



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANMIŞ 6061 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TAKIM AŞINMASI ÜZERİNE ETKİSİ**

BERAT SERHAT BEKTAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. GÜRCAN SAMTAŞ**

DÜZCE, 2021

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANMIŞ 6061 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ
FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TAKIM AŞINMASI ÜZERİNE ETKİSİ

Berat Serhat Bektaş tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. HAKAN GÜRÜN

Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Turgay KIVAK

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 08/01/2021

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

08 Ocak 2021

Berat Serhat BEKTAŞ

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenim hayatım boyunca, bilgilerini ve tecrübelerini sabırla bana aktarmaya çalışan, her konuyu en ince ayrıntısına kadar düşünüp planlayan ve çalışmamın başarı ile sonuçlanması için elinden geleni yapan danışman hocam Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ' a en içten duygularıyla minnet ve şükranlarımı sunar, teşekkürü bir borç bilirim.

Yapmış olduğum tezin farklı aşamalarında, Düzce Üniversitesi Makine İmalat Mühendisliği Bölümü'ndeki saygıdeğer hocalarıma vermiş oldukları destekler için teşekkür ederim.

İlk iş günümünden, bugüne, ferdi olmaktan mutluluk duyduğum ve iş yoğunluğuna rağmen göstermiş oldukları iyi niyet ve anlayışları için; May Metal ailesine şükranlarımı sunarım. Son olarak, hayatım boyunca desteğini her zaman yanımda hissettiğim, sevgili aileme çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2019.06.06.910 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

8 Ocak 2021

Berat Serhat BEKTAŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL VE METOD	7
2.1. DENEYSEL KURULUM VE MALZEME SEÇİMİ	7
2.2. KRİYOJENİK ISIL İŞLEM	10
2.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ, AŞINMA VE SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ.....	10
2.3.1. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü	10
2.3.2. Aşınma Ölçümleri	10
2.3.3. Sıcaklık Ölçümleri.....	10
3. DENEYSEL SONUÇLAR	12
3.1. NORMAL MALZEME, NORMAL KESİCİ UÇLARLA YÜRÜTÜLEN DENEYLER.....	12
3.2. NORMAL MALZEME, KRİYOJENİK İŞLEM GÖRMÜŞ KESİCİ UÇLARLA YÜRÜTÜLEN DENEYLER	18
3.3. KRİYOJENİK İŞLEM GÖRMÜŞ MALZEME, NORMAL KESİCİ UÇLARLA YÜRÜTÜLEN DENEYLER	23
3.4. KRİYOJENİK İŞLEM GÖRMÜŞ MALZEME, KRİYOJENİK İŞLEM GÖRMÜŞ KESİCİ UÇLARLA YÜRÜTÜLEN DENEYLER.....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1. KRİYOJENİK ISIL İŞLEMİN MALZEME ÜZERİNE ETKİSİ	33
4.2. KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ, TAKIM AŞINMASI VE SICAKLIK ÜZERİNE ETKİLERİNİN İKİ BOYUTLU GRAFİKLERLE İNCELENMESİ	34
4.2.1. Normal Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde İki	

Boyutlu Grafiklerin İncelenmesi	34
4.2.2. Normal Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde İki Boyutlu Grafiklerin İncelenmesi	36
4.2.3. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde İki Boyutlu Grafiklerin İncelenmesi	38
4.2.4. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde İki Boyutlu Grafiklerin İncelenmesi.....	40
4.3. DENEYSEL SONUÇLARIN VARYANS ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	42
4.3.1. Normal Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Anova Kullanılarak Veri Analizi	42
4.3.2. Normal Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Anova Kullanılarak Veri Analizi.....	44
4.3.3. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Anova Kullanılarak Veri Analizi.....	45
4.3.4. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Anova Kullanılarak Veri Analizi	46
4.4. KESME PARAMETRELERİNİN PÜRÜZLÜLÜĞE ETKİSİ	47
4.4.1. Normal Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	47
4.4.2. Normal Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	49
4.4.3. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	50
4.4.4. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....	51
4.5. KESME PARAMETRELERİNİN AŞINMAYA ETKİSİ.....	54
4.5.1. Normal Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Aşınmaya Etkisi.....	54
4.5.2. Normal Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Aşınmaya Etkisi	55
4.5.3. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Aşınmaya Etkisi	56

4.5.4. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Aşınmaya Etkisi.....	58
4.6. KESME PARAMETRELERİNİN SICAKLIĞA ETKİSİ	59
4.6.1. Normal Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Sıcaklığa Etkisi	59
4.6.2. Normal Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Sıcaklığa Etkisi.....	62
4.6.3. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Sıcaklığa Etkisi.....	63
4.6.4. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Sıcaklığa Etkisi	64
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
6. KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Delta Seiki CNC freze tezgahı.....	7
Şekil 2.2. Kullanılan takım tutucu ve kesici uçların detayları.	8
Şekil 3.1. Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.	13
Şekil 3.2. Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde termal görüntüler ve sıcaklık değerleri.	15
Şekil 3.3. Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde aşınma görüntüleri.	17
Şekil 3.4. Normal malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.	19
Şekil 3.5. Normal malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde termal görüntüler ve sıcaklık değerleri.	20
Şekil 3.6. Normal malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde aşınma görüntüleri.	22
Şekil 3.7. Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.	24
Şekil 3.8. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde termal görüntüler ve sıcaklık değerleri.	25
Şekil 3.9. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde aşınma görüntüleri.	27
Şekil 3.10. Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.	29
Şekil 3.11. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde termal görüntüler ve sıcaklık değerleri.	30
Şekil 3.12. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde aşınma görüntüleri.	32
Şekil 4.1. Normal malzemeden alınan SEM görüntüsü.	33
Şekil 4.2. Kriyojenik işlem görmüş malzemeden alınan SEM görüntüsü.	33
Şekil 4.3. Kesme hızlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.	35
Şekil 4.4. İlerleme oranlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.	36
Şekil 4.5. Kesici uçların etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.	36
Şekil 4.6. Kesme hızlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.	37
Şekil 4.7. İlerleme oranlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.	37
Şekil 4.8. Kesici uçların etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.	38
Şekil 4.9. Kesme hızlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.	39
Şekil 4.10. İlerleme oranlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınması c) Sıcaklık.	39

Şekil 4.11. Kesici uçların etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.	40
Şekil 4.12. Kesme hızlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.....	41
Şekil 4.13. İlerleme oranlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.....	41
Şekil 4.14. Kesici uçların etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.	42
Şekil 4.15. Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu yüzey pürüzlülüğü grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.....	48
Şekil 4.16. Normal malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu yüzey pürüzlülüğü grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.....	50
Şekil 4.17. Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu yüzey pürüzlülüğü grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.....	51
Şekil 4.18. Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu yüzey pürüzlülüğü grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.....	53
Şekil 4.19. Normal malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu aşınma grafikler a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.....	55
Şekil 4.20. Normal malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu aşınma grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.....	56
Şekil 4.21. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu aşınma grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.....	57
Şekil 4.22. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu aşınma grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.....	59
Şekil 4.23. Normal malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu sıcaklık grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.....	61
Şekil 4.24. Normal malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu sıcaklık grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.....	62
Şekil 4.25. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu sıcaklık grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.....	63
Şekil 4.26. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu sıcaklık grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.....	64

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Deneylerde kullanılan tezgahın teknik özellikleri.	7
Çizelge 2.2. 6061 T651 alüminyum alaşımına ait kimyasal bileşimi.	8
Çizelge 2.3. 6061 T651 alüminyum alaşımına ait mekanik özellikler.	8
Çizelge 2.4. 6061 T651 alüminyum alaşımına ait ısı özellikler.	8
Çizelge 2.5. Kesme parametreleri ve seviyeler.	9
Çizelge 2.6. Deneysel kurulum.	9
Çizelge 3.1. Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülük, aşınma ve sıcaklık değerleri.	12
Çizelge 3.2. Termal görüntülerden alınan minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri.	16
Çizelge 3.3. Normal malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülük, aşınma ve sıcaklık değerleri.	18
Çizelge 3.4. Termal görüntülerden alınan maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri.	21
Çizelge 3.5. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülük, aşınma ve sıcaklık değerleri.	23
Çizelge 3.6. Termal görüntülerden alınan maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri.	26
Çizelge 3.7. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülük, aşınma ve sıcaklık değerleri.	28
Çizelge 3.8. Termal görüntülerden alınan maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri.	31
Çizelge 4.1. Sertlik ölçüm değerleri.	34
Çizelge 4.2. Normal malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için ANOVA sonuçları.	43
Çizelge 4.3. Normal malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için ANOVA sonuçları.	44
Çizelge 4.4. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için ANOVA sonuçları.	45
Çizelge 4.5. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için ANOVA sonuçları.	46

KISALTMALAR

AA	Alüminyum alaşımı
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
AlTiN	Alüminyum titanyum nitrür
RPM	Dakikadaki devir sayısı
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
CNC	İşleme merkezi
Ku	Kesici uç
CVD	Kimyasal buhar biriktirme
Nm	NANO
SiO ₂	Silikon dioksit
SiC	Silisyum karbür
SEM	Tarama elektron mikroskobu
RSM	Tepki yüzey metodu
TiAlN	Titanyum alüminyum nitrür
TiB ₂	Titanyum diborür
TiCN	Titanyum karbonitrür
TiN	Titanyum nitrür
ANOVA	Varyans analizi
HRV	Vickers sertlik değeri

SİMGELER

Al	Alüminyum
Cu	Bakır
Zn	Çinko
Hz	Frekans (Sıklık)
f	İlerleme oranı (mm/diş)
V	Kesme hızı (m/dak)
Mg	Magnezyum
m/dak	Metre/dakika
μm	Mikron
mm	Milimetre
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
T	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
Wf	Yan yüzey aşınması (mm)
Ra	Yüzey pürüzlülüğü (μm)

ÖZET

KRİYOJENİK İŞLEM UYGULANMIŞ 6061 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TAKIM AŞINMASI ÜZERİNE ETKİSİ

Berat Serhat BEKTAŞ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ

Ocak 2021, 72 sayfa

Günümüz endüstrisinde demir ve çelikten sonra en çok alüminyum ve alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. 6061 alüminyumun özellikle savunma sanayisinde kullanılması yanı sıra, uçak sanayi, gemi inşaat sektörü, askeri köprüler, uzay uygulamaları gibi ağır sanayilerde kullanımı oldukça fazladır. Bu çalışmada 80x80x30 mm ebatlarında alüminyum 6061-T651 alaşımına yüzey frezeleme işlemi uygulanmıştır. Çalışmada ayrıca malzemeye ve kesici takımlara kriyojenik işlem uygulanmıştır. Deneyler normal malzeme/normal takım, normal malzeme/kriyojenik takım, kriyojenik malzeme/normal takım, kriyojenik malzeme/kriyojenik takımlar için her bir eşlemede 27 deney olmak üzere toplam 108 deney yapılmıştır. Deneysel tasarım için tam faktöriyel tasarım kullanılmış, kesme parametreleri olarak üç farklı kaplamalı kesici takım (Al_2O_3 -TiCN-TiN, TiAlN-NANO ve AlTiN-ÇOK KATMANLI), üç farklı kesme hızı (250,350,450 m/dak) ve üç farklı ilerleme (0,15, 0,30, 0,45 mm/diş) kullanılmıştır. Deneylerde kesme derinliği 0,5 mm olarak sabit tutulmuştur. Yürütülen her bir deney sonrası işlenen yüzeyin başından ve sonundan yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Ayrıca kesici takımlarda oluşan takım aşınması optik mikroskop ile incelenmiştir. Deneyler esnasında kesme bölgesinde oluşan ısılar da termal kamera ile gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlar varyans analizi ve üç boyutlu grafiklerle yorumlanmıştır. Kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması için en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Termal kamerayla ölçülen sıcaklıklar incelendiğinde en düşük sıcaklıklar kriyojenik işlem görmüş malzeme ve takımlarla yürütülen deneylerden elde edilmiştir.

Anahtar sözcükler: AA 6061, Kesme sıcaklıkları, Kriyojenik işlem, Takım aşınması, Yüzey pürüzlülüğü.

ABSTRACT

THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS AND TOOL WEAR IN THE MILLING OF 6061 ALUMINUM ALLOY PERFORMED WITH THE CRYOGENIC PROCESS

Berat Serhat BEKTAŞ
Düzce University Science Institute
Department of Manufacturing Engineering
Master Thesis
Advisor: Associate Professor Dr. Gürcan SAMTAŞ
January 2021, 72 pages

Aluminium and its alloys are the most commonly used materials after iron and steel in industry today. The alloy referred to as the 6061 aluminum is widely used in the defense industry, as well as in heavy industries such as aircraft manufacture, shipbuilding, construction of military bridges, and space applications. In this study, an aluminum alloy of 6061-T651 with dimensions of 80 x 80 x 30 mm underwent a surface milling process. Furthermore, the cryogenic process was applied to the material and the cutting tools. A total of 108 tests were performed with 27 tests for each of the matchings for normal material with normal tools, normal material with cryogenic tools, cryogenic material with normal tools, and cryogenic material with cryogenic tools. Full factorial design was used for the test design, with cutting parameters defined as cutting tools with 3 different coatings (Al_2O_3 -TiCN-TiN, TiAlN-NANO, and AlTiN multilayer), at 3 different cutting speeds (250, 350, 450 m/min), and with 3 different feed rates (0.15, 0.30, and 0.45 mm/tooth). Shaving dimensions were kept constant at 0.5 mm. Following each test, surface roughness of the treated surface was measured at the beginning and end sections. Furthermore, tool wear in cutting tools was examined under the optical microscope and the temperature in the cutting zones was observed with a thermal camera. Test results were evaluated with a variance analysis, as well as using 2D and 3D graphics. Best test results were obtained with the cutting tools that were treated with the cryogenic process. A review of the temperatures measured with a thermal camera showed that the lowest temperatures were obtained from experiments conducted with the materials and tools that previously underwent cryogenic treatment.

Keywords: AA 6061, Cryogenic treatment, Cutting temperatures, Surface roughness, Tool wear.

