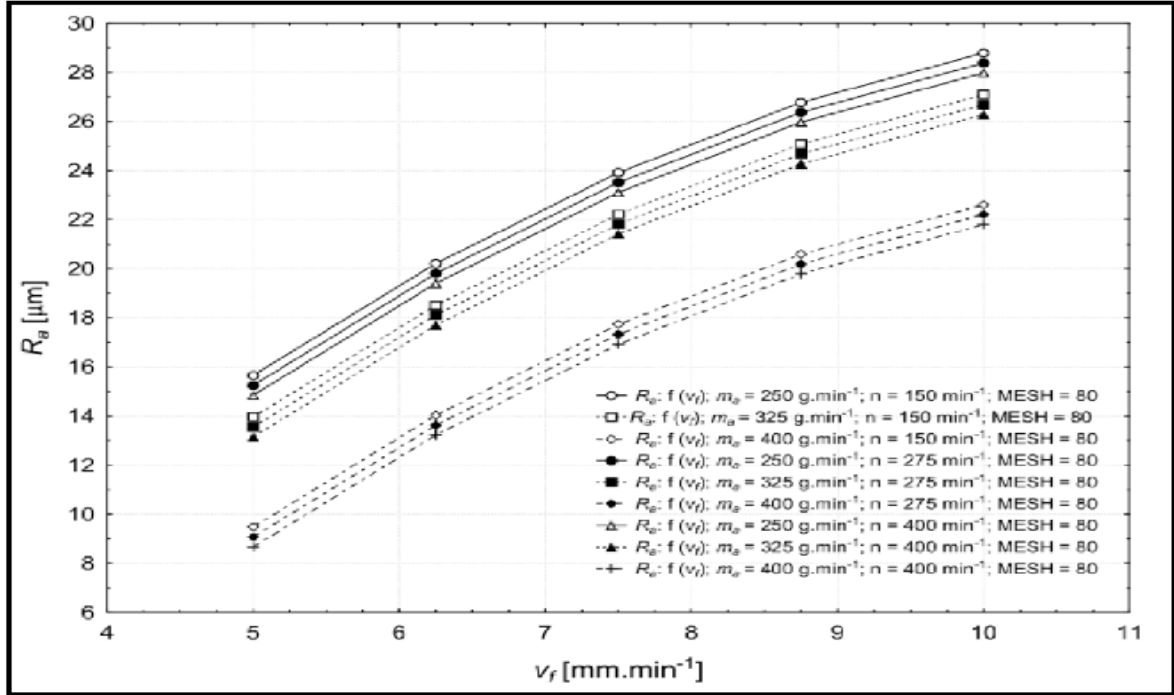
Carach ve ark. [22] yaptıkları çalışmada parçacık aşındırıcılı akışkan çıkaran bir nozul ile silindirik şeklindeki bir iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek istemektedirler (Şekil 2.22). Burada parçacığı belirli hızda döndürmektedirler ve nozulda belirli bir hızda yatayda ilerlemektedir. Burada değişkenler akışkan debisi ma , parçacık dönme hızı n , nozul ilerleme hızı v_f , (Şekil 2.23). Bu değerleri değiştirerek Şekil 2.24’ teki Değerleri elde etmişlerdir [21].



Şekil 2.22. Abrasif parçacıkla iş parçasının teması [21]



Şekil 2.23. Optik Profilmetre ile yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi (MicroProf FRT) [21]

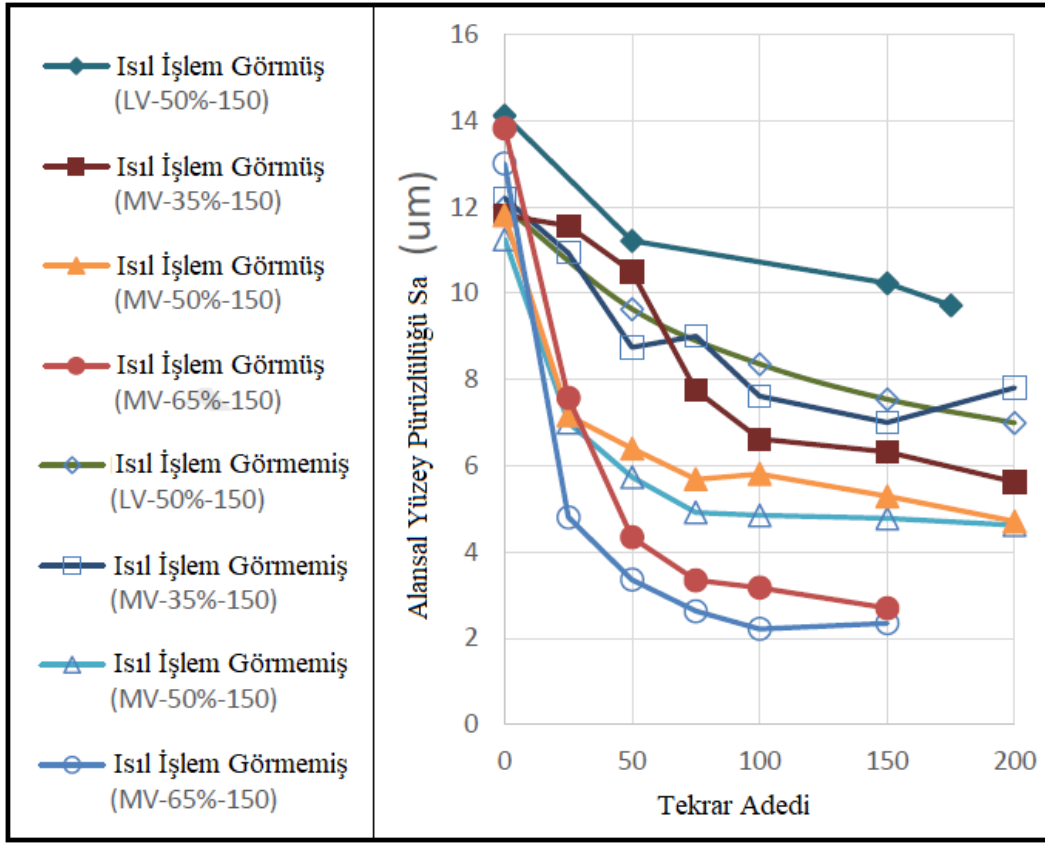


Şekil 2.24. Değişik püskürtme hızları, parça dönüş hızı ve ilerleme hızına göre yüzey pürüzlülüğündeki değişim [21]

Şekil 2.24 incelendiğinde parça dönüş hızındaki artış ve püskürtülen taneciğin artışı yüzey kalitesini olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca nozulun yavaş ilerlemesi işlem miktarını artırdığından yine yüzey kalitesine olumlu yönde etki etmektedir.

Duval-Chaneac ve ark. [22] eklemeli imalat ile üretilmiş karmaşık yüzeyli parçaların yüzey pürüzlülüklerinin giderilmesi ile ilgili yaptıkları çalışmalarında çift yön AFM kullanmışlardır. Bu çalışmada % 35, % 50, % 65 konsantrasyonlu aşındırıcı ortamlar, düşük viskoziteli (LV) ve orta viskoziteli (MV) ortamlar kullanmışlardır. İş parçası olarak eklemeli imalat (SLM) ile üretilmiş *maraging çeliğinin* ısıl işlem görmüş ve görmemiş olarak iki farklı tipi kullanılmıştır. Aşındırıcı medya içerisindeki parçacıkların boyutu 150 μm dir [22].

Genel itibari ile ısıl işlem görmemiş maraging çeliğinin yüzeyi daha yumuşak olduğundan çift yön AFM işleminde daha düşük R_a değerlerine kadar gelebilmektedir. Yine aşındırıcı ortamın viskozitesinin artışı ve aşındırıcı parçacığın artışı ile yüzey kalitesinin arttığı görülmektedir (Şekil 2.25). İşlemin tekrar adeti yüzeyi daha kaliteli hale getirmektedir. Genel itibari ile 100-150 tekrar arasında AFM mekanizmasının ulaşabileceği optimum yüzey kalitesi elde edilmektedir.



Şekil 2.25. Değişik aşındırıcı yoğunluğu ve viskoziteli ortamın ısıtılmış ve görmemiş maraging çeliğinin üzerindeki aşındırıcı etkisi [22]

Bu çalışmada, literatürde incelenen çalışmalar ışığında eklemeli imalat yöntemi ile imal edilmiş parçaların yüzeylerinin mekanik yüzey aşındırma mekanizması ile iyileştirilmesi amacıyla yeni bir test düzeneği tasarlanarak imal edilmiştir. Bu düzende parçanın hazne içerisinde kendi eksenini etrafında ve ilerleme hareketi yapması sağlanarak bütün yüzeylerin eşit düzeyde aşındırılması hedeflenmiştir. Deneysel çalışmalar ile çelik parça numuneler üzerinde hedeflenen yüzey kalitesine ulaşılması için parametrik çalışmalar yapılmıştır.

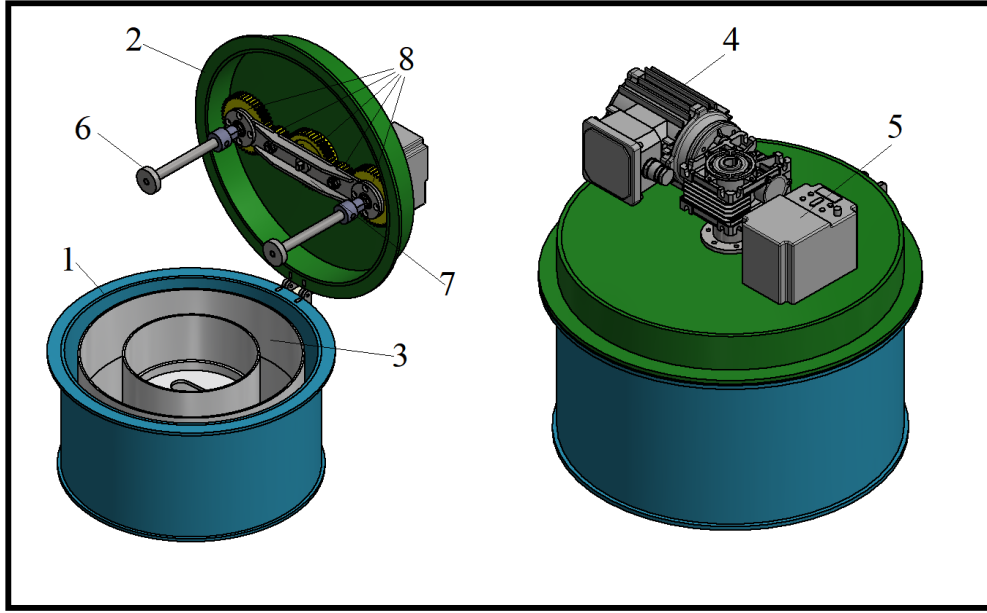
3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş parçaların yüzey kalitesinin artırılması amacıyla yönelik olarak abrazif aşınma düzeneği tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, çelik malzemeden üretilmiş belirli başlangıç yüzey kalitesine sahip basit geometrili yüzeylerin abrazif aşınma mekanizmasıyla yüzey kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Aşınma mekanizmasına etki eden değişkenlerin etkisi hakkında bilgilere sahip olabilmek amacıyla, numuneler abrazif aşındırıcıya maruz bırakılarak yüzey kalitesine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, Silisyum Karbür - Su karışımı ve susuz Silisyum Karbür içerisinde numunelerin kendi eksenî etrafında dönme ve ilerleme hareketiyle numunelerin yüzey kalitesindeki değişimler incelenmiştir. Deneylerde kullanılan düzenek tasarımı, malzeme ve inceleme yapılan cihazlar hakkında bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

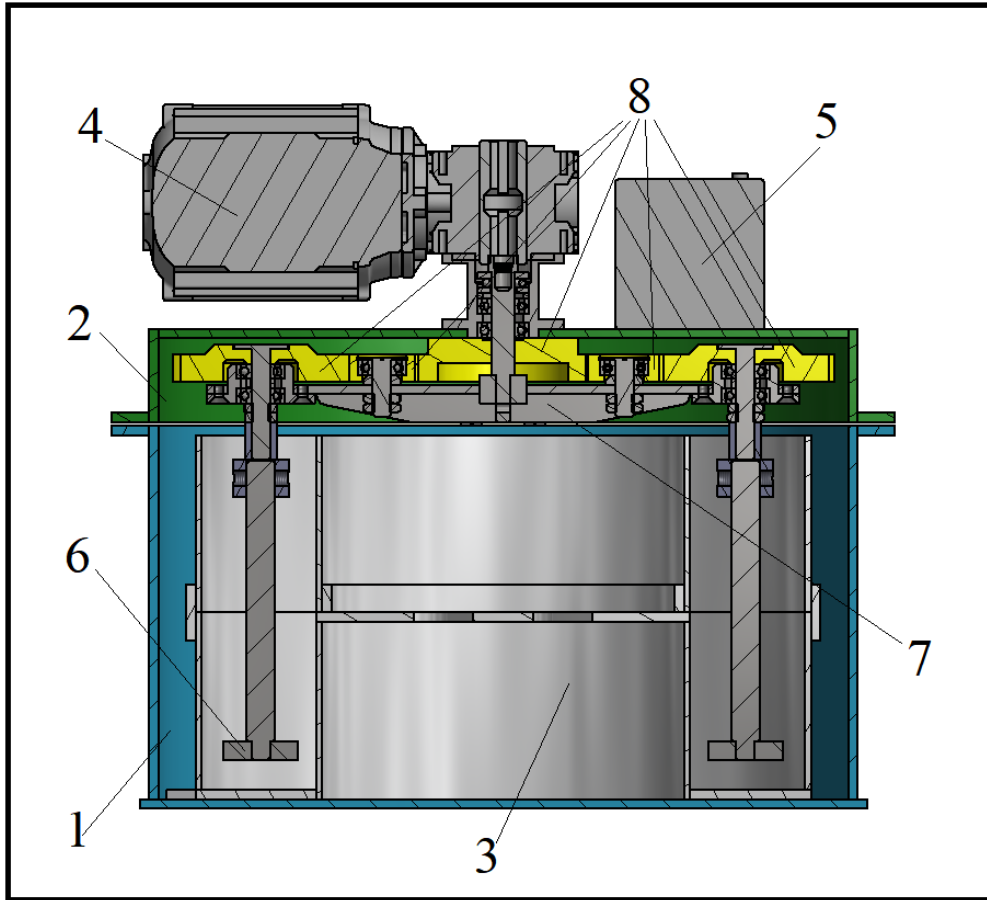
3.1. Deney Düzeneği

Deneylerin yapılabilmesi için aşındırma deney düzeneği tasarımı yapılarak imal edilmiştir. Bu amaçla, bir kapalı hazne tasarlanmıştır. Bu hazne içerisine yerleştirilen bir diğer kap sayesinde (alüminyum kap) aşındırıcı dolum hacmi küçültülmüştür. Böylece, deney esnasında aşındırıcı parçacıklı su karışımı miktarının azalması sağlanmıştır. Bu kap içerisinde hareket eden deney numunesinin karışım içerisindeki hareketi bir karıştırma hareketinden ziyade, bir kanal içerisinde doğrusal hareket gibidir. Numunenin hareketi için 180Watt'lık elektrik motoru kullanılmıştır. Numune hareket hızını değiştirebilmek için hız sürücüsü kullanılmıştır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Şekil 3.2' de verilen parçaların numaraları ve açıklamaları şunlardır: 1-Düzenek Dış Haznesi, 2-Düzenek Kapağı, 3-Aşındırıcı Karışım Kabı (Alüminyum Kap), 4-Tahrik Motoru, 5-Sürücü, 6-Numune, 7-Döner Kol, 8-Dışliler.

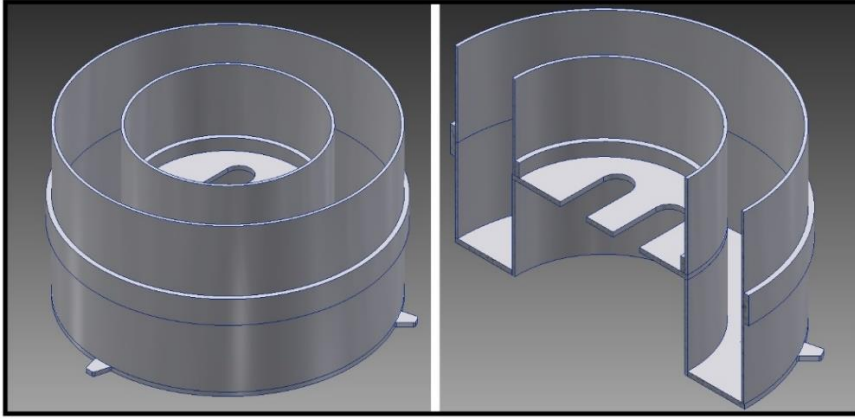
Aşındırıcı karışımın içerisinde bulunduğu kap alüminyumdan imal edilmiştir. Deney geçişleri esnasında temizliği kolay olması açısından yükseklik olarak 2 kademelidir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4' te detayları verilmiştir. Resim 3.1 ve 3.2' de imalatı yapılmış olan düzenden görseller verilmiştir.



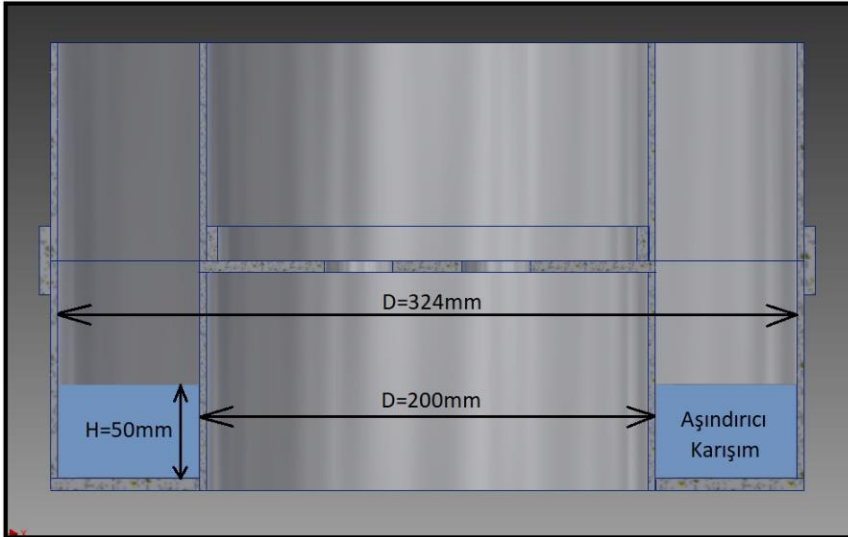
Şekil 3.1. Deney düzeneği genel görünümü parçaların numaraları



Şekil 3.2. Deney düzeneği kesit görünümü



Şekil 3.3. Numunenin içerisindeki aşındırıcılı karışımda hareket ettiği alüminyum kap



Şekil 3.4. Alüminyum kap ölçüleri

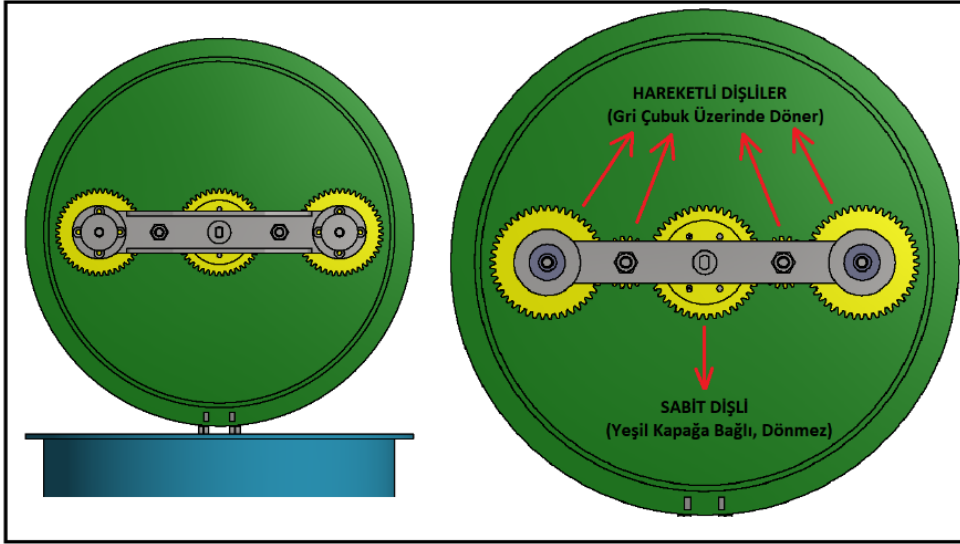


Resim 3.1. Deney düzeneği üstten görünüşü



Resim 3.2. Alüminyum kap

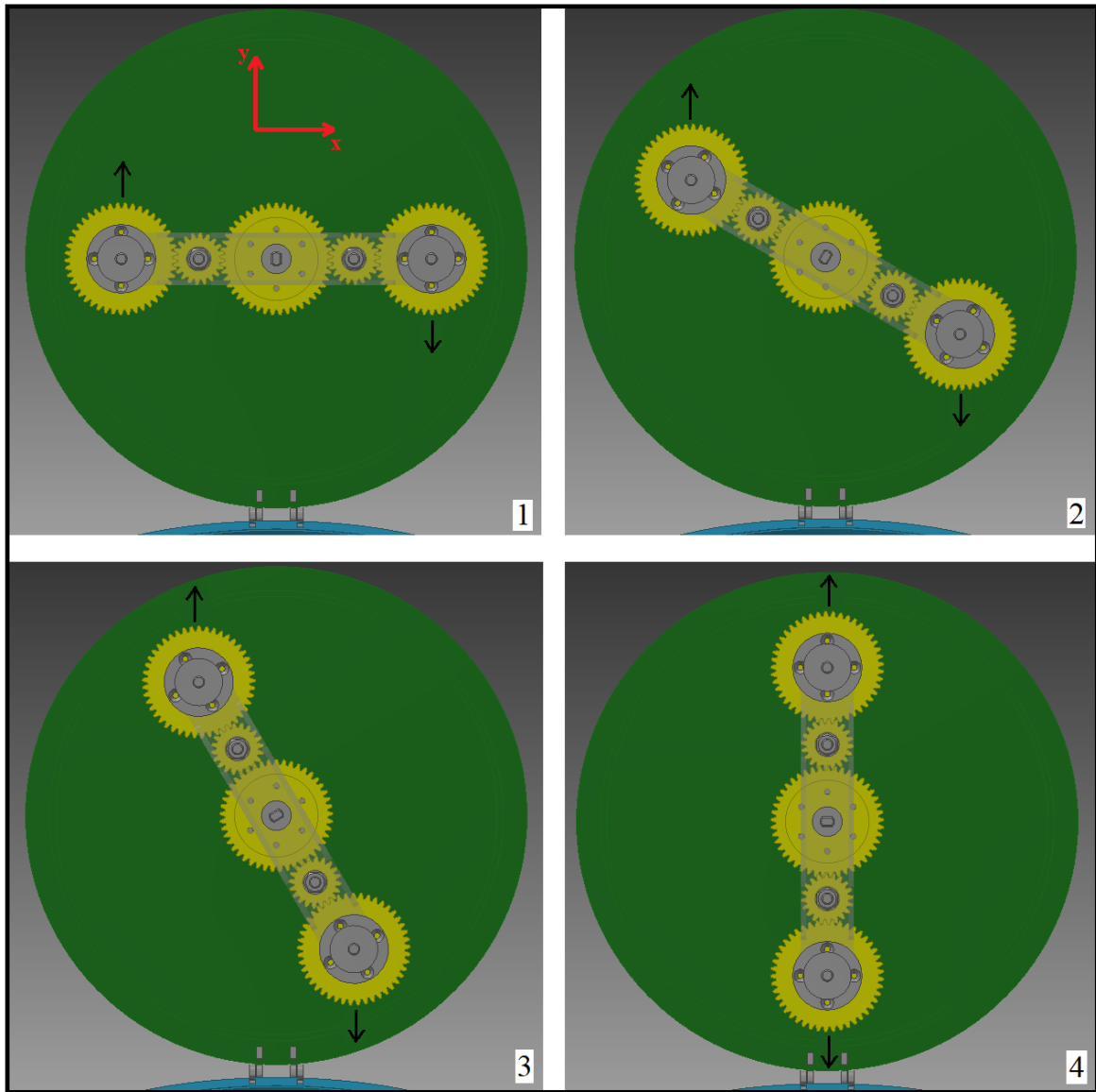
Deney esnasında döner kola bağlanan numunenin yan yüzeyinin her tarafının eşit şekilde işlem görmesi için numunenin kendi eksenine etrafında da dönmesi gerekmektedir. Bunun için dişli sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kapak içi döner kol ve dişli sistemi genel görünüm

Numunenin kendi eksenine etrafında dönüşünü sağlamak için ayrı bir motor grubu kullanılmamıştır. Bunun için 5 adet dişli kullanılmıştır. Bu dişlilerden ortada olanı sabit dişlidir, yeşil renkte gösterilen kapağa sabitlenmiştir (Şekil 3.5). Doğrudan motor redüktör grubundan hareket alan döner kol üzerinde 2 adet küçük ve 2 adet de büyük olmak üzere 4 adet dişli çark vardır. Küçük olan dişliler döner kol ile birlikte dönerken aynı zamanda

sabit olan dişlinin etrafında yuvarlanmaktadır. Bu yuvarlanma sonucunda kol üzerinde bulunan diğer 2 büyük dişliye dönme hareketlerini aktarmaktadırlar. Gerek sabit dişli gerekse döner kol üzerindeki büyük dişlilerin her biri aynı diş sayısında olduklarından, kol üzerindeki büyük dişliler kendi eksenleri etrafında dönme yönünün tersine aynı devirde dönme hareketi gerçekleştirir. Böylece numunelerin bağlı olduğu dişliler Şekil 3.6' da görüldüğü gibi x-y düzleminde hep aynı yöne bakarlar.