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ile birlikte alüminyum alaşımları günümüzde, yüksek dayanım ve ağırlık oranı, iyi korozyon ve yorulma direnci, tekrar kullanılabilme ve yüksek ilerleme oranları nedeniyle havacılık sanayisi, otomotiv ve plastik enjeksiyon kalıplarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1], [2]. Alüminyumun iyi olan birçok özelliklerinin yanında döküm ve mekanik özellikleri zayıftır. Bu özelliklerin iyileştirilebilmesi için bu malzemelere genellikle alaşım katılmaktadır. Mühendislik malzemelerinin işlenebilirliği takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü gibi parametreler göz önüne alınınca işleme süreçlerine uyumluluğu anlamına gelmektedir. Özellikle yüzey pürüzlülüğü ürünün kalitesine önemli bir rol oynar ve işleme doğruluğunun değerlendirilmesinde büyük öneme sahip bir parametredir [3], [4]. Dolayısıyla, işleme operasyonlarında yüzey pürüzlülüğünün tahmini ve optimizasyonu geçmiş yıllarda birçok araştırmacının odaklandığı çalışma olmuştur [5], [6]. Kaliteli yüzey elde etmek, ticari ve teknolojik açıdan bakıldığında birçok nedenden dolayı önem taşımaktadır [7]. Yüzey pürüzlülüğü; içerisinde kesme hızı, ilerleme oranı, kesici takım geometrisi, iş parçasına uygulanan ısıl işlemler ve kesici takıma uygulanan ısıl işlemler gibi birçok parametre tarafından etkilenmektedir [8], [9]. Kesici takımlar, malzeme yüzeyinden talaş kaldırdığı sırada aşınmaya maruz kalır. Bu aşınmalar; kesici takımın ömrü bitinceye kadar devam eder. Talaşlı imalat esnasında kullanılan değiştirilebilir uçların kesici kenarı, istenilen belirli bir yüzey dokusunu oluşturmuyorsa aşınmış demektir. Takma uçların değiştirilmesi için çok büyük bir aşınma oluşması gerekli değildir. İşlenen yüzey dokusunda bir sınırlama yoksa daha fazla aşınmaya göz yumulabilir. Yan yüzey (yanak) aşınması, malzeme yüzeyinden talaş kaldıran kenarın yan yüzeylerinde açığa çıkan ve genelde abrasiv aşınma mekanizmasından dolayı oluşan bir aşınma şeklidir. Yanak aşınması ne kadar artarsa o kadar kötü bir yüzey dokusu elde edilir ve işleme hassasiyetinde sapmaya sebep olur. Dolayısıyla kesici kenar şekil değiştirdiğinde sürtünme artar ve kesme bölgesinde sıcaklık artmasına neden olur. Aşınma nedeniyle kesici ucun değiştirilmesi için tavsiye edilen aşınma ölçümleri kaplamalı uçlarda 0,15 ila 0,5 mm arasındadır. Talaş kaldırma işlemi için uygulanan kuvvetlerden açığa çıkan mekanik enerjinin neredeyse tamamı ısıya dönüşür. Bu nedenle kesme bölgesinde oluşan ısı ve sıcaklığın, talaş kaldırma işlemlerinde etkili bir parametre olduğu

bilinmektedir. Bu parametrenin, kesici takım ömrü ve işlenen malzemenin kalitesinde önemi büyüktür. Oluşabilecek aşırı sıcaklıklar, öncelikle yetersiz takım ömrüne ve istenen yüksek kesme hızlarına ulaşılamaması sebep olur [10].

Alüminyum-Çinko (Al-Zn) alaşımları olarak bilinen alüminyum 7000 serileri yaygın bir şekilde havacılık endüstrisinde kullanılmaktadır [11]. Yaşla sertleşebilen 7000 serisi Alüminyum-Çinko-Magnezyum-Bakır (Al-Zn-Mg-Cu) alaşımlarının, üstün ağırlık-mukavemet oranına, iyi korozyon ve aşınma direncine sahip olduğu bilinmektedir [12]. 7000 serisi alüminyum alaşımlarına daha çok yüzey frezeleme işlemi uygulanmaktadır. İşlenebilirlik, bir veya daha fazla kriter tarafından değerlendirilebilir. Bu kriterler; takım ömrü, talaş derinliği, kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, takım aşınması, sıcaklık vb. olarak sıralanabilir [13]. Vakondios vd. 7075-T6 alüminyum alaşımına cep frezeleme işlemi uygulayarak frezeleme stratejilerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır [14]. Günümüzde mikro yapılara tıp, biyoteknoloji, uzay sanayi, optics ve elektronik gibi birçok endüstride rağbet edilmektedir. Bu tip mikro malzemelere, mikro mekanik işleme metotları uygulanarak hassas işleme yapılabilir. 7075 Alüminyum alaşımı (AA) kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada Kuram ve Özçelik radüslü parmak freze takımları kullanarak mikro frezeleme işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Frezeleme stratejileri için oluşturulan bütün modeller istatistiksel olarak geçerliliği denetlenerek deneysel olarak doğrulanmıştır. Bütün muhtemel frezeleme stratejilerinin göz önüne alındığı çalışmada, her bir durumdaki yüzey pürüzlülüğü için matematiksel modeller elde edilmiştir [15]. Escolona ve Moropoulos Al7075-T7351 alaşımına kare kesici uçlarla yüzey frezeleme işlemi uygulamışlar, yüzey pürüzlülüğünün tahmini için bir geometrik model sunmuşlardır [16]. Rao ve Shin karbit ve elmas kesiciler kullanarak alüminyum 7075-T6 malzemesine yüzey frezeleme işlemi uygulamışlardır. Deneylerde elde edilen sonuçlar talaş biçimi ve kesme kuvvetleri yönünden analiz edilmiştir [17]. Rwangwong vd. alüminyum 7075 alaşımının karbit takımlar kullanarak yüzey frezeleme işleminde kesme parametrelerinin etkisini inceleyerek takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Çalışmalarında yüzey pürüzlülüğüne etkileyen parametreler olarak, ilerleme oranı ve hızı olduğu görülmüştür [18]. Rubio vd. 90 mm çapında Al 7050 çubukları kullanarak yaptıkları tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde işleme boyunun etkisini araştırmışlardır [19]. Bork vd. jatropha bitkisel temelli çözülebilir kesme yağını, soğutma sıvısı olarak alüminyum 7050-T7451 alaşımının frezeleme işleminde

kullanmışlardır. Burada amaç kesme yağının performansının değerlendirilmesidir. Çalışmalarında dört dişe sahip 50 mm çapında parmak freze ve 355 mm x 320 mm x 100 mm ebatlarında malzeme numuneleri kullanmışlardır [20].

Diğer taraftan 6000 serisi alüminyum alaşımları genelde, magnezyum, silikon ve bakır esaslı olup, bina materyallerinden otomobil mobilyalarına kadar üretim süreçlerinin hemen hemen hepsinde kullanılabilir. Ayrıca bu alaşımların işlenmesi kolaydır ve çökertme sertleşmesi uygulanabilir [11], [21]. Örneğin 6063 ve 6082 alüminyum alaşımları, ağırlık tasarrufu için araçlarda kullanılan ünlü yapısal alaşımlardır [22]. Campatelli ve Scippa alüminyum 6082-T4 alaşımının frezelenmesinde kesme kuvvetleri katsayılarının tahmininde bulunmuşlardır [23]. 6061 ve 6A02 alüminyum alaşımları da ağırlık tasarrufu için çok önemli yapı malzemeleridir ve özellikle 6A02 alüminyum alaşımı havacılık alanında yaygın olarak kullanılmaktadır [24]. Dinim vd. Titanyum alüminyum nitrür (TiAlN) kaplamalı kesici takımlarla Al 6061-T6'ı i parmak frezeleme işlemi uygulayarak en ideal yüzey kalitesi için uygun kesme parametrelerini araştırmışlardır [25]. Yüzey pürüzlülüğünü istatistiksel olarak inceleyen Kadirgama vd., tepki yüzey metodu (RSM) kullanarak AA 6061-T6' nın işlenmesinde, minimum yüzey pürüzlülüğü için matematiksel tahmin modeli elde etmişlerdir [26]. Rahmati vd. yaptıkları çalışmada alüminyum 6061-T6 alaşımının frezelenmesinde NANO soğutma sıvısı kullanarak işleme yüzeyinin şekil bilgisini incelemişlerdir. Çalışmalarında, 40 mm x 40 mm x 100 mm ölçülerinde alüminyum numuneleri ve iki oluklu 10 mm çapa sahip karbit kesici takım kullanmışlardır [27]. Benzer bir çalışmada Sayuti vd. alüminyum 6061-T6 alaşım için silisyum dioksit (SiO₂) NANO soğutma sıvısı kullanarak frezelenmiş yüzeylerin şekil bilgisini incelemişlerdir. Çalışmalarında, 40 mm x 40 mm x 100 mm ölçülerinde alüminyum numuneleri ve iki oluklu 10 mm çapa sahip karbit kesici takım kullanmışlardır [28]. Lou vd. uç frezeleme işlemini bir işleme merkezi (CNC) kullanılarak gerçekleştirildiği numunenin (Al-6061) yüzeyindeki yüzey pürüzlülüğünü tahmin edebilen birçok regresyon modeli geliştirmişlerdir [29]. Tsai vd. yaptıkları çalışmada, alüminyum 6060-T6 alaşımının frezelenmesinde kesme kuvvetlerini ve kesme parametrelerini incelemişlerdir [30].

5000 serisi alüminyumlar yapısında magnezyum alaşımı içermektedir. Basınçlı kaplar, binalar, nakliye ve otomotiv sektörleri dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda kullanılan, kolaylıkla kaynak yapılabilen bir malzemedir. Yapısında %3,0' dan daha fazla magnezyum içeren bu alaşımlar, stres nedeniyle oluşan korozyon çatlamlarına

karşı hassas oldukları için yüksek sıcaklık gerektiren hizmetler için uygun değildir [31]. Campanelli vd. 5754 alüminyum alaşımının lazer frezeleme ile kesme performansını incelemişlerdir. Çalışmalarında, erime derinliği, malzeme ayrılma oranı ve yüzey pürüzlülüğünün eş zamanlı istatistiksel analizini gerçekleştirmişlerdir. Yürütülen bütün deneylerde dalga boyu 1034 NANO olan lazer kullanılmıştır [32]. Pınar vd. yaptıkları çalışmada, 5083-H36 alüminyum alaşımının cep frezeleme işleminde klasik soğutma ile vorteks tip soğutma tipini birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Kesici takım olarak 0,8 mm burun yarıçapına sahip kaplamasız sinterlenmiş karbür uç kullanmışlardır [33]. Özel bir işlenebilirlik parametreleri seçilmiş olmasa da, 5083 AA, tornalama, frezeleme, delme ve taşlama gibi klasik uygulamalarda iyi işlenebilirlik özelliklerine sahiptir [34].

4000 serisi alüminyumlar ana alaşım bileşeni olarak silikon (%3-49) içerir, ancak bakır veya magnezyum içermez. Termal genleşme silikon ile önemli ölçüde azaltılır. Sıfırın altındaki sıcaklıklarda genleşme katsayıları da saf alüminyumdan %10-20 daha düşüktür. Silikonun aşırı sertliği sebebiyle bu alaşımların işlenebilirliği zayıftır. Bu nedenle kesici takımlarda çok kısa sürede aşınmalar meydana gelmektedir. Bu alaşımlar iyi döküm kalitesine sahip olduğundan; dökümler, kaynak telleri, mimari uygulamalar, inşaat panelleri ve ekstrüzyon elemanları gibi uygulamalarda sık olarak kullanılmaktadır [35]. Diğer taraftan Martini ve Morri yaptıkları çalışmada, EN AB – 43300 alüminyum alaşımına fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) metotlarla kaplanmış karbit takımlarla yüzey frezeleme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında kaplama olarak titanyum diborür (TiB_2) ve CVD elmas kaplama kullanılmıştır [36].

3000 serisi alüminyum alaşımlarının birincil alaşım elementi manganezdır. Manganez alaşımı iyi korozyon direnci ve makul seviyede mukavemet sağlar. Bu seri tencere ve tava gibi ev tipi mutfak ekipmanlarından enerji santrallerinde kullanılan ısı eşanjörlerine kadar çok çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. 3000 serisi alüminyum alaşımları, yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir ve iyi şekillendirilebilme özelliğine sahiptir [37].

2000 serisi alüminyum alaşımları, havacılık ve uzay sektörleri de dahil olmak üzere birçok endüstride kullanılmaktadır. Bu alaşımlar geniş bir sıcaklık aralığında, yüksek performans ve mükemmel mukavemetleri ile bilinirler. Bu serideki bazı alaşımlar stres korozyon çatlaklarına karşı duyarlı oldukları için ark kaynağı ile kaynak yapılamaz. 2000 serisi alüminyum alaşımlarında bakır ana alaşım elementi olarak kullanılır [38]. Dikshit vd. eğrisel uçlu parmak freze kullanarak Alüminyum 2014 – T6 malzemesini

frezeleyerek kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Deneysel modelleme olarak yanıt yüzey metodunu kullanmışlardır [39].

1000 serisi alüminyum alaşımları, minimum %99 alüminyum içeriğine sahip tüm ticari alüminyum alaşımlarının en saf halini temsil eder. Bu serideki alüminyum alaşımları, esasen iyi korozyon direncine sahip olduğu için basınçlı kaplar ve kimyasal tanklar gibi uygulamalarda iyi performans gösterir. Ayrıca mükemmel işlenebilirliğe sahiptirler. Bu alüminyum alaşımları, elektrik ve kimyasal uygulamalar da dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır [40]. Rajkumar vd. %5 silisyum karbür (SiC) partikül takviyeli alüminyum kompozitini araştırmışlardır. Kesme hızının birincil etkileyen parametre olduğunu bildirmişlerdir; ilerleme oranı ve kesme derinliği, takım aşınmasına etki eden ikincil parametreleri olduğunu söylemişlerdir [41].

Kriyojenik işlem, geleneksel ısıt işlemlerin bir uzantısı olup, belirleyici ve kontrol edilebilir düşük sıcaklıklarda malzemenin mikroskobik yapısında değişiklik yapan böylece özelliklerini geliştiren bir süreçtir [42]. Bu işlem, geleneksel demir ve çelikler [43], [44], titanyum malzemeler [45], magnezyum [46] ve bakır alaşımları için [47] kullanılabilir. Kriyojenik ve geleneksel ısıt işlemler yüksek sağlamlıkta araç parçaları üretmek için kullanılmaktadır. Zhang vd. yaptıkları çalışmada, alüminyum 3104 alaşımına kriyojenik ısıt işlem uygulamışlardır. Bu çalışmalarında, malzemenin homojenliğini sağlayarak çekmede %29, eğmede %41 ve uzamada %11 oranında iyileştirme sağlamışlardır [42]. Sotirov vd. Alüminyum 5182 alaşımına kriyojenik ısıt işlem uygulayarak malzemenin yapısını iyileştirmişlerdir [48]. Pavan vd. kriyojenik işlemin alüminyum alaşımlarının mekaniksel ve mikro yapılarına etkisini araştırmışlardır. 2 saat ve 48 saat için yaptıkları uygulamalar sonunda numunelere darbe testi uygulamışlardır. Deneylerinde bütün alüminyum alaşımları için sertlik değeri için %5' lik bir artış gözlemlenmiştir. Özellikle 2xxx ve 8xxx serisi alüminyum malzemelerde, çekme gerilmesinde kayda değer bir artış gözlemlenmiştir [49]. Bouzada vd. havacılıkta kullanılan alüminyum alaşımının mikro yapısı üzerine derin kriyojenik ısıt işlem uygulamışlardır. Uygulama sonunda alüminyum malzemelerin mikro yapısı incelenmiştir [50].

Bu çalışmada 6061 alüminyum alaşımına ve kesici takımlara kriyojenik işlem uygulanmış ve malzemenin yüzey frezelenmesi esnasında kesici uç, kesme hızı ve ilerleme oranı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyler ayrıca kriyojenik işlem görmemiş

malzemeler ve kesici takımlar için de tekrarlanmış, elde edilen veriler her iki malzeme için karşılaştırılmış ve en düşük yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme sıcaklığı incelenmiştir. Deneyler varyans analizi (ANOVA) ve üç boyutlu grafiklerle yorumlanmıştır. Literatür taraması sonucunda, 6061 alüminyum alaşımlarına kriyojenik işlem uygulanmış ve kesme sıcaklıkları incelenmiş bir çalışmaya rastlanmadığı için bu çalışma özgün bir nitelik taşımaktadır.



2. MATERYAL VE METOD

2.1. DENEYSEL KURULUM VE MALZEME SEÇİMİ

Frezeleme deneyleri, maksimum 10000 dakikadaki devir sayısı (RPM) olan DELTA SEİKİ marka 1050A model 3 eksenli dikey freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın görseli Şekil 2.1’ de teknik özellikleri ise Çizelge 2.1’ de verilmiştir.



Şekil 2.1. Delta Seiki CNC freze tezgahı.

Çizelge 2.1. Deneylerde kullanılan tezgahın teknik özellikleri.

Tezgâh gücü	12 kW
Maksimum devir sayısı	10000 dev/dak
İşletim sistemi	Fanuc Oimate MC
İşletme Basıncı	5,5 bar
Ölçü Hassasiyeti	0,001 mm

ISO 8688-1 standardına göre frezelenecek olan deney numunesi için tavsiye edilen ölçüler, kullanılan takım tutucu çapının en az 3 katı kadar boy ve 0,6 katı kadar kesme genişliği değerlerinde olmasıdır [51]. Bu durum dikkate alınarak frezeleme deneylerinde 80x80x30 mm ebatlarında 6061 T651 alaşımlı alüminyum malzeme kullanılmıştır.

Malzemeye ait teknik bilgiler Çizelge 2.2, Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4’ te verilmiştir.

Çizelge 2.2. 6061 T651 alüminyum alaşımına ait kimyasal bileşimi.

Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Diğer
95,8-98,6	0,04 - 0,35	0,15 - 0,40	0,7	0,8 - 0,12	0,15	0,4 – 0,8	0,15	0,25	0,15

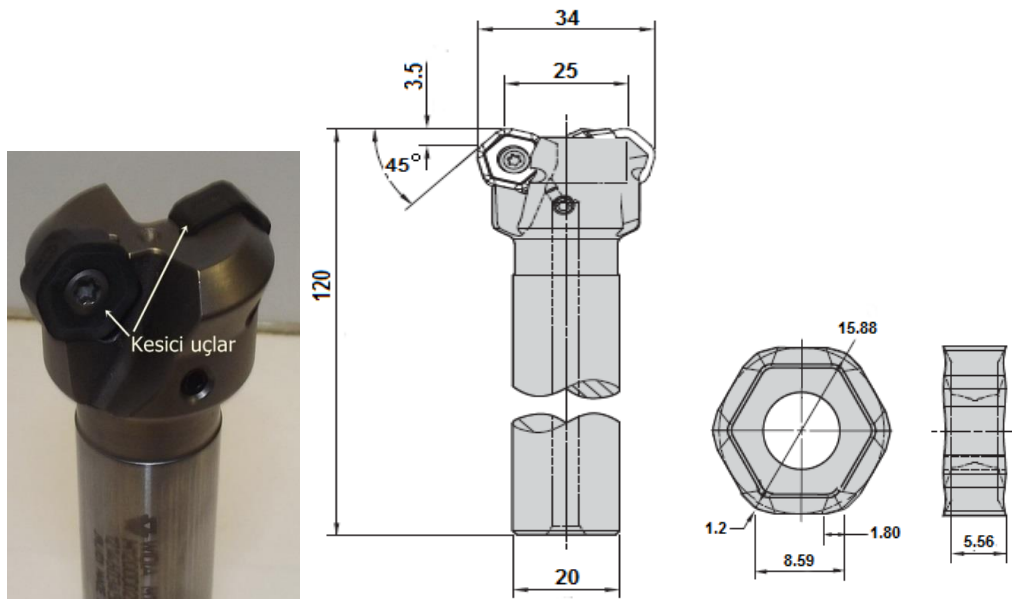
Çizelge 2.3. 6061 T651 alüminyum alaşımına ait mekanik özellikler.

Yoğunluk	Sertlik Brinell	Çekme Dayanımı	Elastik modülü	Yorulma Dayanımı	Kopma uzaması
2,70 g/cm ³	95	310 Mpa	68,9 GPa	965 Mpa	%17

Çizelge 2.4. 6061 T651 alüminyum alaşımına ait ısı özellikler.

Tavlama Sıcaklığı	Ergime Noktası	Yaşlandırma Sıcaklığı	Çözelti sıcaklığı
413 °C	582-651,7 °C	160 °C	529 °C

Frezeleme deneylerinde WIDIA (Germany) kesici takım firmasına ait WK15CM kodlu CVD tekniği ile Al₂O₃-TiCN-TiN kaplanmış, TN6520 kodlu PVD tekniği ile TiAlN kaplanmış NANO ve WP25PM kodlu PVD tekniği ile alüminyum titanyum nitrür (AlTiN) kaplanmış 12 kesme kenarına sahip kesici uçlar kullanılmıştır. Takım tutucu olarak WIDIA firmasına ait iki ağızlı Victory M1200 mini takım tutucu kullanılmıştır. Takım tutucu ve kesici ucun teknik resimleri ile görseli Şekil 2.2’ de verilmiştir.



Şekil 2.2. Kullanılan takım tutucu ve kesici uçların detayları.

Bu çalışmada, kesme derinliği 0,50 mm olarak sabit tutulmuş ve kuru işleme şartlarında deneyler yürütülmüştür. Deneyler için belirlenen kesme parametreleri ve bu parametrelerin seviyelerine ait bilgiler ise Çizelge 2.5’ te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Kesme parametreleri ve seviyeler.

Kesme Parametreleri	Seviyeler		
	1	2	3
Kesici uç (Ku)	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	TiAlN-NANO	AlTiN-ÇOK KATMANLI
Kesme hızı (V, m/dak)	250	350	450
İlerleme oranı (f, mm/diş)	0,15	0,30	0,45

Bu çalışmada, deneysel tasarım için tam faktöriyel tasarım (3³) kullanılmıştır ve her bir seçenek için 27 adet deney olmak üzere toplamda 108 adet deney yapılmıştır. Deneysel kurulumu ait bilgiler Çizelge 2.6’ da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Deneysel kurulum.

Deney no	Seviyeler			Kesme parametreleri		
	Kesici uçlar	Kesme hızı	İlerleme oranı	Ku	V	f
	(Ku)	(V m/dak)	(f mm/diş)		m/dak	mm/diş
1	3	3	3	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,45
2	3	1	3	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,45
3	3	2	2	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,3
4	2	1	2	TiAlN-NANO	250	0,3
5	3	3	2	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,3
6	1	3	1	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,15
7	3	1	2	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,3
8	2	2	2	TiAlN-NANO	350	0,3
9	3	2	3	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,45
10	1	1	1	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,15
11	2	3	2	TiAlN-NANO	450	0,3
12	3	2	1	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,15
13	2	1	3	TiAlN-NANO	250	0,45
14	1	2	1	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,15
15	3	3	1	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,15
16	2	3	1	TiAlN-NANO	450	0,15
17	1	1	3	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,45
18	1	3	3	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,45
19	2	2	1	TiAlN-NANO	350	0,15
20	1	1	2	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,3
21	3	1	1	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,15
22	1	2	3	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,45
23	1	3	2	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,3
24	2	3	3	TiAlN-NANO	450	0,45
25	2	2	3	TiAlN-NANO	350	0,45
26	1	2	2	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,3
27	2	1	1	TiAlN-NANO	250	0,15

2.2. KRİYOJENİK ISIL İŞLEM

Kriyojenik işlem -80°C civarındaki düşük sıcaklıklarda uygulanan sıg kriyojenik işlem ve sıvı nitrojen sıcaklığı -196 °C kadar uygulanan derin kriyojenik işlem olarak ikiye ayrılır [52]. Geleneksel ısıt işlemlerle alakası olmayan kriyojenik işlem, ısıt işlemi tamamlamak için yapılan temperleme öncesi uygulanan tamamlayıcı bir işlem niteliğindedir [53]–[55]. Kriyojenik işlem, malzemenin iç yapısındaki kalıntı östeniti martenzite dönüştürerek daha yoğun bir karbür dağılımı sağlar ve malzemeyi daha homojen hale getirir. Bunun sonucunda malzemenin aşınmaya karşı olan direnci artar [52], [56].

Bu çalışmada 6061 T651 alüminyum alaşımının bir kısmına ve kesici uçların bir kısmına aynı anda 24 saat -175 °C’de kriyojenik işlem uygulanmıştır. Bu işlem süresi için literatür dikkate alınmıştır [57]. Ayrıca kriyojenik işlem sonrası kesici uçlara 150 °C’de 2 saat temperleme işlemi yapılmıştır.

2.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ, AŞINMA VE SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ

2.3.1. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

Pürüzlülük ölçümleri, Marsurf PS10 yüzey pürüzlülük cihazı ile yapılmıştır. Ölçümler, frezelenen yüzeyin başlangıç ve bitiş noktasından 4 mm’ lik örnekleme uzunluğunda parça kenarına dik olacak şekilde iki ölçüm alınmıştır. Bu çalışmada bu iki ölçümün ortalaması kullanılmıştır.

2.3.2. Aşınma Ölçümleri

Kesici takım yan yüzey aşınma görüntüleri için Dino-Lite Pro2 AMT413ZT model, 240 kat büyütme özelliğine sahip polarize mikroskop kullanılmıştır. Görüntüler 50 kat büyültme ile alınmış, ölçümler Dino Capture 2.0 programı ile elde edilmiştir.

2.3.3. Sıcaklık Ölçümleri

Her bir deney için kesici takım talaş kaldırmaya başladıktan 3 sn sonra kesme bölgesinden Fluke TiS20 model termal kamera ile sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Kullanılan termal kamera -20 °C ile 350 °C arası ölçüm yapan, dedektör çözünürlüğü 120x90, görüş alanı 35,7° x 26,8° ve 9 Hz kare hızına sahiptir. Kullanılan malzemenin

emissivity değeri 0,95 olarak alınmıştır. Farklı alınan emissivity değerlerinde, ölçülen sıcaklıklar değişecektir.



3. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada aynı kesme parametreleri ile normal malzeme ve normal kesici takımlar kullanılarak 27 deney, normal malzeme ve kriyojenik takım kullanılarak 27 deney, kriyojenik malzeme ve normal takım kullanılarak 27 deney ve kriyojenik malzeme ve kriyojenik takım kullanılarak 27 deney olarak toplamda 108 deney yapılmıştır.

3.1. NORMAL MALZEME, NORMAL KESİCİ UÇLARLA YÜRÜTÜLEN DENEYLER

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık değerleri Çizelge 3.1’ de gösterilmiştir. 27 deney yapıldıktan sonra elde edilen en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0,23 mikron (μm), aşınmanın en düşük değeri 0,11 milimetre (mm) ve sıcaklığın en düşük değeri 29,6 santigrat derece ($^{\circ}\text{C}$) olarak hesaplanmıştır.

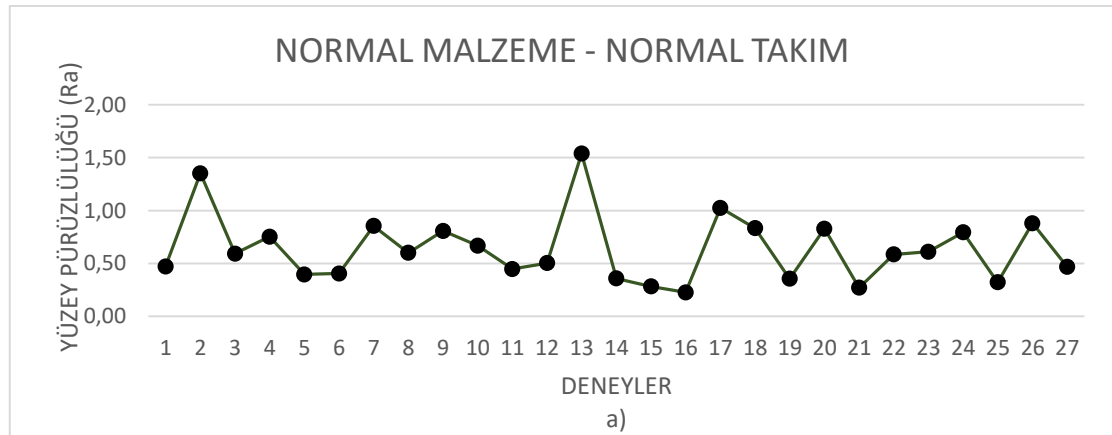
Çizelge 3.1. Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülük, aşınma ve sıcaklık değerleri.