Şekil 3.6. Numunelerin kendi eksenleri etrafında dönmesi ve ilerleme hareketi mekanizması

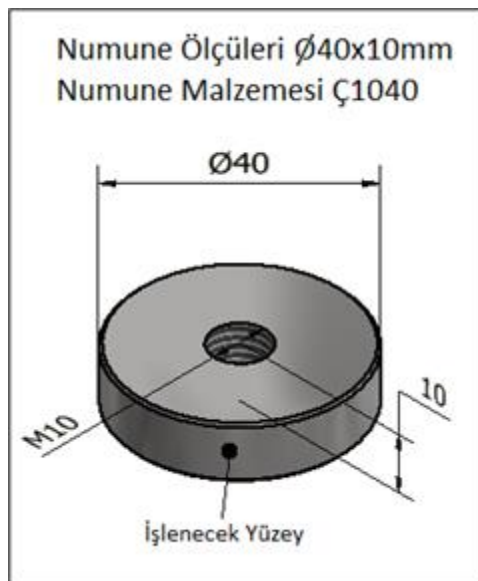
3.2. Kullanılan Malzemeler

3.2.1. Numune malzemesi ve şekli

Yüzey pürüzlülüğü iyileştirilmesi amacıyla deneylerde kullanılan malzeme Ç1040 çeliğidir. Kullanılan karbon çelik malzemenin mekanik ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir [23]. Çelik yüzeyi talaşlı imalat yöntemi ile tornada işlenmiştir. Numunelerin başlangıç pürüzlülük değeri için yan yüzeyi sırasıyla 60’ lık şerit bant 60’ lık spiral taş ve 40’ lık spiral taş ile zımparalanarak işlenmiştir. Deneylerde kullanılan numune şekli ve boyutu Şekil 3.7’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ç1040 Çeliğinin mekanik ve kimyasal özellikleri [23]

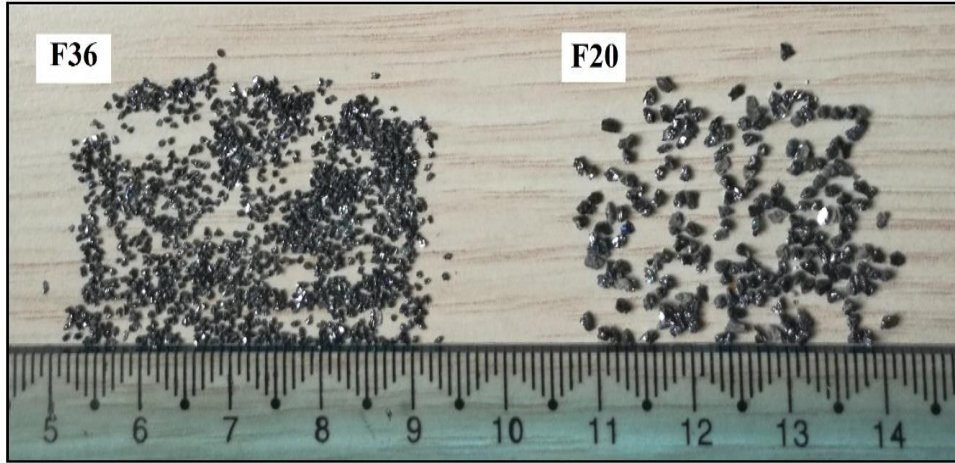
Mekanik Özellikleri		Kimyasal Özellikleri	
Akma Mukavemeti	33-42 kg/mm ²	C	0,35-0,44
Çekme Mukavemeti	60-80 kg/mm ²	Mn	0,60-0,90
Kopma Uzaması (min)	%16-20 (5do)	Si	0,10-0,30
Yüzey Sertliği	172 HB	P(max)	0,04
		S(max)	0,05



Şekil 3.7. Deneylerde kullanılan numune şekli ve ölçüleri

3.2.2. Aşındırıcı parçacık

Silisyum Karbür Tozları (SiC) *Ege Nanotek* firmasından temin edilmiştir. Tanecik boyutuna göre F20 (Büyük toz) ve F36 (Küçük toz) olmak üzere iki farklı boyutta toz kullanılmıştır ve Resim 3.3’ te görselleri ve özellikleri verilmiştir.



Resim 3.3. Silisyum karbür (SiC) tozları; F20: 850—1180 mikron, F36: 425—600 mikron

3.3. Test ve Analizler

3.3.1. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

İşleme tabi tutulan numunelerin yüzey kalitelerinin ölçümü için, Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan “Tesa Rugosurf 20 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı” kullanılmıştır.

Cihazın ölçüm kabiliyeti dikey yönde $Z = \pm 200 \mu\text{m}$ dir. Ölçüm mesafesi $X=16\text{mm}$ dir. Cihazın resmi Resim 3.4’ te gösterilmiştir.



Resim 3.4. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

3.3.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

İşlenen malzemelerin ve aşınan SiC tozlarının detaylı morfolojik görüntülerini gözlemlemek için Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü bünyesinde bulunan ZEISS EVO 40 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır (Resim 3.5).



Resim 3.5. Zeiss Evo 40 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM). Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü

SEM Cihazı Özellikleri;

Elektron kaynağı:	Tungsten Filament.
Gerilim:	500 V – 30 KV.
Dedektörler:	SE (Secondary Electron), BSE (Back Scattered Electron), EDX (Energy Dispersive X-ray), VPSE (Variable Pressure Secondary Electron).

3.4. Deneylerin Yapılışı

Numune parçası numune bağlantı mili ile birlikte döner kol üzerinde bulunan yuvaya vida ile bağlanmıştır ve kolun diğer ucuna da aynı şekilde bir numune daha bağlanmıştır. İki tarafında da aynı ağırlık bulunan sistemin düzgün ve titreşimsiz çalışması amaçlanmıştır. Deneyler süresince kol üzerinde bulunan numunelerden bir tanesi hiç çıkartılmamıştır. Çıkartılmayan numunenin amacı aşındırıcı ortamı karıştırmak suretiyle aşındırıcı ortamın hareketliliğini sağlamaktır (Resim 3.6).



Resim 3.6. Deney düzeneğinin kapak altı dişlileri ve numune bağlantı yerleri

Alüminyum kap içerisine aşındırıcı ortam hazırlanmıştır. Bunun için 2.5 kg SiC tozu ve 1.25 kg su karıştırılmıştır. İçerinde aşındırıcı karışım bulunan alüminyum kap deney düzeneğinin içerisine yerleştirilmiştir. Kapağı kapatıldıktan sonra yandaki iki adet kelepçe

ile kapak sabitlenmiştir. Sistemin çalışması ile deneyler başlamıştır. Deney için kullanılan iki farklı SiC tozları için ayrı deney grupları oluşturulmuştur (Çizelge 3.2).

İlk çalışma için SiC F20 tozu kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü giderilmek istenen numunelerin yan yüzeyleri 60' lık bant zımpara ile pürüzlendirilmiştir. Başlangıç pürüzlülük değeri yaklaşık olarak $Ra = 5,5 \mu m$ olarak ölçülmüştür.

İkinci çalışma için SiC F36 tozu kullanılmıştır. İlk olarak yüzeyi bant zımpara ile işlenen numuneler ile 5 saat için 1,5 m/s 1,75 m/s ve 2 m/s hızları ile deneyler yapılmıştır. Tanecik boyutu küçük olduğundan yüzeyde iyileştirmeler tam olarak gözlenememiştir. Bu yüzden numunelerin yan yüzeyleri 60' lık disk zımpara ile pürüzlendirilmiştir. Disk zımpara ile bant zımparaya nazaran daha temiz yüzey elde edilmiştir. Bunun nedeni disk zımparanın şerit zımparaya nazaran yüksek hızda oluşudur. Başlangıç pürüzlülük değeri yaklaşık olarak $1,6 \mu m$ olarak ölçülmüştür.

Çizelge 3.2. SiC tozları ile yapılan 4 farklı çalışmanın hız ve süreleri

SiC F20		SiC F36		SiC F20 (Susuz)		SiC F20 + F36	
HIZ	Süre	HIZ	Süre	HIZ	Süre	HIZ	Süre
1,50 m/s	1 Saat	1,50 m/s	1 Saat			1,50 m/s	1 Saat
	2 Saat		2 Saat				2 Saat
	3 Saat		3 Saat				3 Saat
	5 Saat		5 Saat				5 Saat
1,75 m/s	1 Saat	1,75 m/s	1 Saat			1,75 m/s	1 Saat
	2 Saat		2 Saat				2 Saat
	3 Saat		3 Saat				3 Saat
	5 Saat		5 Saat				5 Saat
2,00 m/s	1 Saat	2,00 m/s	1 Saat	2,00 m/s	1 Saat	2,00 m/s	1 Saat
	2 Saat		2 Saat		2 Saat		2 Saat
	3 Saat		3 Saat		3 Saat		3 Saat
	5 Saat		5 Saat		5 Saat		5 Saat

Bu iki çalışmadan elde edilen verilerin sonuçlarına bağlı olarak üçüncü ve dördüncü çalışmalar yapılmıştır. Bu iki deney için 40'lık disk zımpara kullanılmış ve başlangıç yüzey pürüzlülüğü $3,5 \mu m$ olarak belirlenmiştir.

Üçüncü çalışmadan önce ilk iki çalışma sonundaki SiC tozlarından SEM görüntüsü için numuneler ayrılmıştır. Üçüncü çalışmada 2,5 kg F20 tozları kullanılmış fakat su kullanılmamıştır.

Dördüncü çalışmada ilk iki çalışma gibi tekrarlanmış fakat 2,5 kg lık SiC Tozu, 1,25 kg F20 ve 1,25 kg F36 olarak ağırlıkça eşit bir karışım olarak belirlenmiştir. Bütün çalışmalar sonrasında SEM görüntüsü almak üzere SiC tozlarından numuneler alınmıştır.

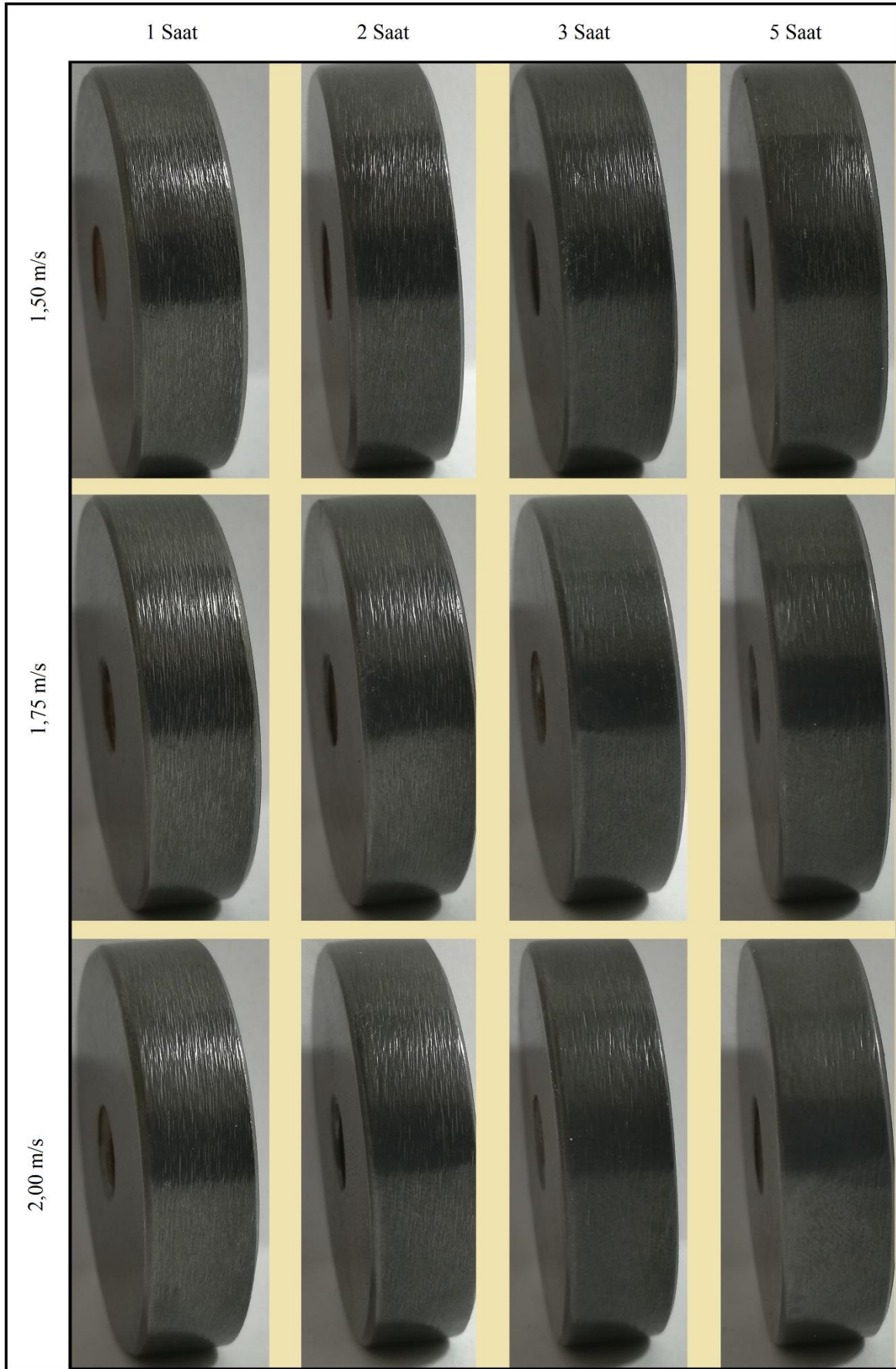
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

4.1. F20 ve Su Karışımı Deney Sonuçları

Silisyum karbür F20 tozları ve su karışımı ile yapılan çalışma sonucunda Çizelge 4.1’ de gösterilen değerler elde edilmiştir. Yüzey kalitesi başlangıç değeri $Ra = 5,5 \mu m$ dir. Her bir numunenin farklı noktasından 5 adet ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalaması bulunarak değerler hesaplanmıştır. Resim 4.1’ de deneylerde kullanılan numunelerin yüzey görselleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. F20 Su karışımı ortamda yapılan deneylerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

SiC F20		
HIZ (m/s)	Süre (Saat)	Ra (μm)
1,5	1	3,288
	2	3,097
	3	2,676
	5	2,394
1,75	1	3,093
	2	2,637
	3	1,918
	5	1,856
2	1	2,587
	2	2,533
	3	1,712
	5	1,434

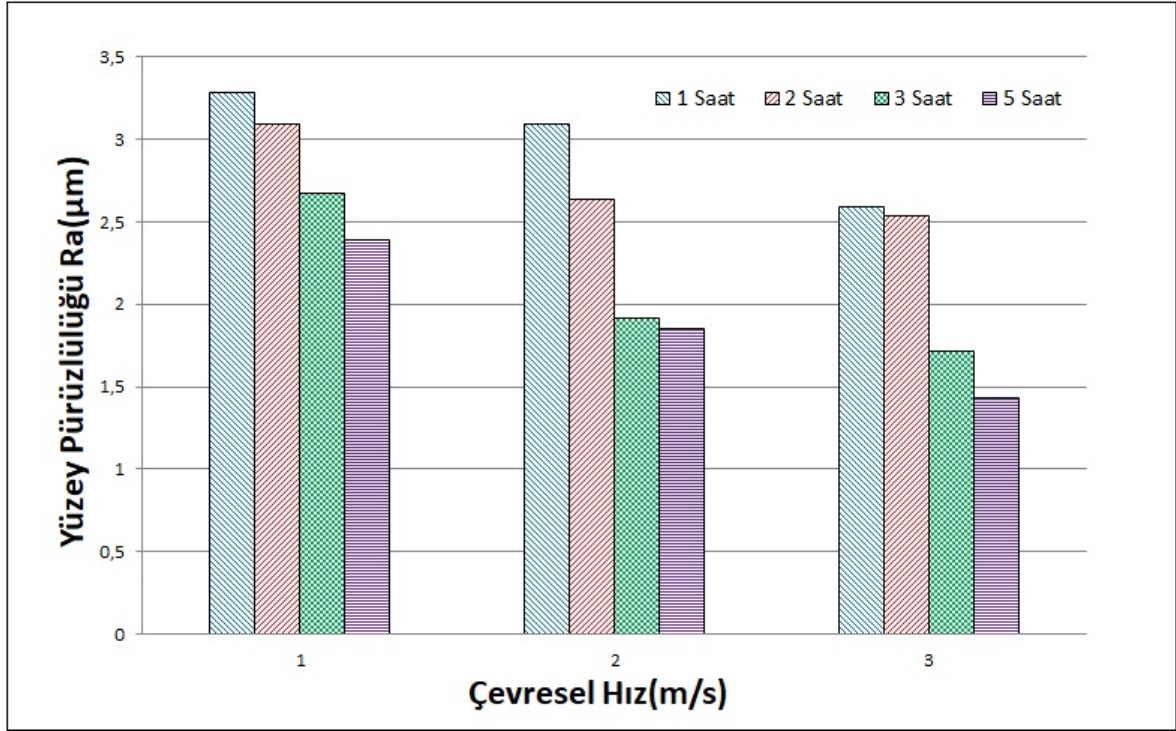


Resim 4.1. F20 Su karışımı ortamda aşınan deney numunesi görüntüleri

F20 ve su karışımı ortamının kullanıldığı deneylerde iri taneciklerin yüzeye, numunenin şekli ve deneyin uygulanışı nedeniyle, 0-180° arasında değişen açıyla çarpması sonucunda abrazyona maruz kalan yüzeyle karşılaşmıştır. Bu yüzeyin pürüzlülüğü taneciklerin çarpma hızı (numunenin dönüş hızı) maruziyet süresinin artması ile orantılıdır. Büyük hızlar ve uzun süre maruziyet, yüzey pürüzlülüğüne olumlu yönde etki etmektedir. Resim 4.1' e bakıldığında yüzeydeki iyileşme gözle bile fark edilmektedir. Elde edilen veriler ışığında Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 yorumlandığında ilk bir saat içerisinde yüzey kalitesinde büyük bir artış görülmektedir. Bunun nedeni pürüzlülüğe neden olan tepciklerin taneciklere temas eden ilk yerler oluşlarıdır. Daha sonraki çarpmaların etkileri tepciksiz yüzeylere gerçekleştiğinden yüzeydeki iyileşme daha yavaş gerçekleşmektedir. Yani belirli bir optimum süreden sonra yüzeydeki iyileştirme işlemine devam edilmesi gereksiz olacaktır. Bu deney sonucunda F20 SiC tozları ve su karışımı ile yapılan denemelerde 3 saatin sonunda yüzeyde fazla bir iyileşme görülmemiştir. 1,5 m/s hızına nazaran 1,75 m/s hızında daha pürüzsüz yüzeyler elde edilirken hızı daha da artırarak 2 m/s ye çıkarmak pürüzlülük açısından fazla bir etki yapmamıştır. İdeal hız 1,75 m/s olarak görülmektedir. Tabii ki kullanılan aşındırıcının ve aşınan malzemenin özelliklerin bu pürüzlülük değerleri üzerinde etkisi büyüktür.



Şekil 4.1. F20-Su karışımı ortamında farklı sürelerde yüzey pürüzlülüğünün süreye göre değişimi



Şekil 4.2 F20-Su karışımı ortamında farklı sürelerde yüzey pürüzlülüğünün hıza göre değişimi

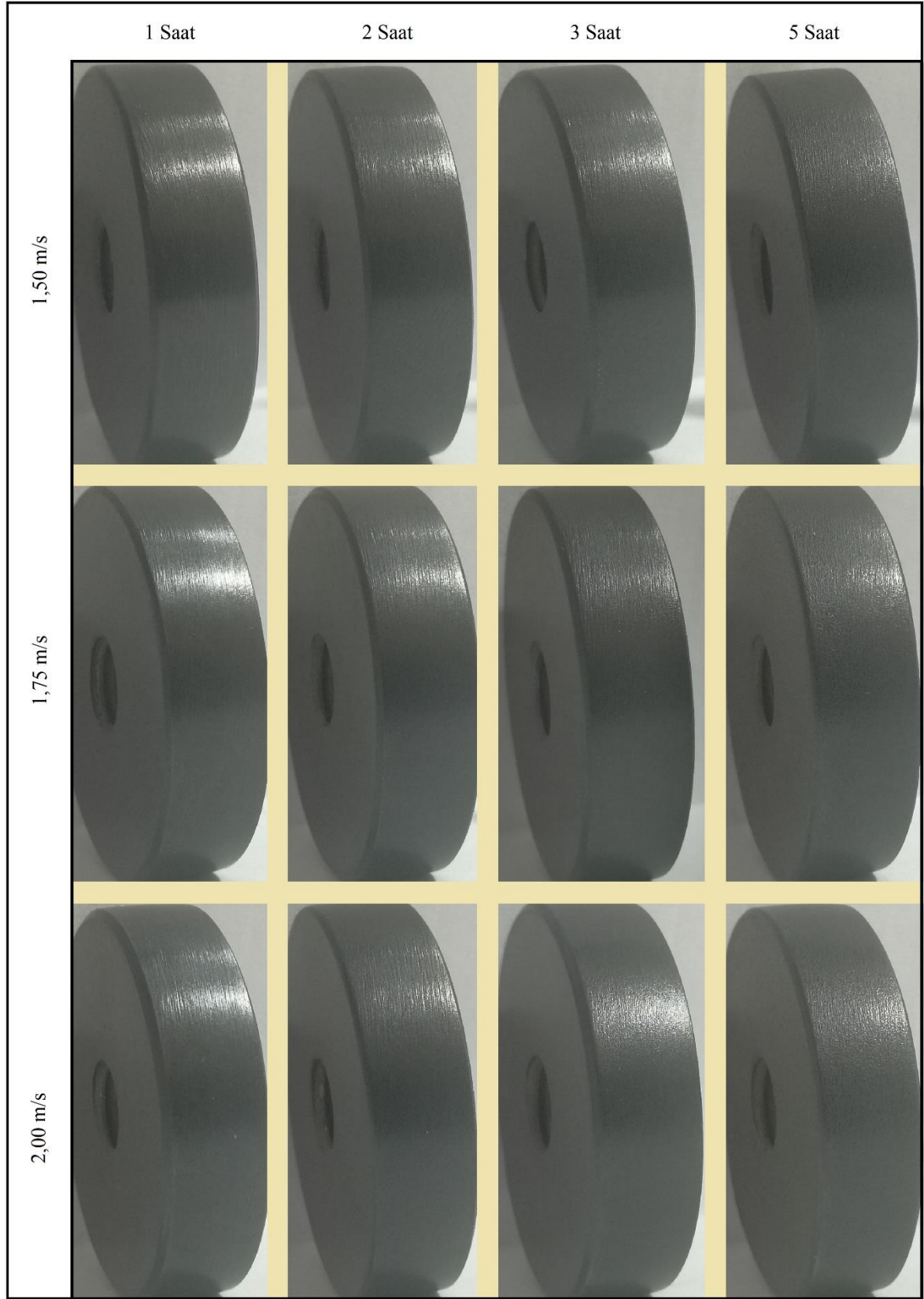
4.2. F36 ve Su Karışımli Deney Sonuçları

F36 ve su karışımli deneylerin olduğu çalışmada, kullanılan tanecik boyutunun yarısı büyüklüğe sahip olan SiC karbür tozların etkisi çok farklı olmuştur. İlk başta yine yüzey kalitesi $Ra = 5,5 \mu m$ olan yüzey de deneylere başlanmıştır. Üç farklı hızda 5'er saatlik deney süresi sonunda yüzeyde gözle görülür bir iyileşme gerçekleşmediğinden başlangıç yüzeyinin daha hassas olması gerektiğine karar verilmiştir. Numunelerin başlangıç yüzey kalitesi değerleri ortalama $Ra = 1,6 \mu m$ değerine getirilmiştir. Silisyum karbür F36 tozlarıyla yapılan deneyler sonucunda Çizelge 4.2' de gösterilen değerler elde edilmiştir. Her bir numunenin farklı yerlerinden 5 adet ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalaması bulunarak değerler hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde yüzey kalitesinin kötüleştiği görülmüştür. Resim 4.2' de deneylerde kullanılan numunelerin yüzey görselleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. F36 Su karışımı ortamda yapılan deneylerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

SiC F36		
HIZ (m/s)	Süre (Saat)	Ra (μm)
1,5	1	1,513
	2	1,678
	3	1,945
	5	3,028
1,75	1	1,35
	2	1,726
	3	2,309
	5	3,346
2	1	1,503
	2	2,025
	3	2,064
	5	3,541

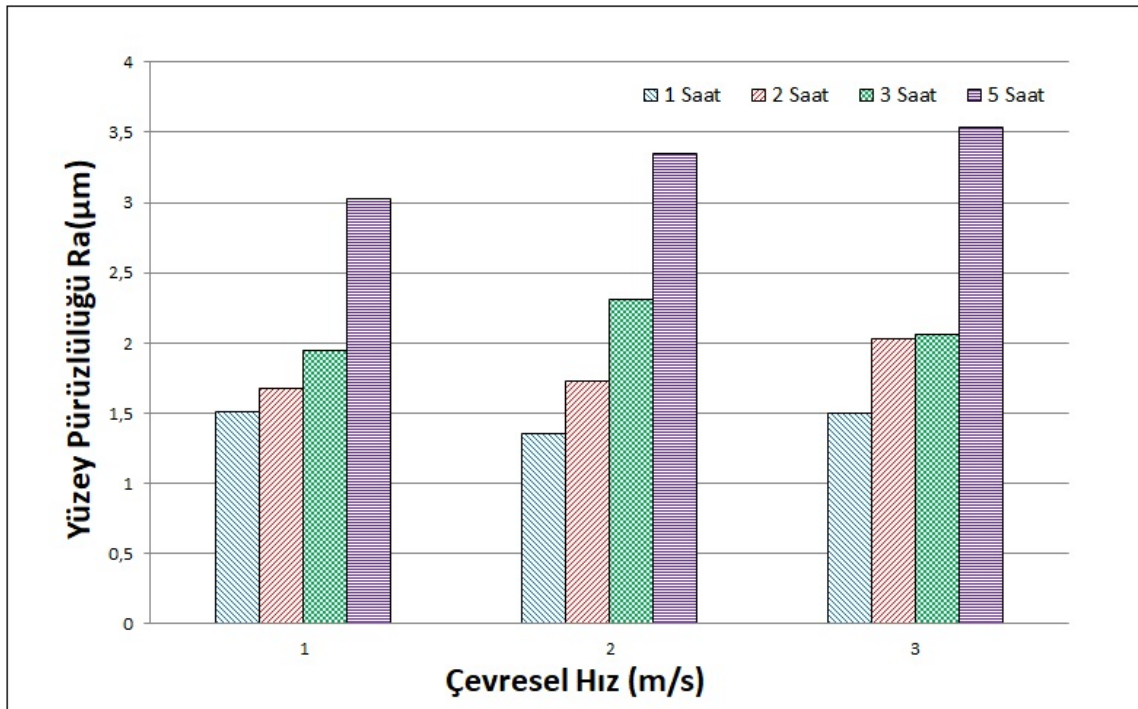
F36 ve su karışımı ortamın kullanıldığı deneylerde tanecik boyutunun yarısı büyüklüğe sahip olan SiC karbür tozların etkisi çok farklı olmuştur. İlk başta yine yüzey kalitesi $Ra = 5,5 \mu\text{m}$ olan yüzey de gözle görülür bir iyileşme tespit edilememiştir (5 er saatlik maruziyet süresi uygulanmasına rağmen). Başlangıç yüzey kalitesi $Ra = 1,6 \mu\text{m}$ olan yüzeyi daha pürüzsüz hale getireceği varsayımı ile hareket edilerek ikinci grup deneyler yapılmıştır. Bu sonuçlar ile elde edilen Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 incelendiğinde yüzey kalitesinde genel manada bir iyileşmeden ziyade, bozulmalar meydana geldiği görülmektedir. İlk bir saate bakıldığında yüzeyde hafif bir pürüzlülük düzelmesi görülmektedir. Daha sonra ki zamanlarda ise yüzey hızla bozulmaktadır. Resim 4.2' de bu bozulma açık olarak görülmektedir. Yine ilk 1. saat de parçacıklar yüzeydeki tepcıklere daha fazla nüfuz etmekte ve yüzeyde bir iyileşme görülmektedir. Fakat daha sonra parçacıkların tane boyutunun etkisi ile bu olumlu durum tersine dönmüş ve yüzeyde bozulmalar meydana gelmeye başlamıştır.