Deney No	Kontrol Faktörleri			Yüzey Pürüzlülüğü			Aşınma	Sıcaklık
	Kesici uçlar (Ku)	Kesme Hızı (V, m/dak)	İlerleme Oranı (f, mm/diş)	Ra ₁ (μm)	Ra ₂ (μm)	Ra _{ort} (μm)	W _f (mm)	T ($^{\circ}\text{C}$)
1	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,45	0,308	0,635	0,47	0,110	33,9
2	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,45	1,575	1,129	1,35	0,196	29,6
3	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,30	0,744	0,441	0,59	0,196	32,1
4	TiAlN-NANO	250	0,30	0,915	0,589	0,75	0,147	33,4
5	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,30	0,300	0,492	0,40	0,159	32,3
6	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,15	0,373	0,435	0,40	0,134	34,3
7	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,30	0,898	0,810	0,85	0,122	32,0
8	TiAlN-NANO	350	0,30	0,469	0,732	0,60	0,183	33,9
9	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,45	1,11	0,503	0,81	0,111	33,6
10	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,15	0,669	0,666	0,67	0,134	34,4
11	TiAlN-NANO	450	0,30	0,437	0,458	0,45	0,135	33,4
12	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,15	0,484	0,523	0,50	0,183	33,8
13	TiAlN-NANO	250	0,45	1,702	1,375	1,54	0,159	31,8
14	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,15	0,341	0,375	0,36	0,208	33,6
15	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,15	0,275	0,29	0,28	0,159	34,6
16	TiAlN-NANO	450	0,15	0,23	0,221	0,23	0,11	33,1

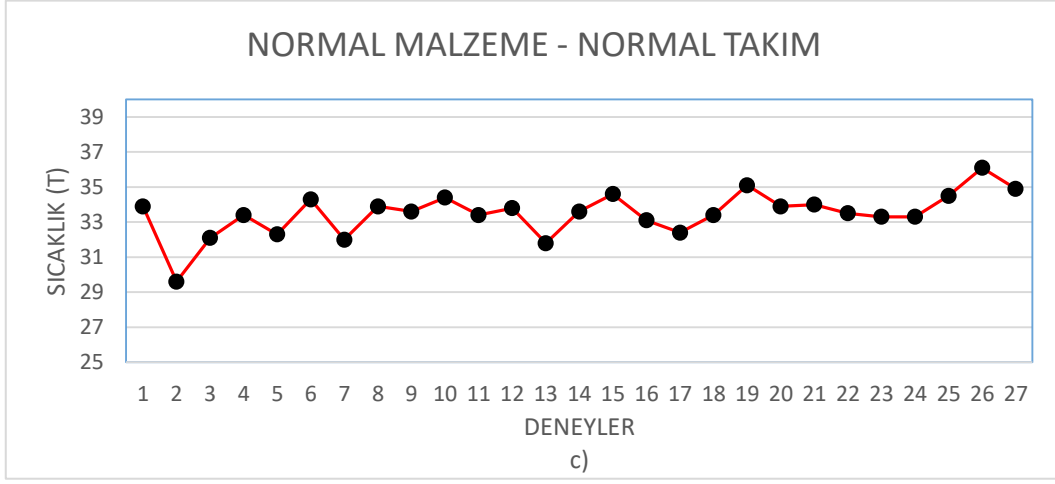
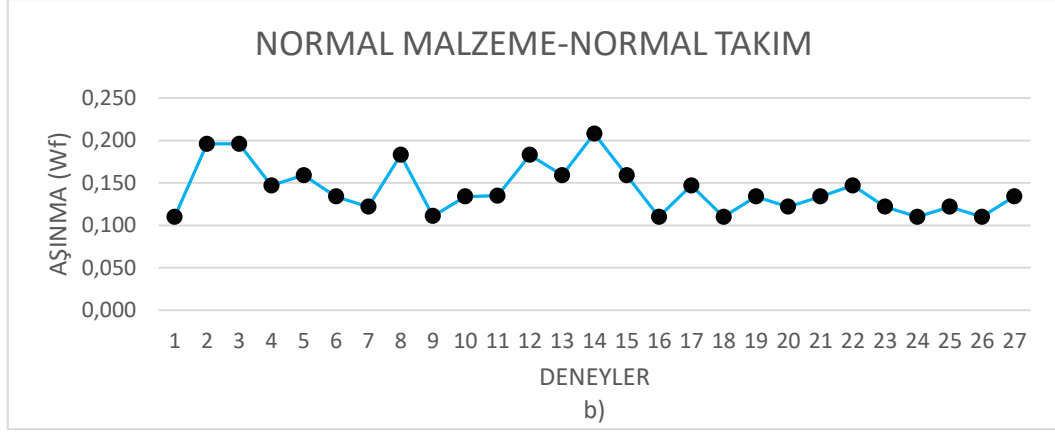
Çizelge 3.1. (devam) Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülük, aşınma ve sıcaklık değerleri.

17	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,45	1,379	0,672	1,03	0,147	32,4
18	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,45	0,779	0,886	0,83	0,11	33,4
19	TiAlN-NANO	350	0,15	0,377	0,331	0,35	0,134	35,1
20	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,30	0,756	0,901	0,83	0,122	33,9
21	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,15	0,297	0,242	0,27	0,134	34,0
22	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,45	0,474	0,695	0,58	0,147	33,5
23	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,30	0,482	0,740	0,61	0,122	33,3
24	TiAlN-NANO	450	0,45	1,079	0,508	0,79	0,11	33,3
25	TiAlN-NANO	350	0,45	0,346	0,296	0,32	0,122	34,5
26	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,30	1,150	0,609	0,88	0,11	36,1
27	TiAlN-NANO	250	0,15	0,445	0,491	0,47	0,134	34,9

Deneyisel çalışmadan elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık grafikleri Şekil 3.1’ de gösterilmiştir. Şekil 3.1a’ da yüzey pürüzlülük değerleri görülmektedir. En yüksek pürüzlülük değeri 13. deneyde 1,54 µm, en düşük pürüzlülük değeri ise 16. deneyde 0,23 µm olarak elde edilmiştir. Şekil 3.1b’ de aşınma değerleri görülmektedir. En yüksek aşınma değeri 0,208 mm, en düşük aşınma değeri ise 0,110 mm’dir. Şekil 3.1c’ de ise sıcaklık değerleri görülmektedir. Elde edilen en yüksek sıcaklık değeri 36,1°C iken en düşük sıcaklık değeri de 29,6°C’ dir.

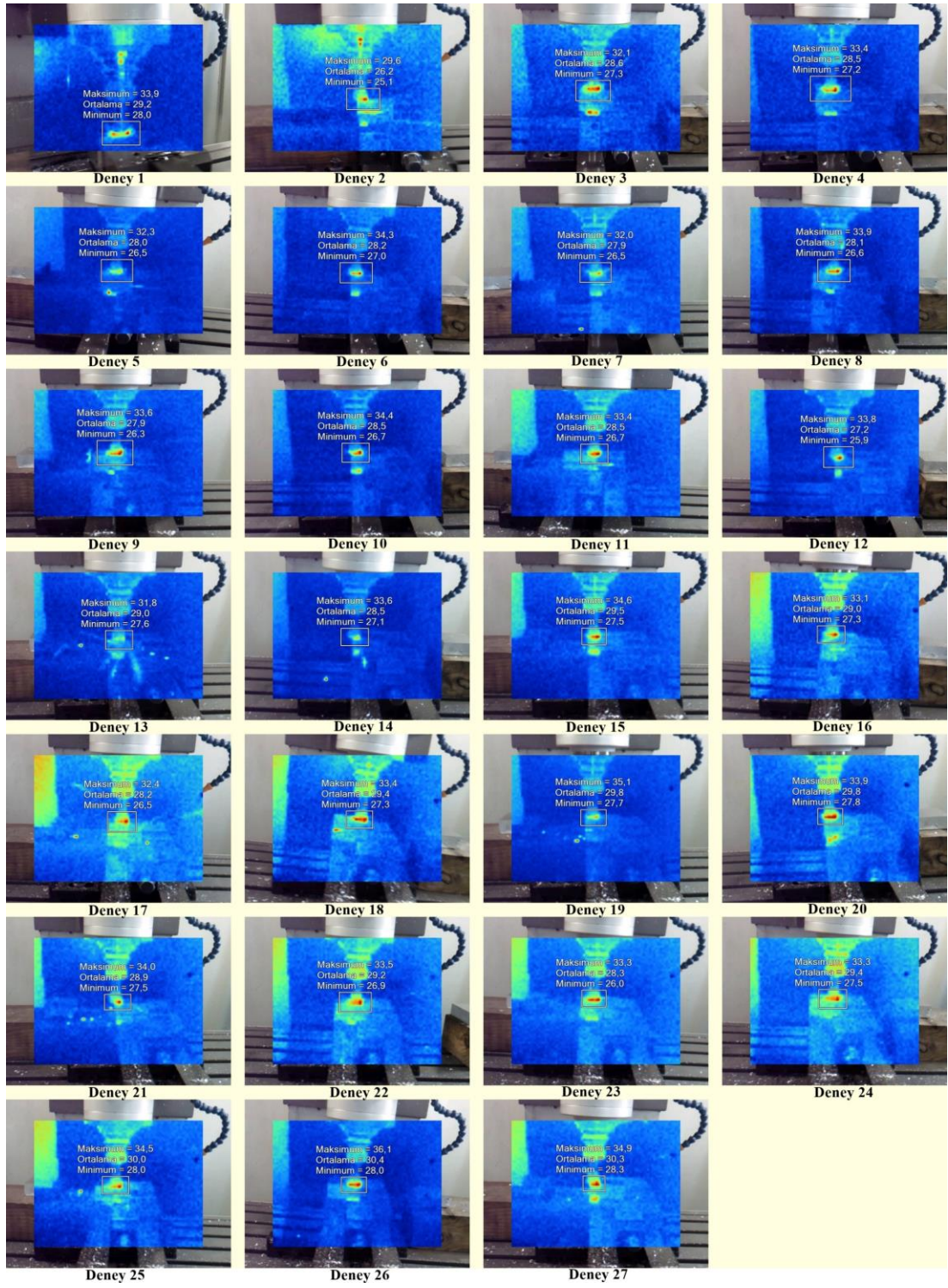


Şekil 3.1. Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.



Şekil 3.1. (devam) Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

Deneyler esnasında alınan termal görüntüler Şekil 3.2’ de görülmektedir. Her bir görüntü deney sayısına göre numaralandırılmıştır. Ölçüm bölgesi olarak kırmızı bölge seçilmiştir. Dikdörtgen içerisine alınarak seçilen bölge içinde kalan alanda minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri gösterilmiştir. En yüksek ortalama sıcaklık değeri Deney 26’ da 30,4°C iken en düşük ortalama sıcaklık değeri ise Deney 2’ de 26,2°C olarak ölçülmüştür.



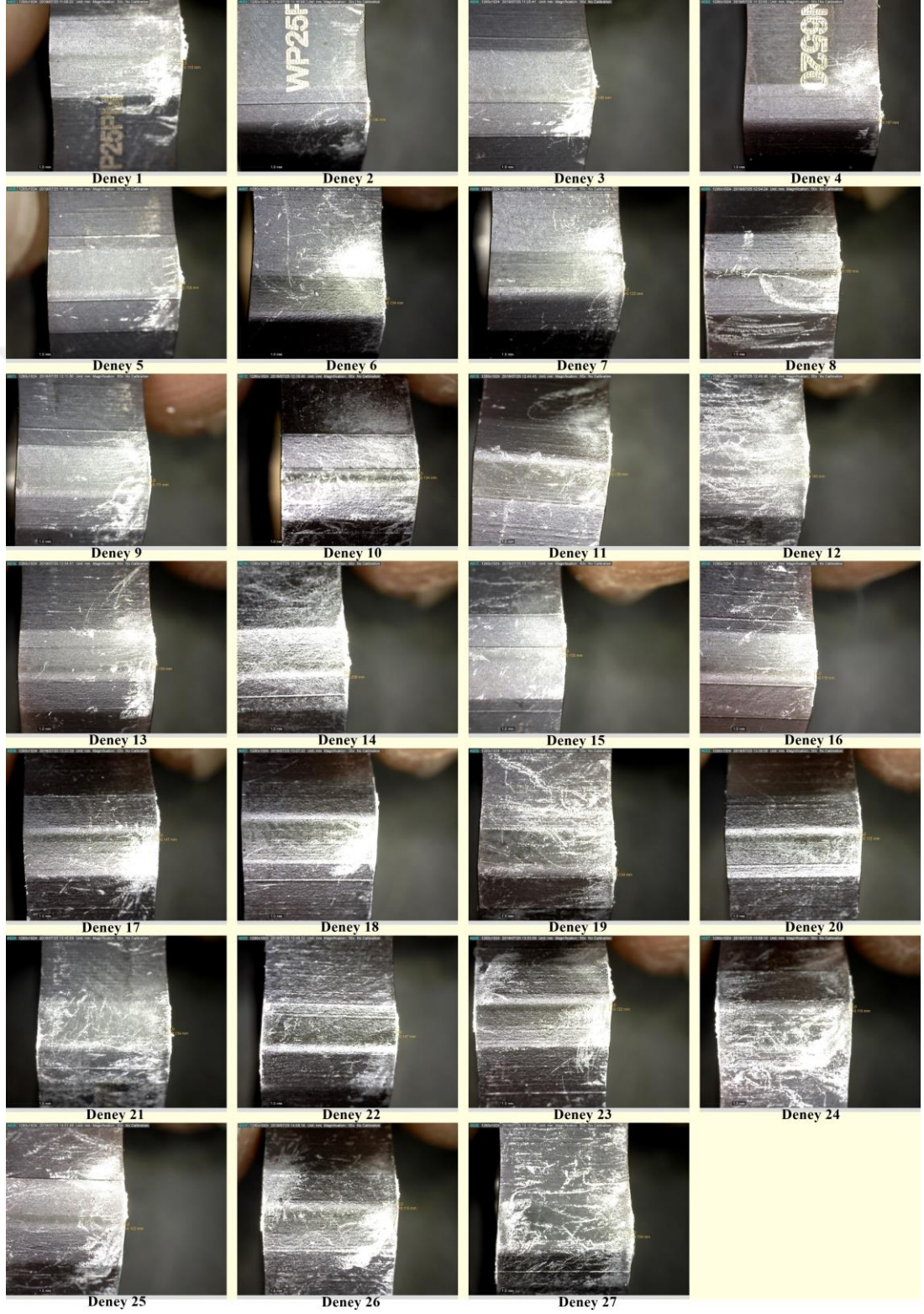
Şekil 3.2. Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde termal görüntüler ve sıcaklık değerleri.