Resim 4.2. F36 Su karışımı ortamda aşınan deney numunesi görüntüleri



Şekil 4.3. F36-Su karışımı ortamında farklı sürelerde yüzey pürüzlülüğünün süreye göre değişimi



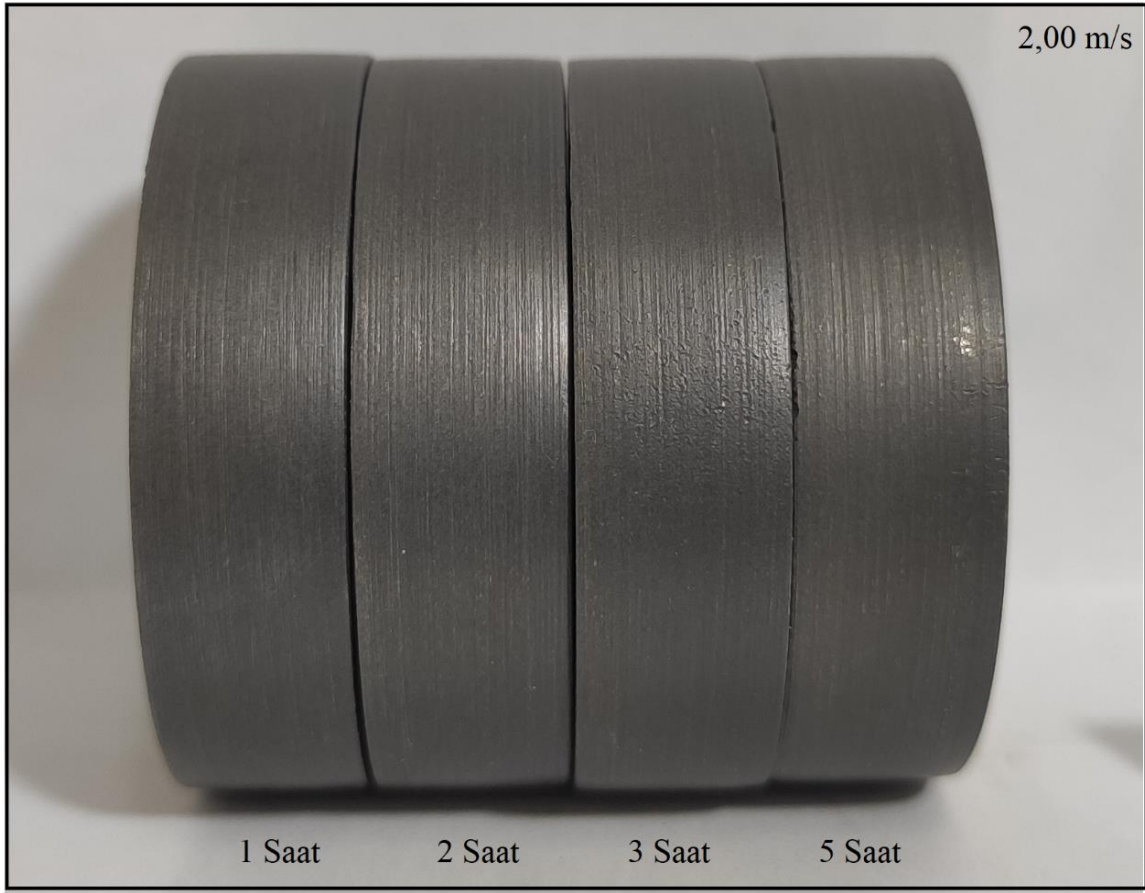
Şekil 4.4. F36-Su karışımı ortamında farklı sürelerde yüzey pürüzlülüğünün hıza göre değişimi

4.3. F20 Su Karışimsız Deney Sonuçları

Deneylerde suyun etkisinin olup olmadığı gözlemlenmek istenmiştir. Bu amaçla F20 tozlarıyla yapılan deneyler su kullanılmadan tekrar edilmiştir. Başlangıç yüzey kalitesi değeri $3,5 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiş ve susuz ortamda deneyler tekrarlanmıştır. Aşınmanın en çok gerçekleşeceği öngörülen 2 m/s hızda deneyler yapılmış ve Çizelge 4.3' teki sonuçlar elde edilmiştir. Veriler incelendiğinde yüzey kalitesinde bir değişim olmadığı görülmüştür. Resim 4.3' te numune yüzey görselleri verilmiştir. Değişim olmadığı yüzey görüntülerinden anlaşılmaktadır. Sonuç olarak nerdeyse hiç aşınma meydana gelmemiştir. Aşınma mekanizmasının gerçekleşmesi için suyun gerekliliği tespit edilmiştir. Su içerisinde hareket halindeki tozların çarpma ile birlikte abrasif aşınma meydana getirdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.3. F20 Susuz ortamda yapılan deneylerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

SiC F20 SUSUZ		
HIZ (m/s)	Süre (Saat)	Ra (μm)
2	1	3,502
	2	3,452
	3	3,448
	5	3,43



Resim 4.3. F20 susuz ortamda aşınan deney numunesi yüzey görüntüleri

Çizelge 4.3' te ve Resim 4.3' te görüldüğü gibi yüksek hızımız 2 m/s de yüzeyde bir aşınma gerçekleşmediğinden, diğer numuneler üzerinde diğer hızlar ve süreler için deneylere devam edilmemiştir.

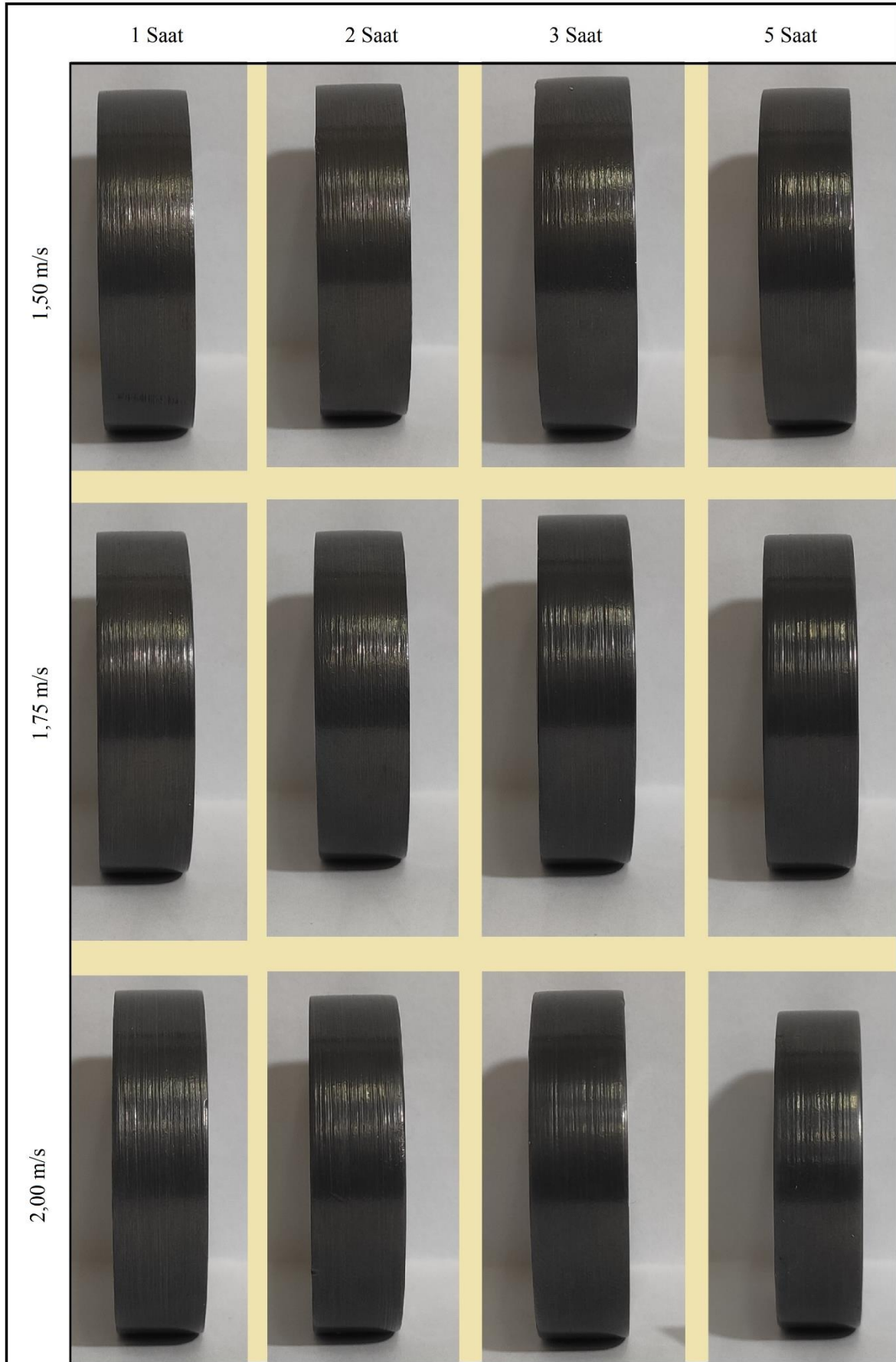
4.4. F20 - F36 ve Su Karışımı Deney Sonuçları

İlk iki deney grubunda su kullanıldığı için aşınmanın gerçekleştiği kanaatine varılmış ve son deneylerde yine su ile karışım yapılarak deneylerin tekrarlanmasına karar verilmiştir. Bunun için başlangıç yüzey kalitesi değeri ilk iki deney grubunun arasında bir değer seçilmeye çalışılmıştır. 3,5 μm yüzey kalitesine uygulanacak SiC tozları bu sefer ağırlıkça eşit miktarda F20 ve F36 karışımı yapılarak elde edilmiştir. Aşağıda Çizelge 4.4' te bu çalışmaya ait yüzey kalitesi sonuçları verilmiştir. Resim 4.4' de deneylerde kullanılan numunelerin yüzey görselleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. F20 - F36 Su karışımı ortamda yapılan deneylerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

SiC F20 & F36		
HIZ (m/s)	Süre (Saat)	Ra (μm)
1,5	1	3,304
	2	3,105
	3	3,023
	5	2,628
1,75	1	3,125
	2	3,107
	3	3,014
	5	2,978
2	1	2,833
	2	2,523
	3	1,757
	5	1,69

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’ da karışım parçacıklı su ortamı deneylerin grafik gösterimleri sunulmuştur. F20 - su karışımı deneylerde büyük SiC parçacıkların başlangıç değeri olan 5,5 μm ye olumlu etkisi, F36 küçük parçacıklarla birlikte yüzeye olumlu etki edebileceği varsayımı ile F20 ve F36 karışımı ve sulu ortamda bir sonraki deneyler gerçekleştirilmiştir.

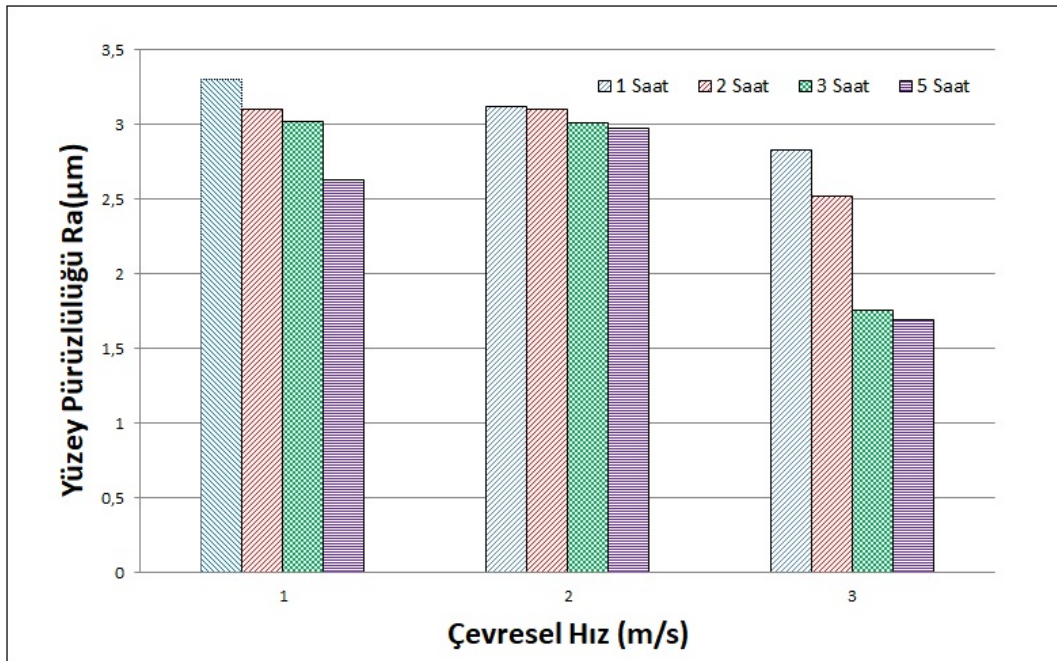


Resim 4.4. F20 F36 Su karışımı ortamda aşınan deney numunesi görüntüleri

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 incelendiğinde karışım parçacıklı deneylerde yüzey kalitesinde birinci deney grubu gibi düzelme gerçekleşmiştir. Fakat SEM görüntüleri küçük parçacıkların yüzeyde ilerleyen sürelerde yine bozulma meydana getirdiğini tespit etmiştir.