Çizelge 3.2’ de termal görüntülerden alınan maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.2. Termal görüntülerden alınan minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri.

Deney No	Kontrol Faktörleri			Sıcaklık		
	Kesici uçlar (Ku)	Kesme Hızı (V,m/dak)	İlerleme Oranı (f,mm/diş)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	T _{ort} (°C)
1	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,45	28,0	33,9	29,2
2	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,45	25,1	29,6	26,2
3	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,30	27,3	32,1	28,6
4	TiAlN-NANO	250	0,30	27,2	33,4	28,5
5	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,30	26,5	32,3	28,0
6	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,15	27,0	34,3	28,2
7	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,30	26,5	32,0	27,9
8	TiAlN-NANO	350	0,30	26,6	33,9	28,1
9	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,45	26,3	33,6	27,9
10	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,15	26,7	34,4	28,5
11	TiAlN-NANO	450	0,30	26,7	33,4	28,5
12	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,15	25,9	33,8	27,2
13	TiAlN-NANO	250	0,45	27,6	31,8	29,0
14	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,15	27,1	33,6	28,5
15	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,15	27,5	34,6	29,5
16	TiAlN-NANO	450	0,15	27,3	33,1	29,0
17	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,45	26,5	32,4	28,2
18	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,45	27,3	33,4	29,4
19	TiAlN-NANO	350	0,15	27,7	35,1	29,8
20	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,30	27,8	33,9	29,8
21	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,15	27,5	34,0	28,9
22	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,45	26,9	33,5	29,2
23	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,30	26,0	33,3	28,3
24	TiAlN-NANO	450	0,45	27,5	33,3	29,4
25	TiAlN-NANO	350	0,45	28,0	34,5	30,0
26	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,30	28,0	36,1	30,4
27	TiAlN-NANO	250	0,15	28,3	34,9	30,3

Yapılan her deneyden sonra kesici takımlardan alınan aşınma görüntüleri Şekil 3.3' te görülmektedir. Her bir görüntü deney sayısına göre numaralandırılmıştır. En yüksek aşınma değeri 0,208 mm iken en düşük aşınma değeri ise 0,110 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.3. Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde aşınma görüntüleri.

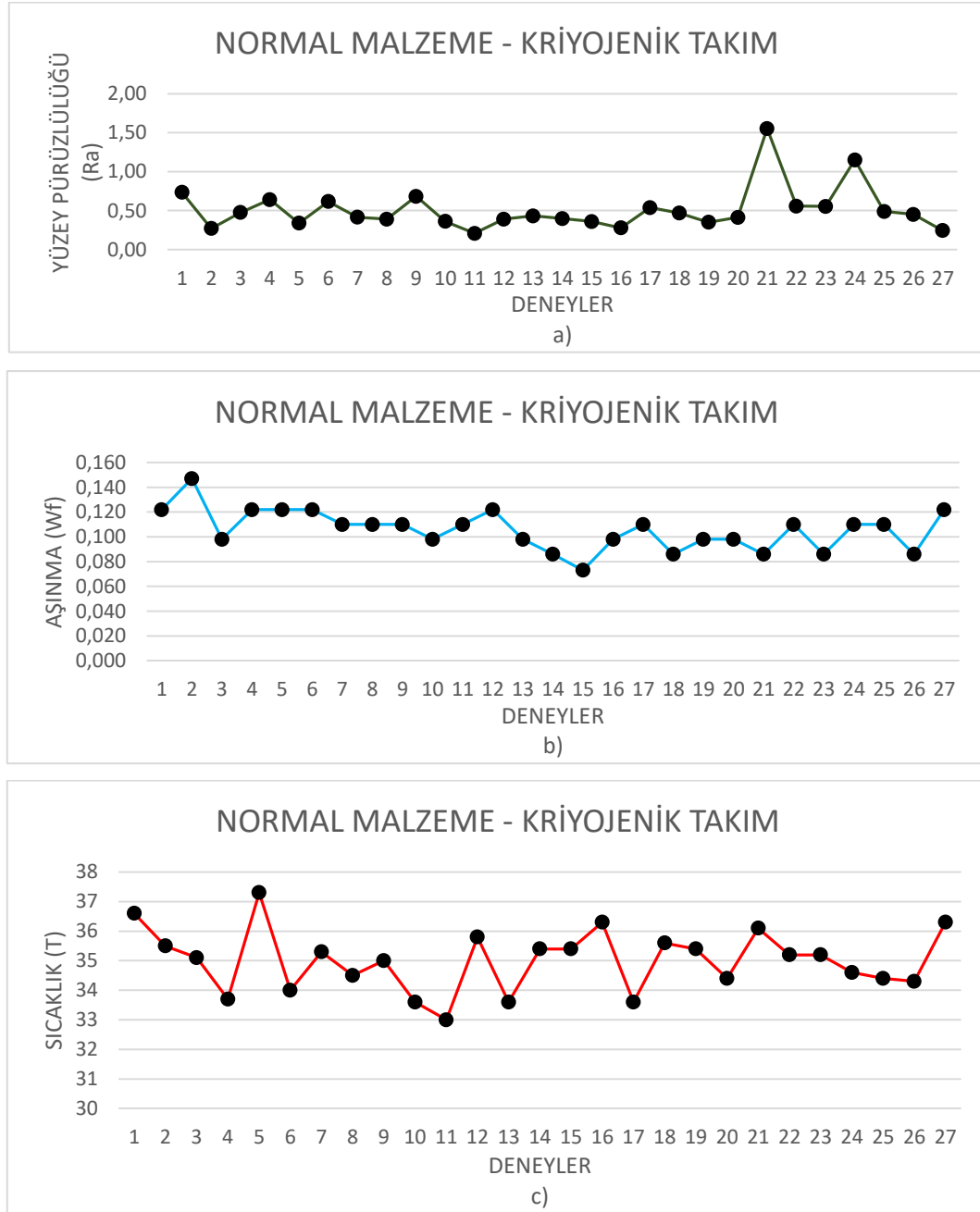
3.2. NORMAL MALZEME, KRİYOJENİK İŞLEM GÖRMÜŞ KESİCİ UÇLARLA YÜRÜTÜLEN DENEYLER

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık değerleri Çizelge 3.3' te gösterilmiştir. 27 deney yapıldıktan sonra alınan en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0,21 μm , aşınmanın en düşük değeri 0,11 mm ve sıcaklığın en düşük değeri 35,01°C olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.3. Normal malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülük, aşınma ve sıcaklık değerleri.

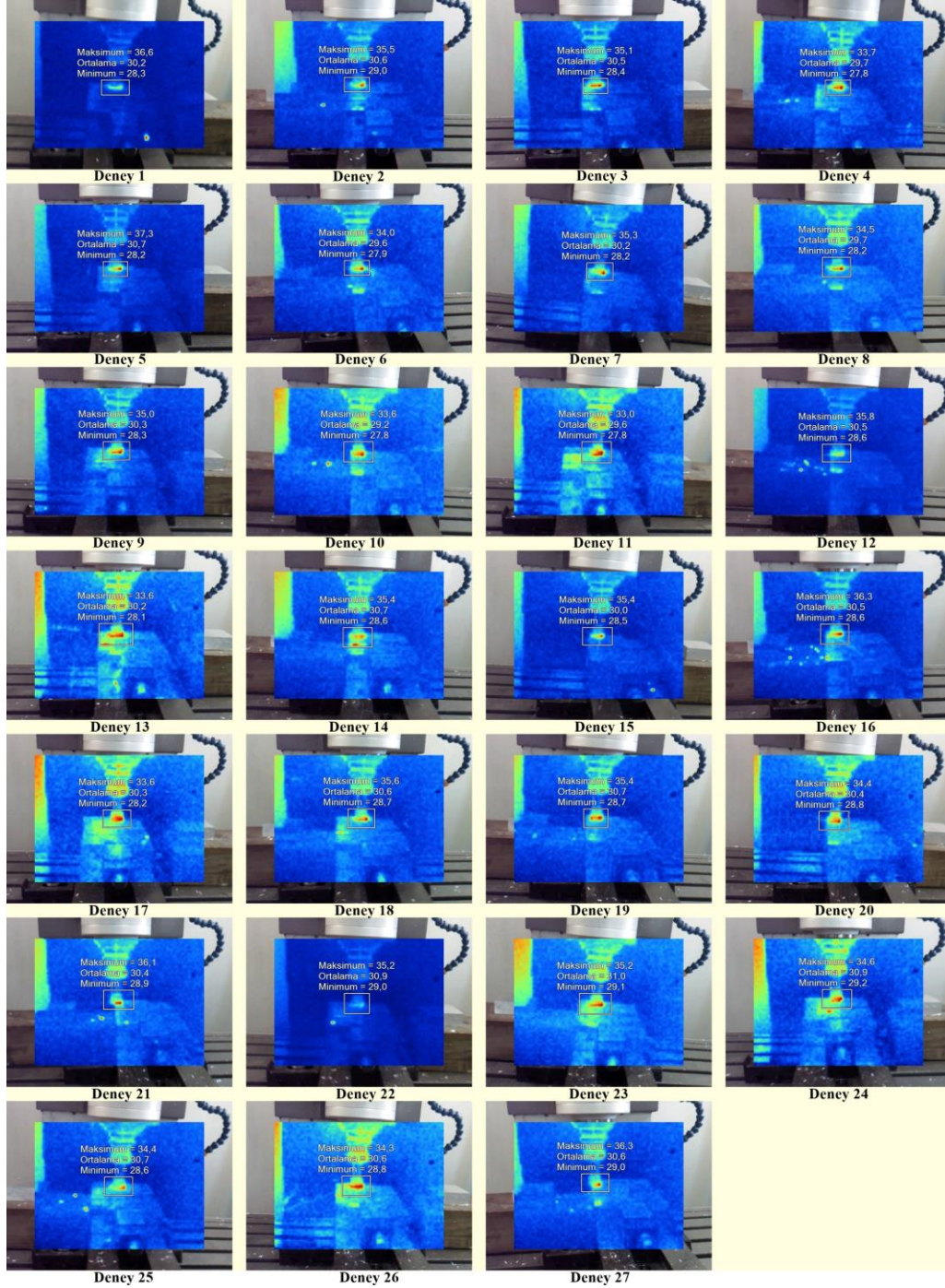
Deney No	Kontrol Faktörleri			Yüzey Pürüzlülüğü			Aşınma	Sıcaklık
	Kesici uçlar (Ku)	Kesme Hızı (V, m/dak)	İlerleme Oranı (f, mm/diş)	Ra1 (μm)	Ra2 (μm)	Raort (μm)	Wf (mm)	T (°C)
1	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,45	0,761	0,706	0,73	0,122	36,6
2	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,45	0,141	0,398	0,27	0,147	35,5
3	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,30	0,425	0,525	0,48	0,098	35,1
4	TiAlN-NANO	250	0,30	0,667	0,613	0,64	0,122	33,7
5	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,30	0,400	0,277	0,34	0,122	37,3
6	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,15	0,867	0,363	0,62	0,122	34,0
7	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,30	0,402	0,426	0,41	0,110	35,3
8	TiAlN-NANO	350	0,30	0,288	0,492	0,39	0,110	34,5
9	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,45	0,697	0,668	0,68	0,110	35,0
10	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,15	0,381	0,341	0,36	0,098	33,6
11	TiAlN-NANO	450	0,30	0,221	0,194	0,21	0,110	33,0
12	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,15	0,389	0,391	0,39	0,122	35,8
13	TiAlN-NANO	250	0,45	0,392	0,470	0,43	0,098	33,6
14	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,15	0,341	0,451	0,40	0,086	35,4
15	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,15	0,332	0,387	0,36	0,073	35,4
16	TiAlN-NANO	450	0,15	0,241	0,313	0,28	0,098	36,3
17	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,45	0,575	0,500	0,54	0,110	33,6
18	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,45	0,400	0,533	0,47	0,086	35,6
19	TiAlN-NANO	350	0,15	0,299	0,398	0,35	0,098	35,4
20	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,30	0,433	0,390	0,41	0,098	34,4
21	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,15	1,555	1,554	1,55	0,086	36,1
22	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,45	0,577	0,537	0,56	0,110	35,2
23	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,30	0,554	0,550	0,55	0,086	35,2
24	TiAlN-NANO	450	0,45	1,104	1,196	1,15	0,110	34,6
25	TiAlN-NANO	350	0,45	0,512	0,463	0,49	0,110	34,4
26	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,30	0,442	0,457	0,45	0,086	34,3
27	TiAlN-NANO	250	0,15	0,221	0,265	0,24	0,122	36,3

Deneyisel çalışmadan elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık grafikleri Şekil 3.4’ te gösterilmiştir. Şekil 3.4a’ da yüzey pürüzlülük değerleri görülmektedir. En yüksek pürüzlülük değeri 21. deneyde 1,55 μm , en düşük pürüzlülük değeri ise 11. deneyde 0,21 μm olarak elde edilmiştir. Şekil 3.4b’ de aşınma değerleri görülmektedir. En yüksek aşınma değeri 0,147 mm, en düşük aşınma değeri ise 0,073 mm’ dir. Şekil 3.4c’ de ise sıcaklık değerleri görülmektedir. Elde edilen en yüksek sıcaklık değeri 37,3°C iken en düşük sıcaklık değeri de 33,0°C’ dir.