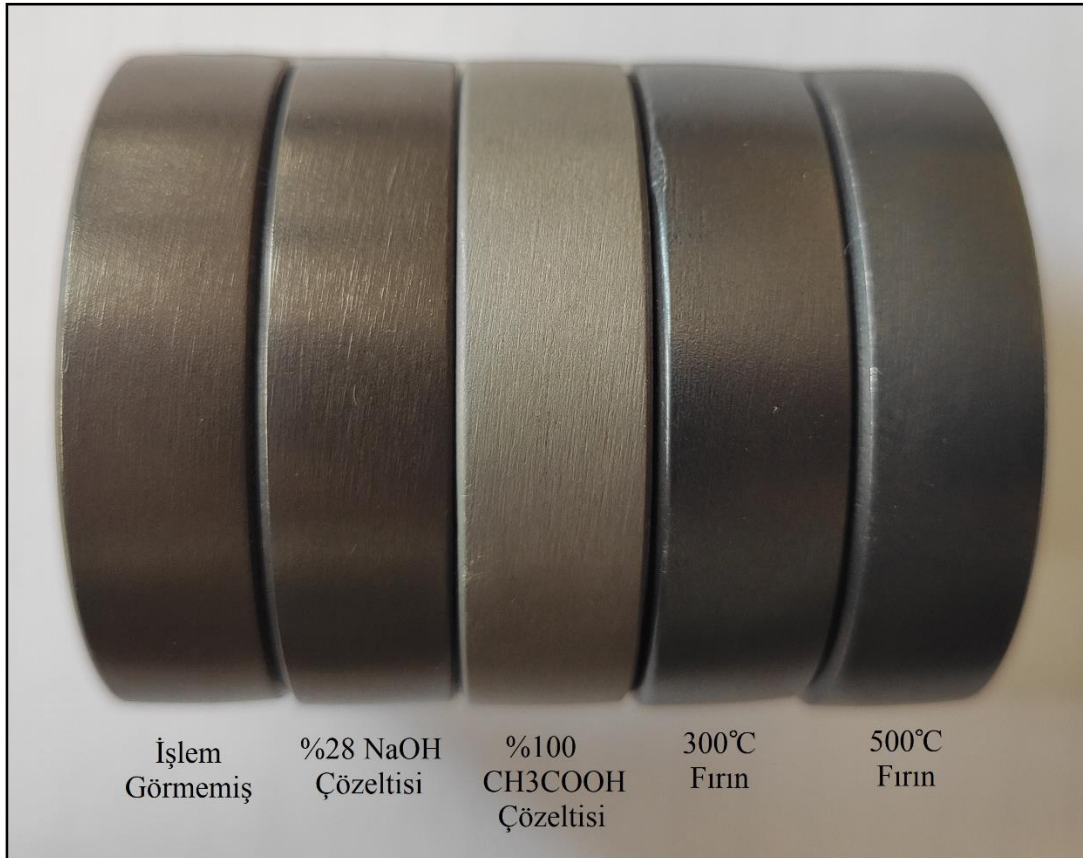
Şekil 4.5. F20 F36 Su. Farklı sürelerde yüzey pürüzlülüğünün süreye göre değişimi



Şekil 4.6. F20 F36 Su. Farklı sürelerde yüzey pürüzlülüğünün hıza göre değişimi

4.5. Yüzey Kararmasının Giderilmesi

Deneyler süresince numunelerin yüzeyinin karardığı tespit edilmiş ve bu kararmasının giderilmesi için değişik yöntemler denenmiştir. İlk olarak yüzeydeki kararmamın karbona bağlı olarak gerçekleştiği bilgisiyle malzemeyi ısıtarak yüzeydeki karbondan kurtulmak hedeflenmiş. Bunun için fırında 300 °C de yarım saat ısıtılmıştır. Daha sonra farklı bir numune 500 °C lik Kül Yakma Fırınında yarım saat ısıtılmıştır. Bu ısıtma işlemi sırasında numuneye doğrudan alev teması gerçekleşmemiştir. Isıtma yöntemleri ile yüzeydeki kararma giderilmemiştir. Daha sonra yine bir başka numune % 28 lik NaOH çözeltisinde yarım saat bekletilmiştir. Yine yüzeydeki kararma giderilememiştir. En son olarak % 100 lük Asetik Asit (CH_3COOH) çözeltisinde yarım saat bekleyen başka bir numunenin yüzeyindeki kararmamın giderildiği tespit edilmiştir (Resim 4.5).



Resim 4.5. Farklı işlemlerin yüzeydeki kararmayı giderme etkisi

4.6. Yüzey ve Parçacıkların SEM İncelemeleri

4.6.1. Yüzey incelemeleri

Karışım aşındırıcılı deneyler süresince numune karşısına bağlanan ve hiç çıkarılmayan ortamı karıştırma parçasının yüzeyinin de SEM görüntüleri incelenmiştir. Resim 4.6’ da karşılaştırma amaçlı, başlangıç yüzeyi $R_a = 3,5 \mu\text{m}$ olan işlenmemiş parça, En fazla iyileşmenin gerçekleştiği 2 m/s hızında 5 saat işlem gören parça, kuru ve karışım tozlu deneyler süresince işlenen karşı numune parçasının fotoğrafı verilmiştir.

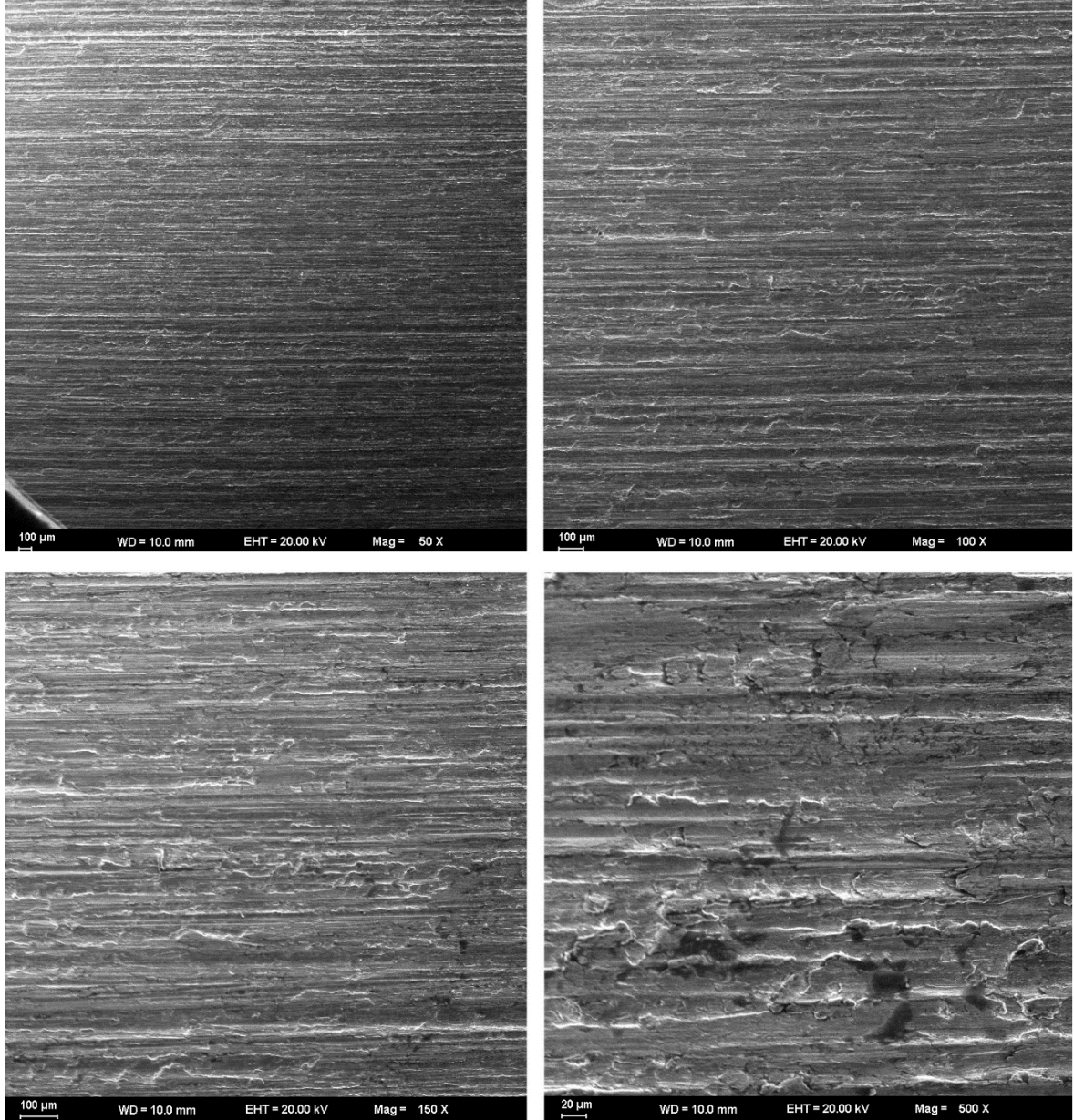


Resim 4.6. İşlenmemiş, 2 m/s ile 5 saat işlenmiş ve deneyler süresince işlenmiş numuneler

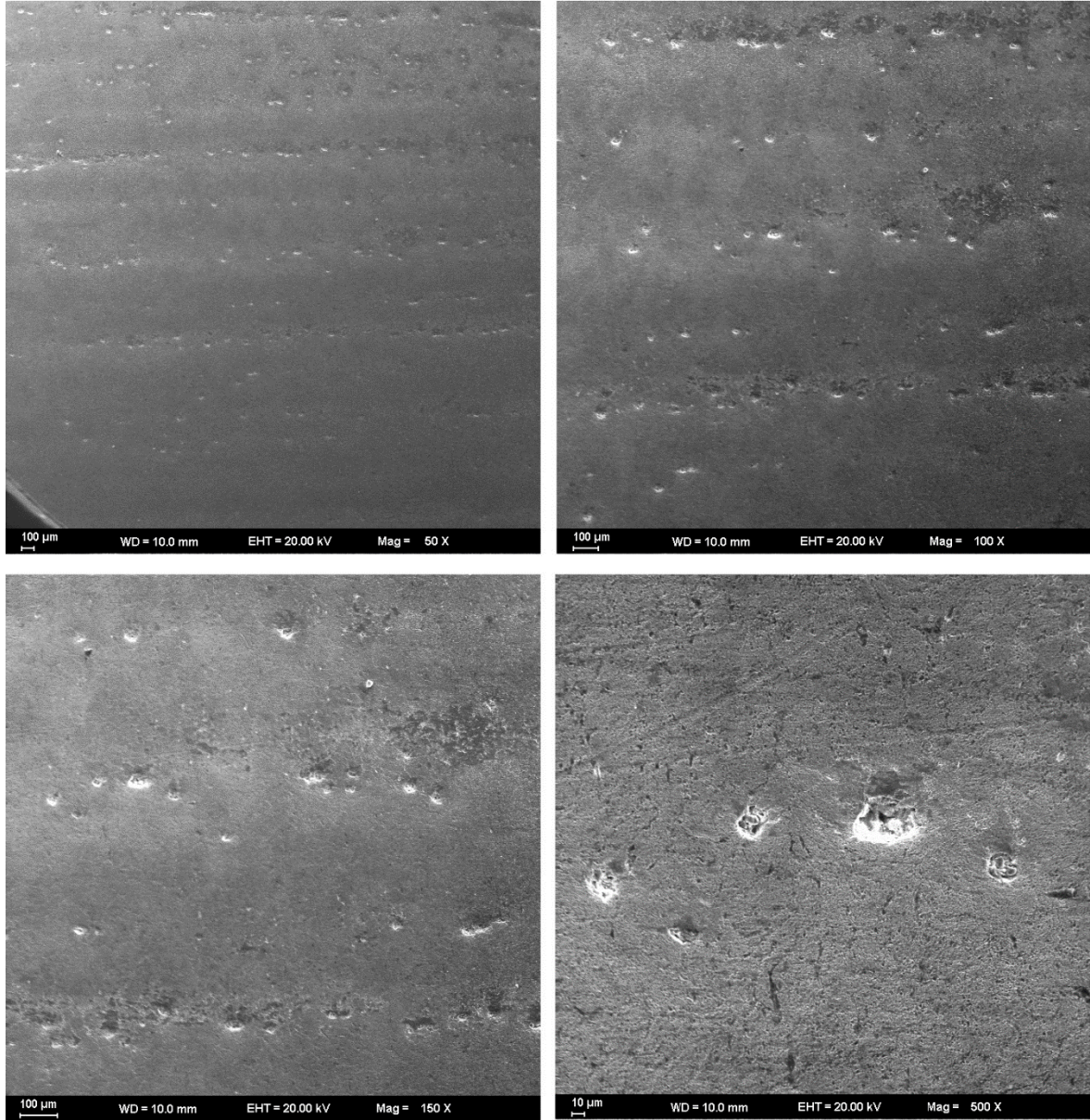
Aşağıdaki başlangıç yüzey kalitesi $3.5 \mu\text{m}$ olan işlenmemiş parçanın (Resim 4.7), 2 m/s hızda 5 saat işlenmiş parçanın (Resim 4.8) ve deneyler süresince işlenen parçanın (Resim 4.9) SEM görüntüleri verilmiştir.

Görüntüler incelendiğinde en iyi yüzey kalitesi 2 m/s hız ile 5 saatte gerçekleşmiştir (Resim 4.8). Görüntüye bakıldığında yüzeyde çukurların oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni karışım içerisindeki F36 parçacıklarıdır.