Şekil 3.4. Normal malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

Deneyler esnasında alınan termal görüntüler Şekil 3.5’ te görülmektedir. Her bir görüntü deney sayısına göre numaralandırılmıştır. Ölçüm bölgesi olarak kırmızı bölge seçilmiştir. Seçim dikdörtgen içerisinde alınarak belirgin hale getirilmiştir. Ölçüm bölgesinde maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri de belirtilmiştir. En yüksek ortalama sıcaklık değeri Deney 23’ te 31,0°C iken en düşük ortalama sıcaklık değeri ise Deney 10’ da 29,2°C olarak ölçülmüştür.



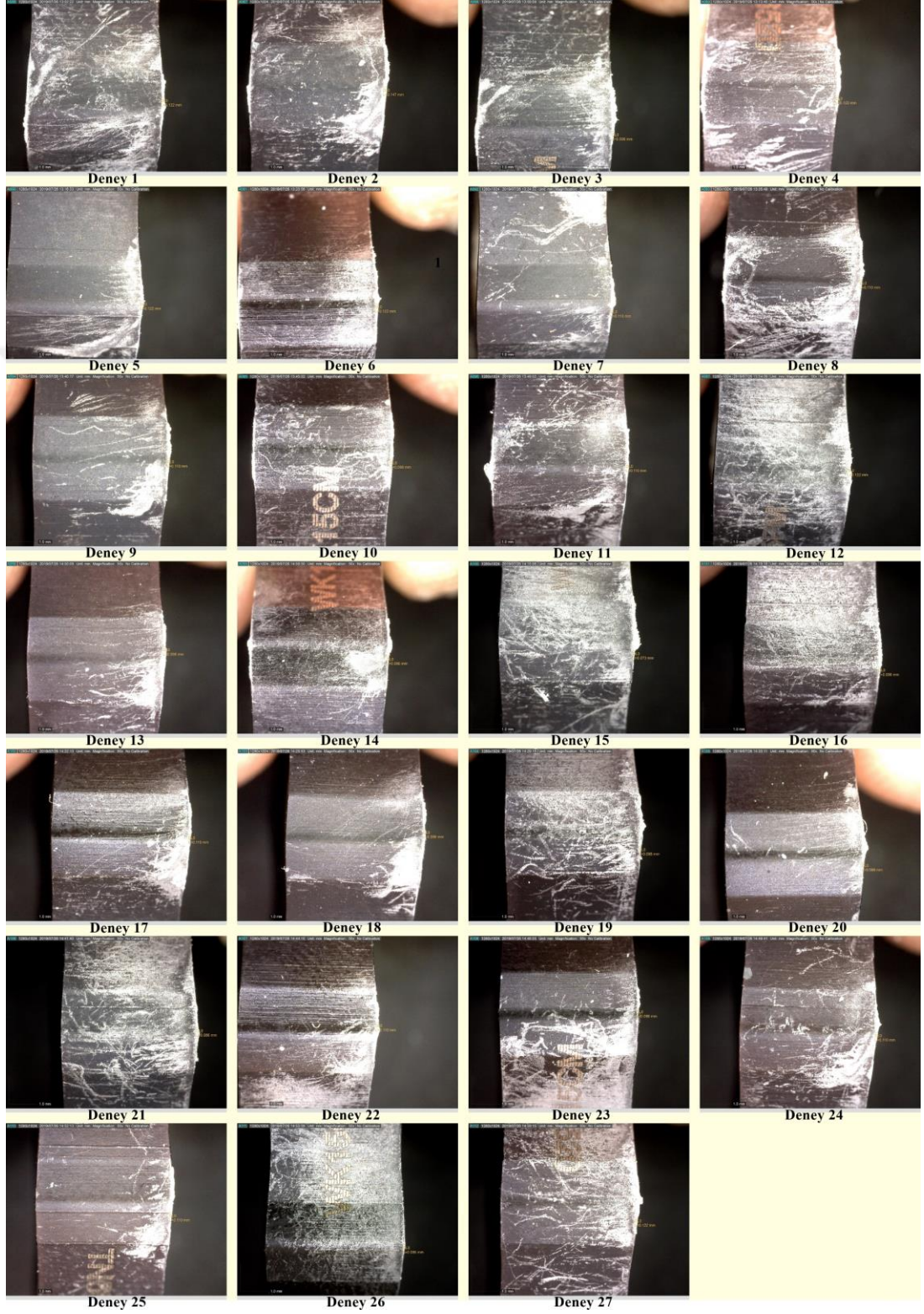
Şekil 3.5. Normal malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde termal görüntüler ve sıcaklık değerleri.

Çizelge 3.4’ te termal görüntülerden alınan maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.4.Termal görüntülerden alınan maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri.

Deney No	Kontrol Faktörleri			Sıcaklık		
	Kesici uçlar (Ku)	Kesme Hızı (V,m/dak)	İlerleme Oranı (f,mm/diş)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	T _{ort} (°C)
1	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,45	28,3	36,6	30,2
2	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,45	29,0	35,5	30,6
3	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,30	28,4	35,1	30,5
4	TiAlN-NANO	250	0,30	27,8	33,7	29,7
5	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,30	28,2	37,3	30,7
6	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,15	27,9	34,0	29,6
7	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,30	28,2	35,3	30,2
8	TiAlN-NANO	350	0,30	28,2	34,5	29,7
9	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,45	28,3	35,0	30,3
10	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,15	27,8	33,6	29,2
11	TiAlN-NANO	450	0,30	27,8	33,0	29,6
12	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,15	28,6	35,8	30,5
13	TiAlN-NANO	250	0,45	28,1	33,6	30,2
14	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,15	28,6	35,4	30,7
15	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,15	28,5	35,4	30,0
16	TiAlN-NANO	450	0,15	28,6	36,3	30,5
17	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,45	28,2	33,6	30,3
18	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,45	28,7	35,6	30,6
19	TiAlN-NANO	350	0,15	28,7	35,4	30,7
20	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,30	28,8	34,4	30,4
21	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,15	28,9	36,1	30,4
22	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,45	29,0	35,2	30,9
23	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,30	29,1	35,2	31,0
24	TiAlN-NANO	450	0,45	29,2	34,6	30,9
25	TiAlN-NANO	350	0,45	28,6	34,4	30,7
26	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,30	28,8	34,3	30,6
27	TiAlN-NANO	250	0,15	29,0	36,3	30,6

Yapılan her deneyden sonra kesici takımlardan alınan aşınma görüntüleri Şekil 3.6' da görülmektedir. Her bir görüntü deney sayısına göre numaralandırılmıştır. En yüksek aşınma değeri 0,147 mm iken en düşük aşınma değeri ise 0,073 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.6. Normal malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde aşınma görüntüleri.

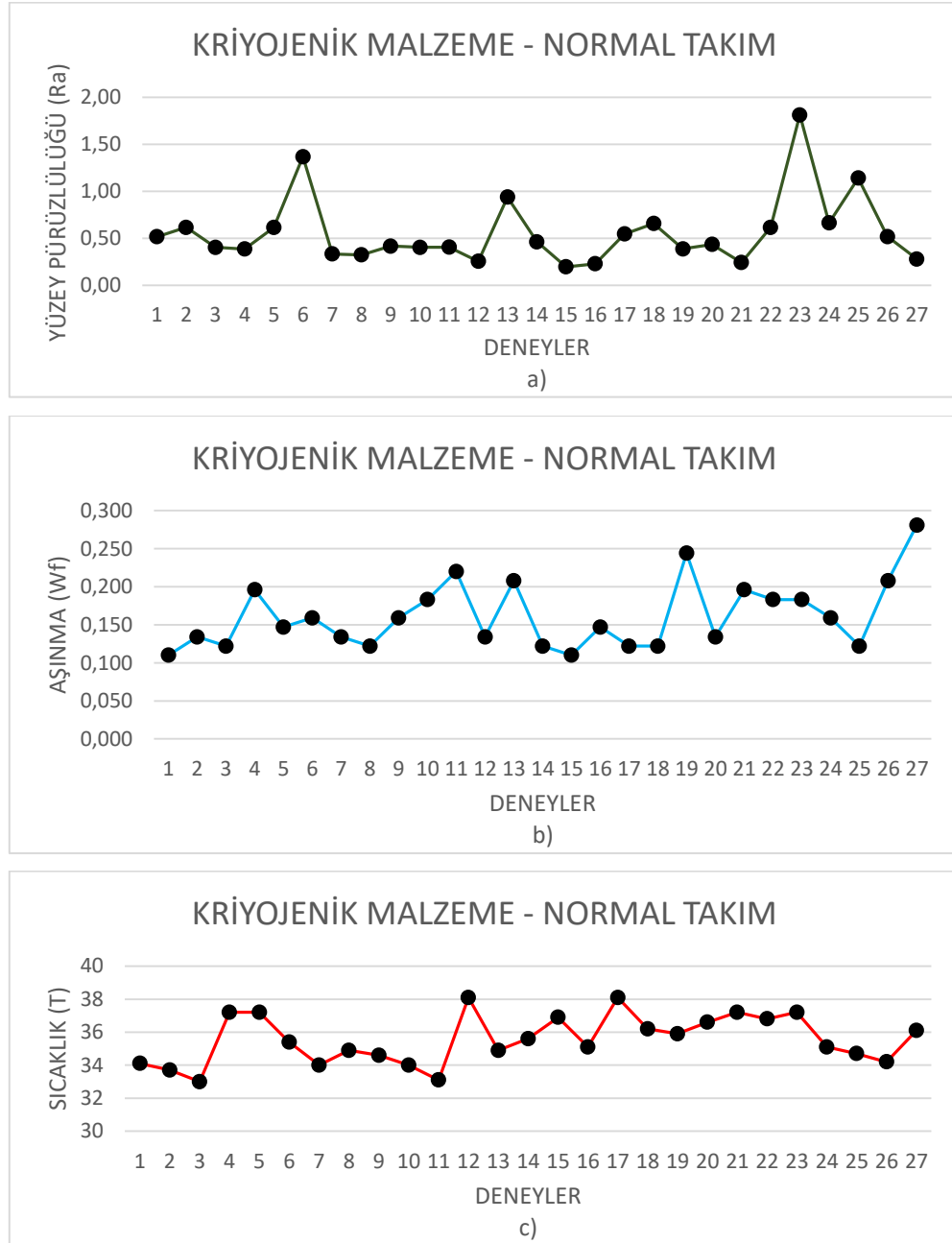
3.3. KRİYOJENİK İŞLEM GÖRMÜŞ MALZEME, NORMAL KESİCİ UÇLARLA YÜRÜTÜLEN DENEYLER

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık değerleri Çizelge 3.5’ te gösterilmiştir. 27 deney yapıldıktan sonra alınan en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0,229 μm , aşınmanın en düşük değeri 0,110 mm ve sıcaklığın en düşük değeri 33,0°C olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.5. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülük, aşınma ve sıcaklık değerleri.

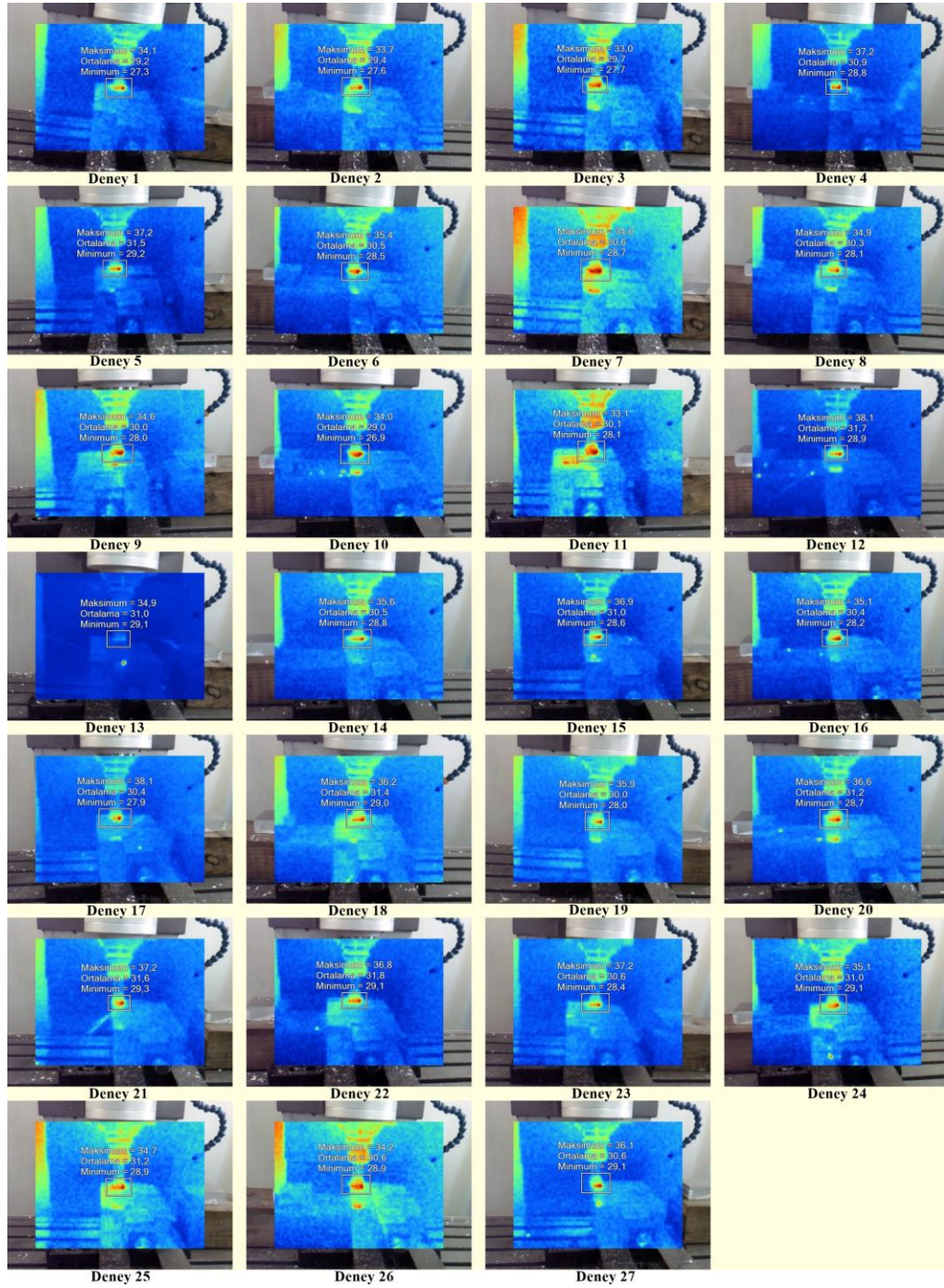
Deney No	Kontrol Faktörleri			Yüzey Pürüzlülüğü			Aşınma	Sıcaklık
	Kesici uçlar (Ku)	Kesme Hızı (V,m/dak)	İlerleme Oranı (f,mm/diş)	Ra1 (μm)	Ra2 (μm)	Raort (μm)	Wf (mm)	T (°C)
1	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,45	0,627	0,406	0,5165	0,110	34,1
2	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,45	0,705	0,528	0,6165	0,134	33,7
3	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,30	0,398	0,410	0,4040	0,122	33,0
4	TiAlN-NANO	250	0,30	0,303	0,470	0,3865	0,196	37,2
5	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,30	0,68	0,548	0,6140	0,147	37,2
6	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,15	1,492	1,246	1,3690	0,159	35,4
7	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,30	0,439	0,228	0,3335	0,134	34,0
8	TiAlN-NANO	350	0,30	0,440	0,208	0,3240	0,122	34,9
9	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,45	0,331	0,502	0,4165	0,159	34,6
10	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,15	0,427	0,380	0,4035	0,183	34,0
11	TiAlN-NANO	450	0,30	0,335	0,477	0,4060	0,220	33,1
12	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,15	0,327	0,183	0,2550	0,134	38,1
13	TiAlN-NANO	250	0,45	0,857	1,021	0,9390	0,208	34,9
14	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,15	0,425	0,502	0,4635	0,122	35,6
15	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,15	0,183	0,208	0,1955	0,110	36,9
16	TiAlN-NANO	450	0,15	0,204	0,255	0,2295	0,147	35,1
17	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,45	0,529	0,564	0,5465	0,122	38,1
18	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,45	0,612	0,703	0,6575	0,122	36,2
19	TiAlN-NANO	350	0,15	0,345	0,429	0,3870	0,244	35,9
20	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,30	0,469	0,402	0,4355	0,134	36,6
21	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,15	0,238	0,247	0,2425	0,196	37,2
22	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,45	0,517	0,715	0,6160	0,183	36,8
23	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,30	1,670	1,957	1,8135	0,183	37,2
24	TiAlN-NANO	450	0,45	0,769	0,559	0,6640	0,159	35,1
25	TiAlN-NANO	350	0,45	1,035	1,248	1,1415	0,122	34,7
26	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,30	0,350	0,688	0,5190	0,208	34,2
27	TiAlN-NANO	250	0,15	0,245	0,314	0,2795	0,281	36,1

Deneyisel çalışmadan elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık grafikleri Şekil 3.7’ de gösterilmiştir. Şekil 3.7a’ da yüzey pürüzlülük değerleri görülmektedir. En yüksek pürüzlülük değeri 23. deneyde 1,81 μm , en düşük pürüzlülük değeri ise 15. deneyde 0,20 μm olarak elde edilmiştir. Şekil 3.7b’ de aşınma değerleri görülmektedir. En yüksek aşınma değeri 0,281 mm, en düşük aşınma değeri ise 0,110 mm’dir. Şekil 3.7c’ de ise sıcaklık değerleri görülmektedir. Elde edilen en yüksek sıcaklık değeri 38,1°C iken en düşük sıcaklık değeri de 33,0°C’ dir.



Şekil 3.7. Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

Deneyler esnasında alınan termal görüntüler Şekil 3.8’ de görülmektedir. Her bir görüntü deney sayısına göre numaralandırılmıştır. Ölçüm bölgesi olarak kırmızı bölge seçilmiştir. Seçim dikdörtgen içerisinde alınarak belirgin hale getirilmiştir. Ölçüm bölgesinde maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri de belirtilmiştir. En yüksek ortalama sıcaklık değeri Deney 22’ de 31,8°C iken en düşük ortalama sıcaklık değeri ise Deney 10’ da 29,0°C olarak ölçülmüştür.



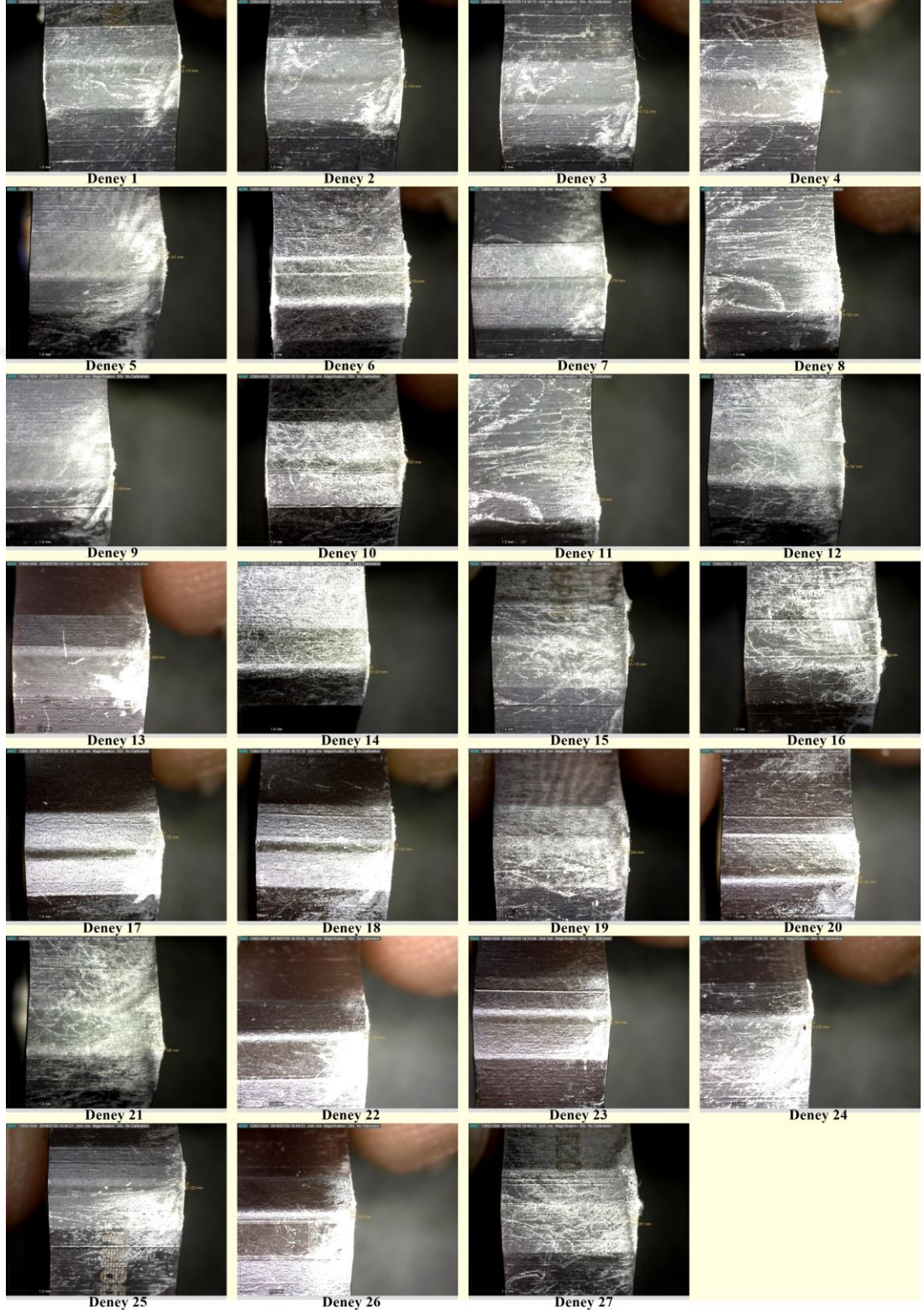
Şekil 3.8. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde termal görüntüler ve sıcaklık değerleri.

Çizelge 3.6’ da termal görüntülerden alınan maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.6. Termal görüntülerden alınan maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri.

Deney No	Kontrol Faktörleri			Sıcaklık		
	Kesici uçlar (Ku)	Kesme Hızı (V,m/dak)	İlerleme Oranı (f,mm/diş)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	T _{ort} (°C)
1	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,45	27,3	34,1	29,2
2	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,45	27,6	33,7	29,4
3	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,30	27,7	33,0	29,7
4	TiAlN-NANO	250	0,30	28,8	37,2	30,9
5	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,30	29,2	37,2	31,5
6	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,15	28,5	35,4	30,5
7	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,30	28,7	34,0	30,6
8	TiAlN-NANO	350	0,30	28,1	34,9	30,3
9	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,45	28,0	34,6	30,0
10	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,15	26,9	34,0	29,0
11	TiAlN-NANO	450	0,30	28,1	33,1	30,1
12	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,15	28,9	38,1	31,7
13	TiAlN-NANO	250	0,45	29,1	34,9	31,0
14	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,15	28,8	35,6	30,5
15	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,15	28,6	36,9	31,0
16	TiAlN-NANO	450	0,15	28,2	35,1	30,4
17	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,45	27,9	38,1	30,4
18	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,45	29,0	36,2	31,4
19	TiAlN-NANO	350	0,15	28,0	35,9	30,0
20	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,30	28,7	36,6	31,2
21	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,15	29,3	37,2	31,6
22	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,45	29,1	36,8	31,8
23	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,30	28,4	37,2	30,6
24	TiAlN-NANO	450	0,45	29,1	35,1	31,0
25	TiAlN-NANO	350	0,45	28,9	34,7	31,2
26	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,30	28,9	34,2	30,6
27	TiAlN-NANO	250	0,15	29,1	36,1	30,6

Yapılan her deneyden sonra kesici takımlardan alınan aşınma görüntüleri Şekil 3.9’ da görülmektedir. Her bir görüntü deney sayısına göre numaralandırılmıştır. En yüksek aşınma değeri 0,281 mm iken en düşük aşınma değeri ise 0,110 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.9. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde aşınma görüntüleri.

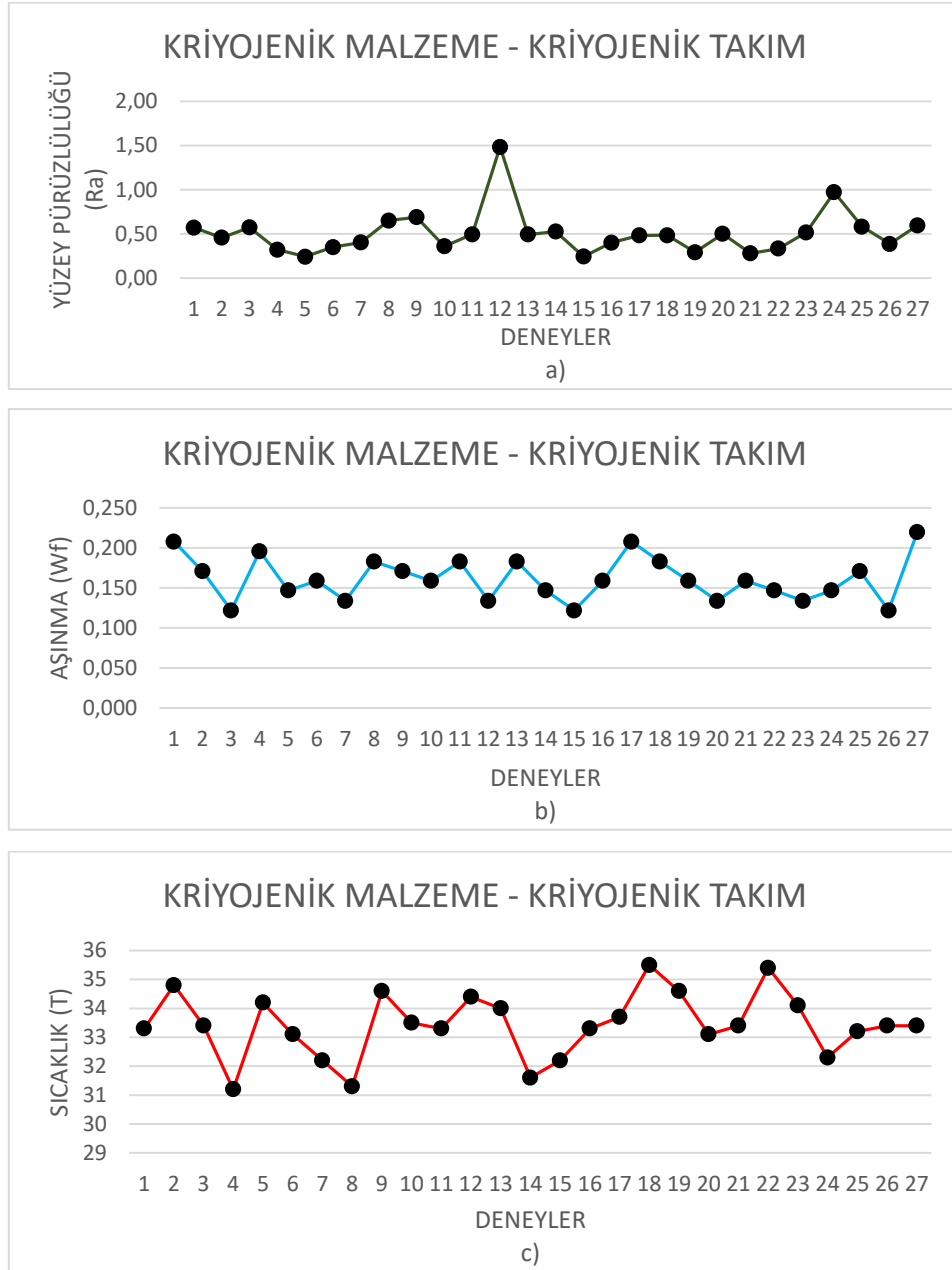
3.4. KRİYOJENİK İŞLEM GÖRMÜŞ MALZEME, KRİYOJENİK İŞLEM GÖRMÜŞ KESİCİ UÇLARLA YÜRÜTÜLEN DENEYLER

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık değerleri Çizelge 3.7’ de gösterilmiştir. 27 deney yapıldıktan sonra alınan en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri 0,242 μm , aşınmanın en düşük değeri 0,122 mm ve sıcaklığın en düşük değeri 31,20°C olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.7. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülük, aşınma ve sıcaklık değerleri.