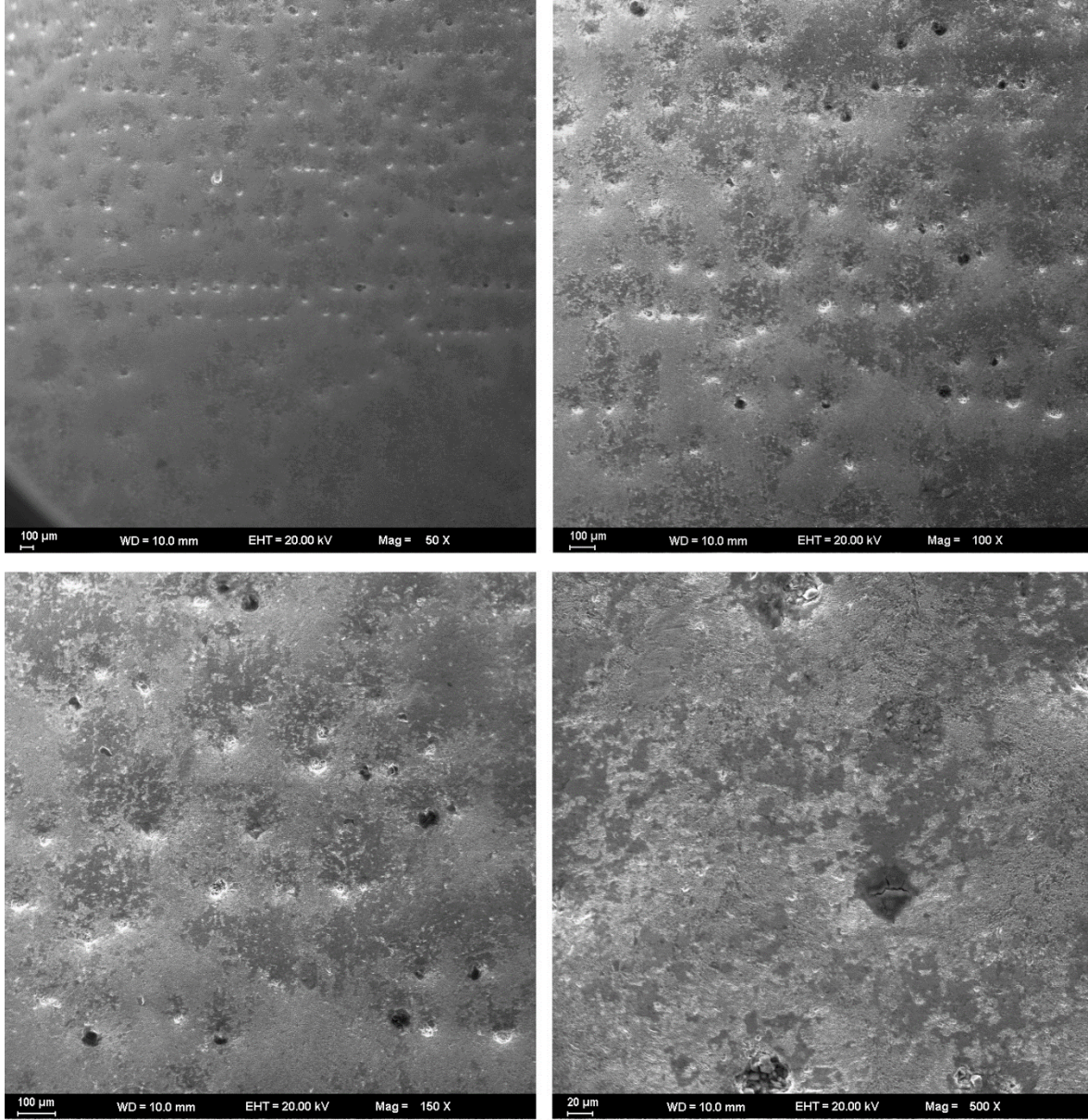
Deneyler süresince işlenmiş parçanın yüzey kalitesi $3.15 \mu\text{m}$ civarında ölçülmüştür (Resim 4.9). Yukarıda belirtilen F36 parçacıklarının yüzey kalitesini olumsuz etkisi bu resimde daha net görülmektedir.



Resim 4.7. İşlenmemiş parçanın SEM görüntüleri



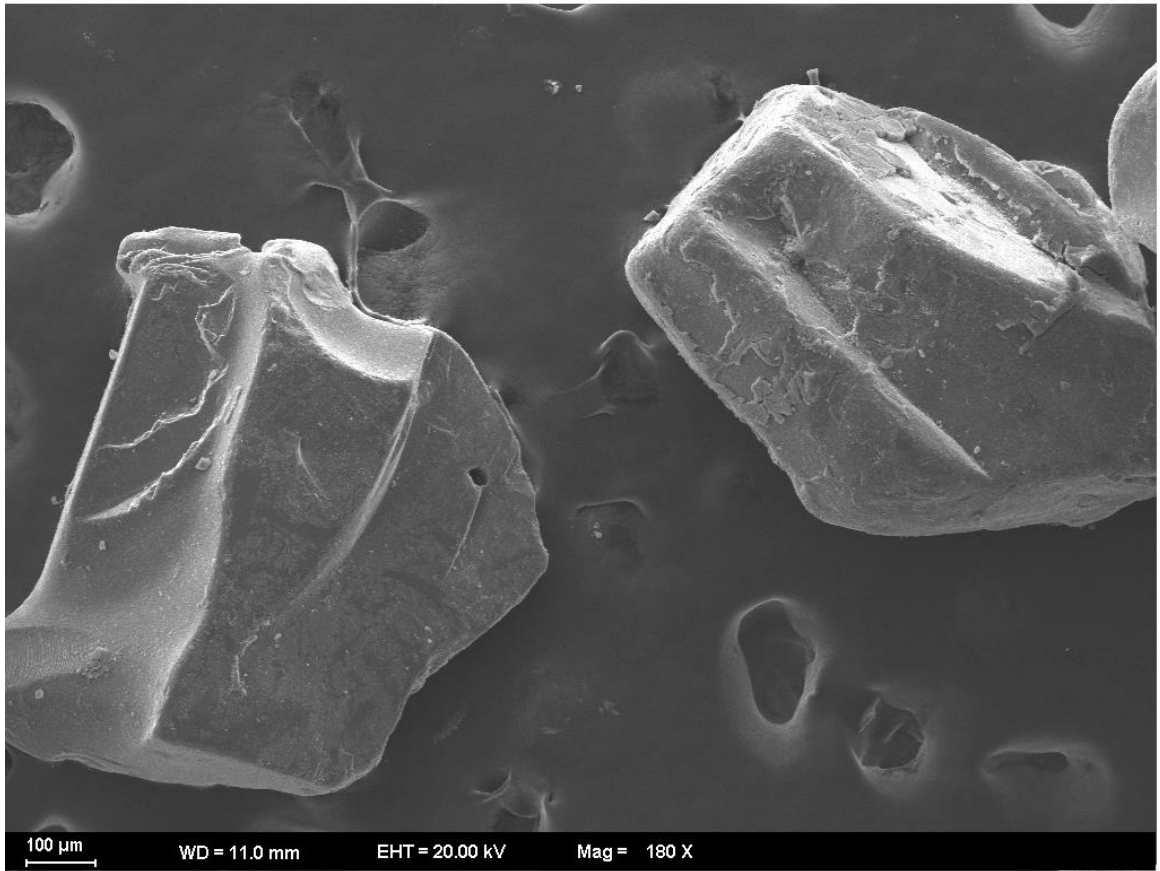
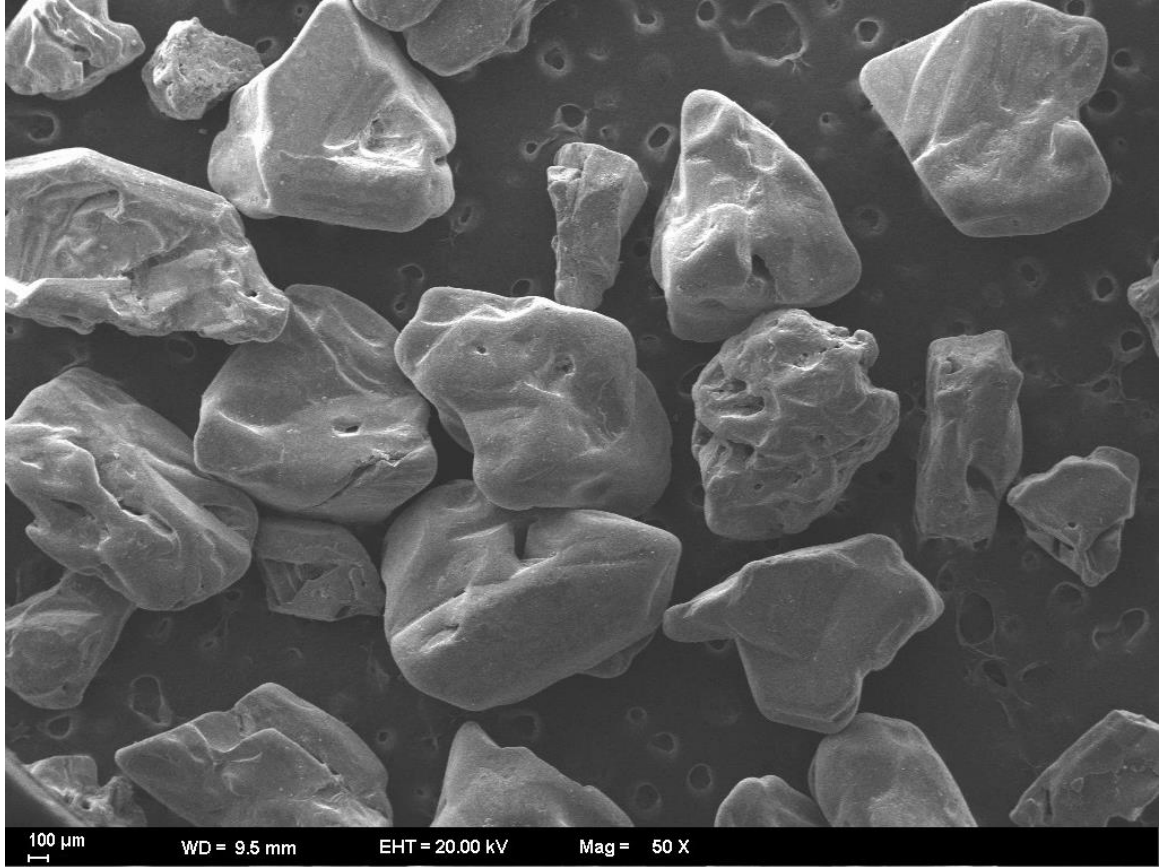
Resim 4.8. 2 m/s hızında 5 saat boyunca işlenen parçanın SEM görüntüleri



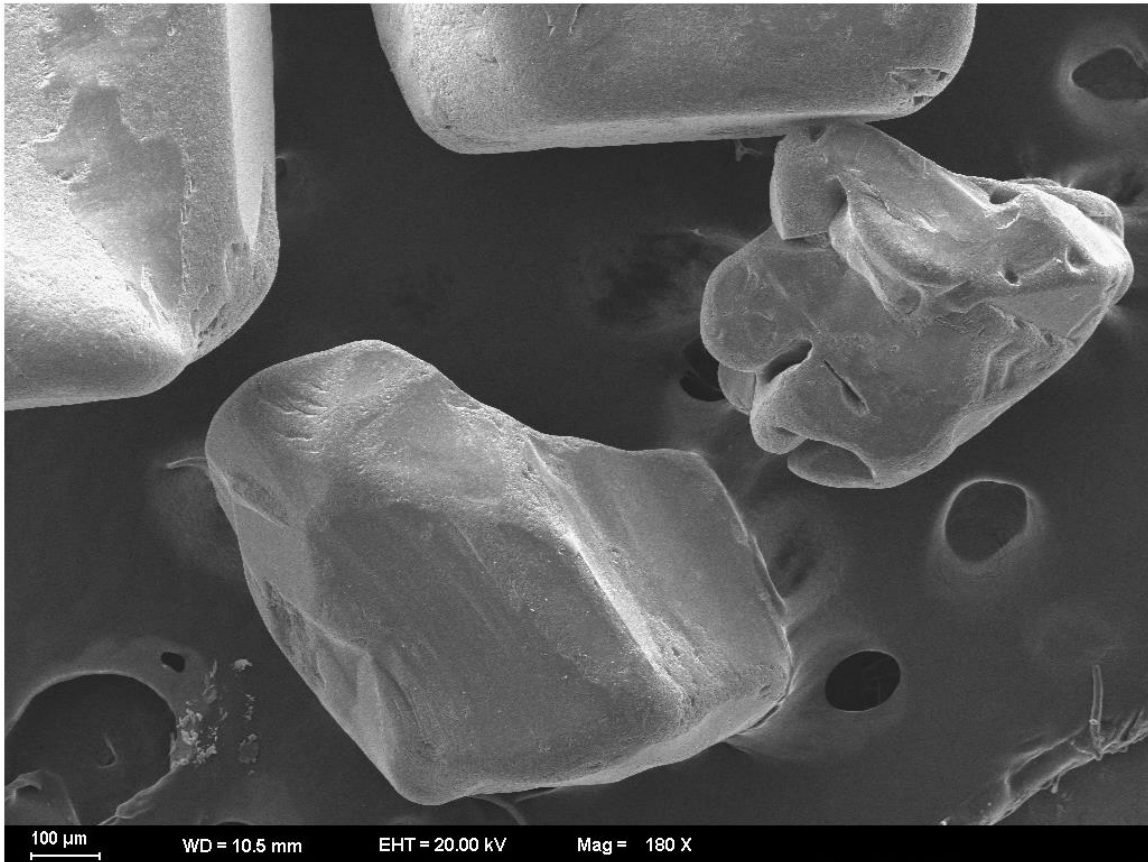
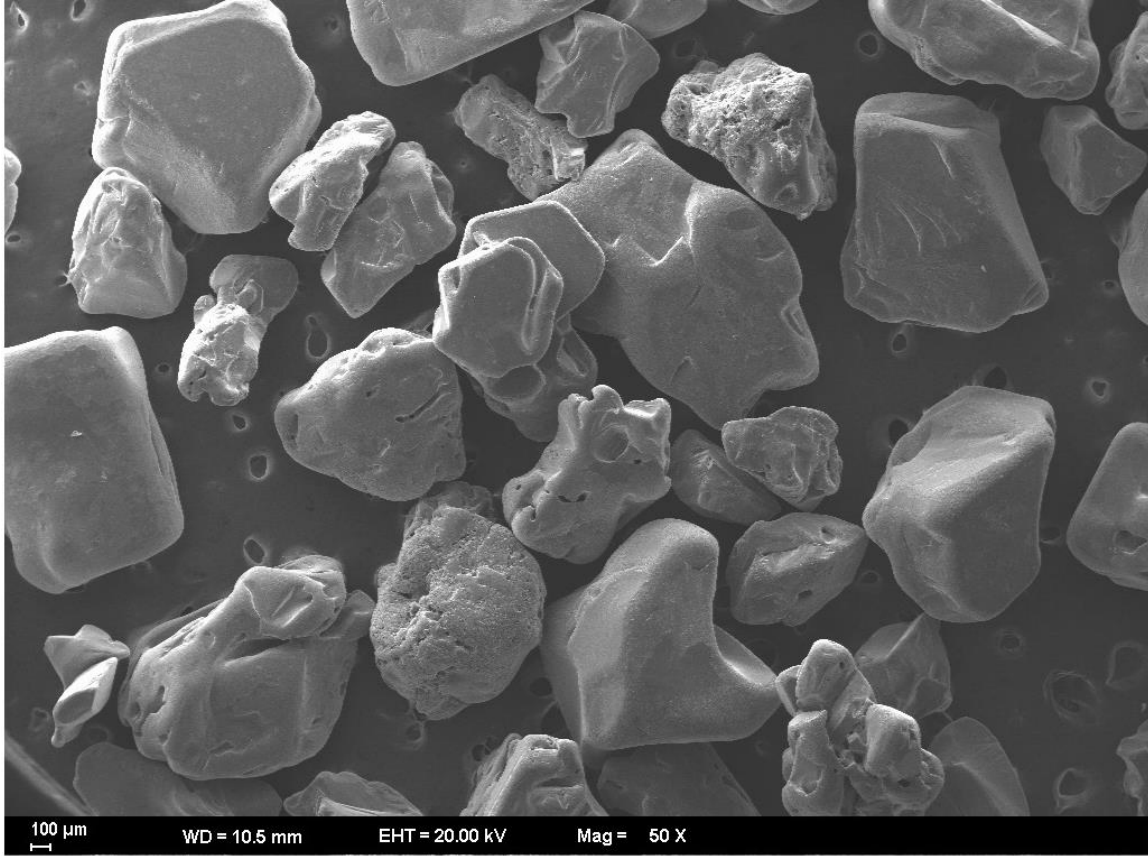
Resim 4.9. Kuru ve karışım tozlu deneyler süresince işlenen karşı numunenin SEM görüntüleri

4.6.2. Parçacık SEM incelemeleri

F20 sulu karışım ve F36 sulu karışım deneylerinden sonra SiC parçacıklarının aşındırıcı etkisinin azalacağı yönündeki çalışmalara istinaden bir miktar F20 ve F36 parçacık SEM görüntüsü incelenmek üzere ayrılmıştır. F20 tozlu susuz deneyler ile, F20 ve F36 karışım tozları ile sulu yapılan deneylerden sonra yine bir miktar F20 ve F36 tozları SEM görüntüsü incelenmek üzere ayrılmıştır. Bu iki Tozun SEM görüntüleri Resim 4.10 ve Resim 4.11’ de verilmiştir.



Resim 4.10. Kuru ve karışım tozlu deneyler öncesinde F20 ve F36 toz karışımı SEM görüntüsü



Resim 4.11. Kuru ve karışım tozlu deneyler sonrasında F20 ve F36 toz karışımı SEM görüntüsü

SiC parçacıklarının SEM görüntüleri incelendiğinde parçacıkların keskin köşelerinin kullanıma bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Resim 4.10' da özellikle F20 tozlarının fazla aşındığı, keskin köşelerinin yuvarlandığı görülmektedir. Hiçbir işleme maruz kalmayan SiC tozlarının SEM görüntüleri daha önceki çalışmalarda Resim 2.2 b) ve Resim 2.5 a)' da görülmektedir. Resim 4.11' de bütün deneyler sonrasında çekilen F20 ve F36 tozlarının birlikte SEM görüntüsüdür. Bu görüntüde SiC tozlarının keskin köşeleri daha da çok yuvarlanmıştır.

F36 tozları, F36 sulu deneylerde parça yüzeyini düzeltmek yerine bozmuştur. Bu iki tozun bir arada kullanıldığı karışım tozlu deneylerde numune üzerinde oluşan (Resim 4.8 ve Resim 4.9) çukurların nedeni yine F36 tozlarıdır. Bu çukurların oluşmasının nedeni olan F36 parçacıklarındaki aşınma Resim 4.11' de görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş parçaların yüzey kalitesinin arttırılması amacıyla yönelik olarak abrazif aşınma düzeneği tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, çelik malzemeden üretilmiş belirli başlangıç yüzey kalitesine sahip basit geometrili yüzeylerin abrazif aşınma mekanizmasıyla yüzey kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Aşınma mekanizmasına etki eden değişkenlerin etkisi hakkında bilgilere sahip olabilmek amacıyla, numuneler abrazif aşındırıcıya maruz bırakılarak yüzey kalitesine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, Silisyum Karbür - Su karışımı ve susuz Silisyum Karbür içerisinde numunelerin kendi eksenî etrafında dönme ve ilerleme hareketiyle numunelerin yüzey kalitesindeki değişimler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şunlardır:

- F20 SiC tozlarıyla yapılan su karışıklı deneylerde numune yüzeyinde istenilen düzeyde aşınma meydana gelmiştir. Başlangıç değeri $R_a = 5,5 \mu\text{m}$ olan yüzey, en fazla iyileşmenin meydana geldiği 2 m/s hızda ve 5 saatlik sürede $R_a = 1,43 \mu\text{m}$ ’ lik değere inerek yaklaşık % 74 lük bir iyileşme sağlanmıştır.
- F36 SiC tozlarıyla yapılan su karışıklı deneylerde aşınma meydana gelmemiştir. Hatta yüzeyde bozulmalar meydana gelmiştir, yüzey kalitesi kötüleşmiştir.
- F20 tozları ile sadece parçacıkların bulunduğu kuru ortamın aşındırıcı etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.
- F20 ve F36 tozlarının karışımı ile yapılan su karışıklı deneylerde başlangıç yüzey kalitesi değeri $R_a = 3,5 \mu\text{m}$ olan yüzeylerde, en fazla aşınmanın meydana geldiği 2 m/s hızda ve 5 saatlik sürede $R_a = 1,69 \mu\text{m}$ lük değere inerek yaklaşık % 52 lik bir iyileşme sağlanmıştır.
- SEM görüntülerinde F36 parçacıkların yüzeyde çukurlar meydana getirdiği görülmüştür.
- SEM görüntülerinde SiC tozlarının kullanıma bağılı olarak keskin köşelerinde yuvarlanmaların başladığı görülmüştür.
- Aşındırıcı ortamın neden olduğu yüzey kararmasının Asetik Asit çözeltisiyle giderildiği görülmüştür.

5.2. Öneriler

SiC karbür tozlarının tanecik büyüklüğünün, çarpma hızı ve süresinin karbon esaslı (Ç1040) malzemesi üzerindeki yüzey iyileştirici etkisini inceleyen bu çalışmanın daha kapsamlı yapılarak geliştirilmesi gerektiği kanaatindeyim. Genel itibari ile aşındırıcı parçacıkların aşındırma etkilerinin incelendiği ve göz önünde bulundurulduğu günümüzde, bu çalışma bu parçacıkların kullanışlı bir yüzey iyileştirme aracı olarak kullanılabileceğini bir kez daha ortaya koymaktadır. Çalışmanın gelecekte geliştirilebilmesi için şunlar yapılabilir;

- Daha doğru veriler için deney süresince belirli aralıklarda SiC tozları yenilenebilir.
- SiC tozları yerine başka aşındırıcı parçacıklar seçilebilir.
- Deney de kullanılan parçacık boyutları çeşitlendirilebilir.
- Veri parametre aralıkları artırılarak daha net sonuçlar alınabilir.
- Numune malzemesi çeşitlendirilerek SiC tozlarının farklı malzemeler üzerindeki etkileri incelenebilir.
- Karmaşık geometriye sahip numuneler üzerinde yöntemin etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Kosa, E. (2016). *Çeliklerin Eroziyon-Abrasif Aşınmasında Aşındırıcı Tane Büyüklüğünün Aşınma Direncine Etkisi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2.
2. Williams, J. A. (2005). Wear and Wear Particles - Some Fundamentals. *Tribology International*, 38, 863–870.
3. Budinski K.G. (1988). *Surface Engineering for Wear Resistance*, Prentice Hall, New Jersey, 1-14.
4. Tanzi, M. C., Farè, S., Candiani, G. (2019). *Foundations of Biomaterials Engineering. Sterilization and Degradation*, Elsevier, 289-328.
5. Abdelbary A. (2014). *Wear of Polymers and Composites*. Polymer Tribology, 1-36.
6. Jafari, A., Dehghani, K., Bahaaddinia, K., Abbasi, R.H. (2018). Experimental Comparison of Abrasive and Erosive Wear Characteristics of Four Wear-Resistant Steels. *Wear*. 416-417, 14-26.
7. Stachowiak, G. W. and Batchelor, A. W. (2005). *Engineering Tribology*. (Third edition). Elsevier, 501-540.
8. Karl-Heinz Z. G. and John A. Williams. (1987). *Microstructure and Wear of Materials*. Tribology Series, 10.
9. Rowe B.W. (2014). *Principles of Modern Grinding Technology*. (Second Edition), Elsevier, 35-62.
10. Gordeev, S.K., Zhukov, S.G., Danchukova, L.V., Ekström, T. (1999). Method of Manufacturing a Diamond-Silicon Carbide-Silicon Composite and A Composite Produced by This Method, *World Intellectual Property Organization*.
11. Jürgen Buschow, K.H. and Cahn, R.W. (2001). *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. (Second Edition), Elsevier, 8497-8502.
12. Ebnesajjad S. (2014). *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding* (Second Edition), Elsevier, 283-299.
13. Jha A. K., Batham R., Ahmed M., Majumder A. K., Modi O. P., Chaturvedi S., Gupta A. K. (2011). *Effect Of Impinging Angle And Rotating Speed On Erosion Behavior Of Aluminum*, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 21(1), 32-38.
14. Jones L.C. (2010). *Low Angle Scouring Erosion Behaviour Of Elastomeric Materials*, National Research Council, 4250 Wesbrook Mall, Vancouver, Canada.

15. Tian H.H, Graeme R. Addie, Edward P. Barsh. (2007). *A New Impact Erosion Testing Setup Through Coriolis Approach*, GIW Industries Inc., Grovetown, GA 30813, USA.
16. Desale G.R., Gandhi B.K., Jain S.C. (2007). *Slurry Erosion Of Ductile Materials Under Normal Impact Condition*, Department of Mechanical & Industrial Engineering, Indian Institute of Technology, Roorkee 247667, India.
17. Kumar S. Santhosh, Hiremathb S. Somashekhar. (2016). *Global Colloquium in Recent Advancement and Effectual Researches in Engineering, Science and Technology A Review on Abrasive Flow Machining (AFM)*, Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai- 600036, Tamil Nadu, India.
18. Bremerstein T., Potthoff A., Michaelis A., Schmiedel C., Uhlmann E., Blug B., Amann T. (2015). *Wear Of Abrasive Media And Its Effect On Abrasive Flow Machining Results*, Germany.
19. Wang A-C., Chenga K.-C., Chenb K.-Y., Linc Y.-C.. (2017). *A Study On The Abrasive Gels And The Application Of Abrasive Flow Machining In Complex-Hole Polishing*, 19th CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining, Bilbao, Spain.
20. Sankara M. R., Jainb V. K., P. Rajurkarc K. (2018). *Nano-finishing Studies using Elastically Dominant Polymers Blend Abrasive Flow Finishing Medium*, 19th CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining, Bilbao, Spain.
21. Cáracha J., Hloch S., Hlaváčekb P., Gombárc M., Klichováb D., Botkoa F., Mital'a D., Lehockáa D. (2016). *Hydro-Abrasive Disintegration of Alloy Monel K-500 – The Influence of Technological And Abrasive Factors on The Surface Quality*, International Conferenceon Manufacturing Engineering and Materials, ICMEM 2016, Nový Smokovec, Slovakia.
22. Duval-Chaneac M.S., Han S., Claudin C., Salvatore F., Bajolet J., Rech J. (2018). *Precision Engineering, Experimental Study On Finishing Of Internal Laser Melting (SLM) Surface With Abrasive Flow Machining (AFM)* PII: S0141-6359(17)30446-4.
23. Kaya, H. (2014). *Petrol Sahalarındaki Karakteristik Atık Suların Ç1040 Karbon Çelik Malzeme Yüzeyine Korozyon Etkilerinin Elektrokimyasal Metotlarla Araştırılması*, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 48-49.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mustafa Hayri İNCİRKUŞ
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 09.06.1982, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : +90 533 676 71 85
 e-mail : mayrincir@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Makine Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2000 - 2006
Lise	Kırıkkale Süleyman Demirel Süper Lisesi	1996 - 2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Tavukçuluk Araştırma Enst. Müd.	Bak. Onr. Sorm.
2013-2014	Ademsan Makina	Proje Müdürü
2011-2012	Bülbüloğlu Vinç	Proje Mühendisi
2011-2011	Termikel A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
2010-2011	Ademsan Makine	Proje Mühendisi
2009-2010	Karba Otomotiv	Proje Mühendisi
2007-2009	Palme Makine	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar, Telefon, Sinema



GAZİ GELECEKTİR