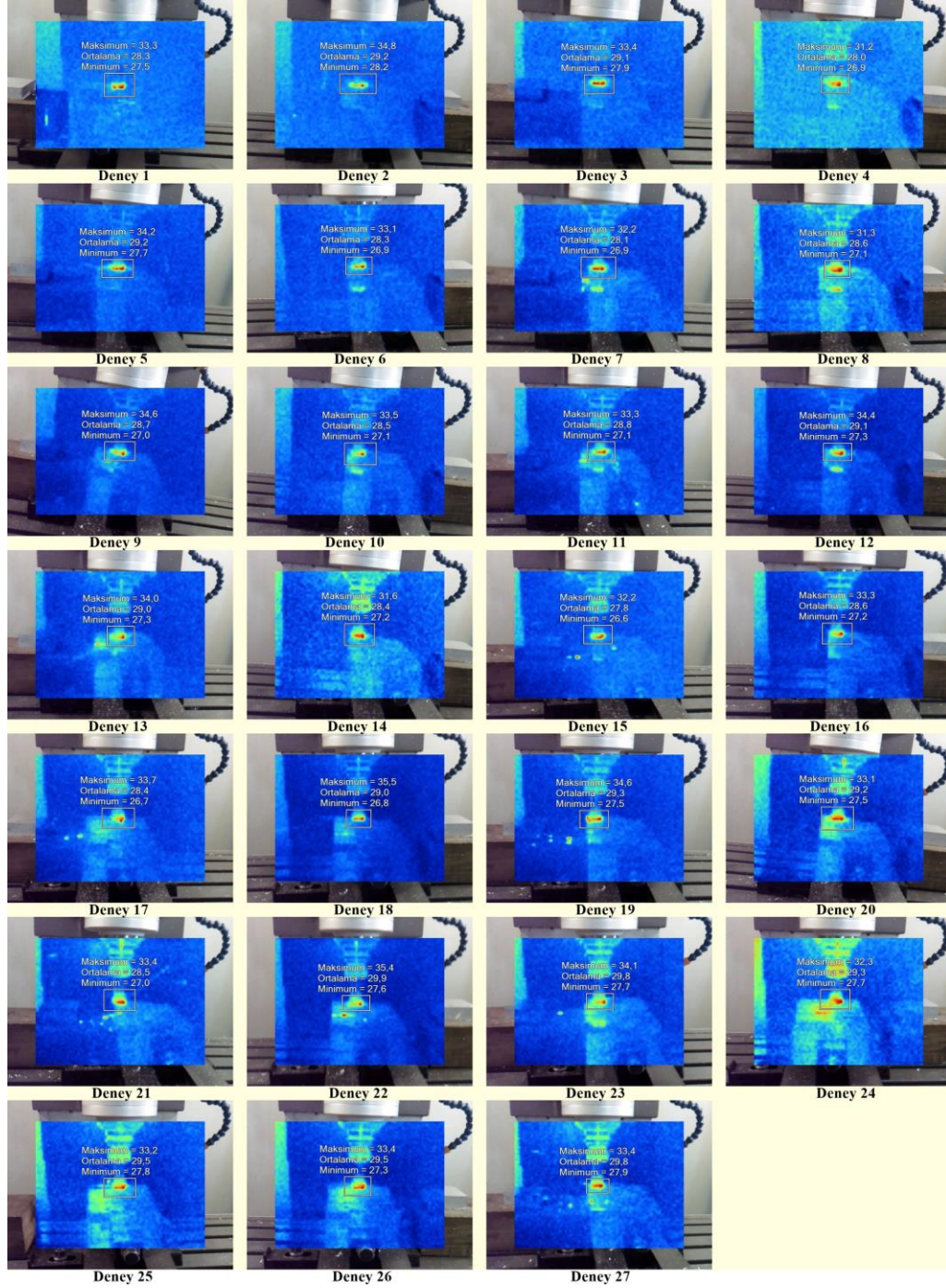
Deney No	Kontrol Faktörleri			Yüzey Pürüzlülüğü			Aşınma	Sıcaklık
	Kesici uçlar (Ku)	Kesme Hızı (V,m/dak)	İlerleme Oranı (f,mm/diş)	Ra1 (μm)	Ra2 (μm)	Raort (μm)	Wf (mm)	T (°C)
1	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,45	0,648	0,494	0,5710	0,208	33,3
2	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,45	0,446	0,466	0,4560	0,171	34,8
3	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,30	0,360	0,787	0,5735	0,122	33,4
4	TiAlN-NANO	250	0,30	0,296	0,346	0,3210	0,196	31,2
5	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,30	0,281	0,203	0,2420	0,147	34,2
6	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,15	0,248	0,450	0,3490	0,159	33,1
7	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,30	0,357	0,447	0,4020	0,134	32,2
8	TiAlN-NANO	350	0,30	0,755	0,545	0,6500	0,183	31,3
9	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,45	0,719	0,659	0,6890	0,171	34,6
10	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,15	0,353	0,364	0,3585	0,159	33,5
11	TiAlN-NANO	450	0,30	0,382	0,609	0,4955	0,183	33,3
12	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,15	1,349	1,619	1,4840	0,134	34,4
13	TiAlN-NANO	250	0,45	0,481	0,504	0,4925	0,183	34,0
14	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,15	0,464	0,586	0,5250	0,147	31,6
15	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,15	0,262	0,223	0,2425	0,122	32,2
16	TiAlN-NANO	450	0,15	0,351	0,451	0,4010	0,159	33,3
17	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,45	0,523	0,442	0,4825	0,208	33,7
18	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,45	0,413	0,555	0,4840	0,183	35,5
19	TiAlN-NANO	350	0,15	0,282	0,301	0,2915	0,159	34,6
20	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,30	0,482	0,517	0,4995	0,134	33,1
21	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,15	0,375	0,183	0,2790	0,159	33,4
22	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,45	0,364	0,303	0,3335	0,147	35,4
23	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,30	0,547	0,486	0,5165	0,134	34,1
24	TiAlN-NANO	450	0,45	1,041	0,904	0,9725	0,147	32,3
25	TiAlN-NANO	350	0,45	0,673	0,492	0,5825	0,171	33,2
26	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,30	0,401	0,371	0,3860	0,122	33,4
27	TiAlN-NANO	250	0,15	0,443	0,750	0,5965	0,220	33,4

Deneyisel çalışmadan elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık grafikleri Şekil 3.10’ da gösterilmiştir. Şekil 3.10a’ da yüzey pürüzlülük değerleri görülmektedir. En yüksek pürüzlülük değeri 12. deneyde 1,48 μm , en düşük pürüzlülük değeri ise 5. ve 15. deneyde 0,24 μm olarak elde edilmiştir. Şekil 3.10b’ de aşınma değerleri görülmektedir. En yüksek aşınma değeri 0,220 mm, en düşük aşınma değeri ise 0,122 mm’ dir. Şekil 3.10c’ de ise sıcaklık değerleri görülmektedir. Elde edilen en yüksek sıcaklık değeri 35,5°C iken en düşük sıcaklık değeri de 31,2°C’ dir.



Şekil 3.10. Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

Deneyler esnasında alınan termal görüntüler Şekil 3.11’ de görülmektedir. Her bir görüntü deney sayısına göre numaralandırılmıştır. Ölçüm bölgesi olarak kırmızı bölge seçilmiştir. Seçim dikdörtgen içerisine alınarak belirgin hale getirilmiştir. Ölçüm bölgesinde maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri de belirtilmiştir. En yüksek ortalama sıcaklık değeri Deney 22’ de 29,9°C iken en düşük ortalama sıcaklık değeri ise Deney 15’ te 27,8°C olarak ölçülmüştür.



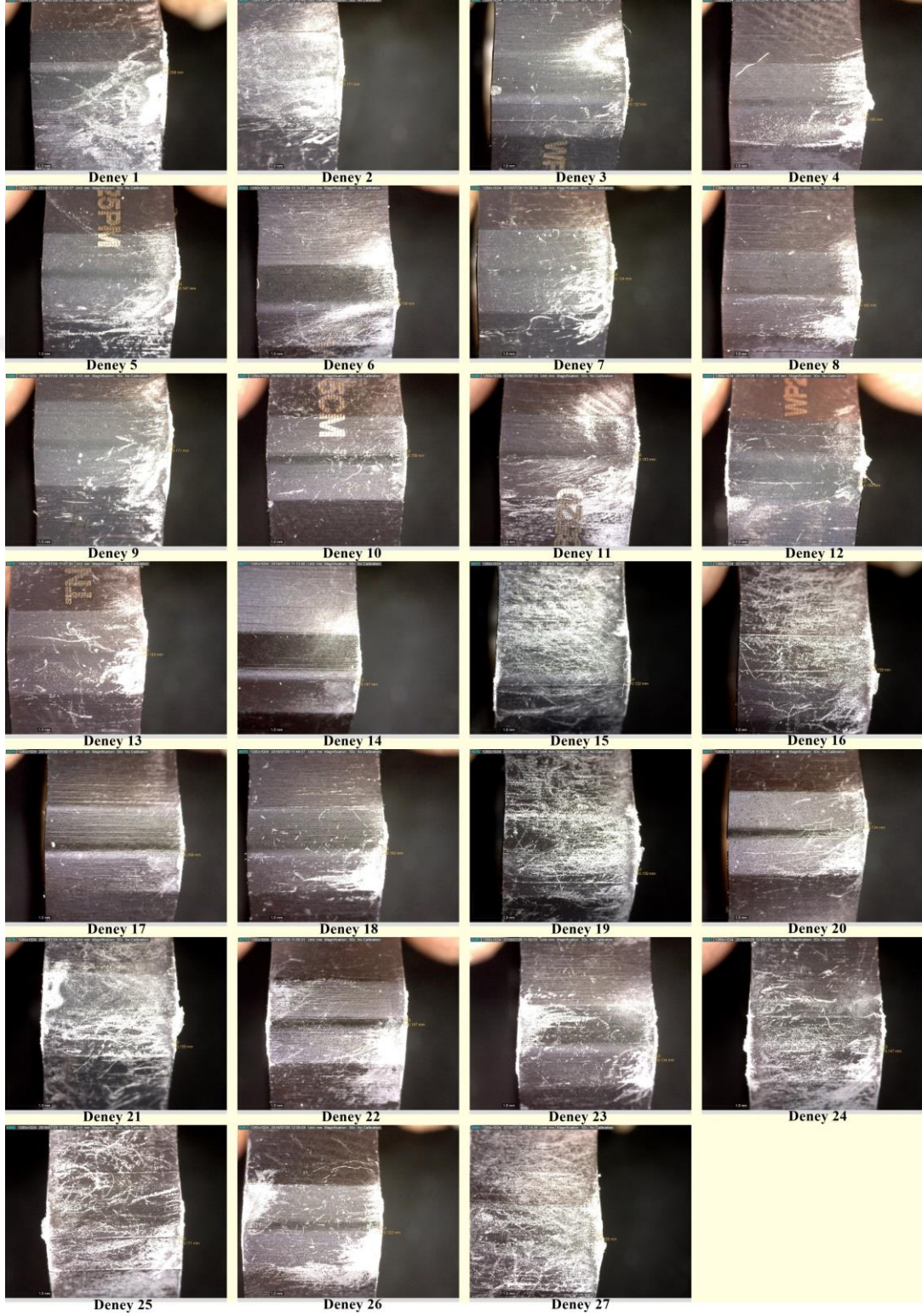
Şekil 3.11. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde termal görüntüler ve sıcaklık değerleri.

Çizelge 3.8’ de termal görüntülerden alınan maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.8. Termal görüntülerden alınan maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri.

Deney No	Kontrol Faktörleri			Sıcaklık		
	Kesici uçlar (Ku)	Kesme Hızı (V,m/dak)	İlerleme Oranı (f,mm/diş)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	T _{ort} (°C)
1	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,45	27,5	33,3	28,3
2	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,45	28,2	34,8	29,2
3	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,30	27,9	33,4	29,1
4	TiAlN-NANO	250	0,30	26,9	31,2	28,0
5	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,30	27,7	34,2	29,2
6	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,15	26,9	33,1	28,3
7	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,30	26,9	32,2	28,1
8	TiAlN-NANO	350	0,30	27,1	31,3	28,6
9	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,45	27,0	34,6	28,7
10	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,15	27,1	33,5	28,5
11	TiAlN-NANO	450	0,30	27,1	33,3	28,8
12	AlTiN-ÇOK KATMANLI	350	0,15	27,3	34,4	29,1
13	TiAlN-NANO	250	0,45	27,3	34,0	29,0
14	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,15	27,2	31,6	28,4
15	AlTiN-ÇOK KATMANLI	450	0,15	26,6	32,2	27,8
16	TiAlN-NANO	450	0,15	27,2	33,3	28,6
17	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,45	26,7	33,7	28,4
18	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,45	26,8	35,5	29,0
19	TiAlN-NANO	350	0,15	27,5	34,6	29,3
20	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	250	0,30	27,5	33,1	29,2
21	AlTiN-ÇOK KATMANLI	250	0,15	27,0	33,4	28,5
22	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,45	27,6	35,4	29,9
23	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	450	0,30	27,7	34,1	29,8
24	TiAlN-NANO	450	0,45	27,7	32,3	29,3
25	TiAlN-NANO	350	0,45	27,8	33,2	29,5
26	Al ₂ O ₃ -TiCN-TiN	350	0,30	27,3	33,4	29,5
27	TiAlN-NANO	250	0,15	27,9	33,4	29,8

Yapılan her deneyden sonra kesici takımlardan alınan aşınma görüntüleri Şekil 3.12’ de görülmektedir. Her bir görüntü deney sayısına göre numaralandırılmıştır. En yüksek aşınma değeri 0,220 mm iken en düşük aşınma değeri ise 0,122 mm olarak ölçülmüştür.

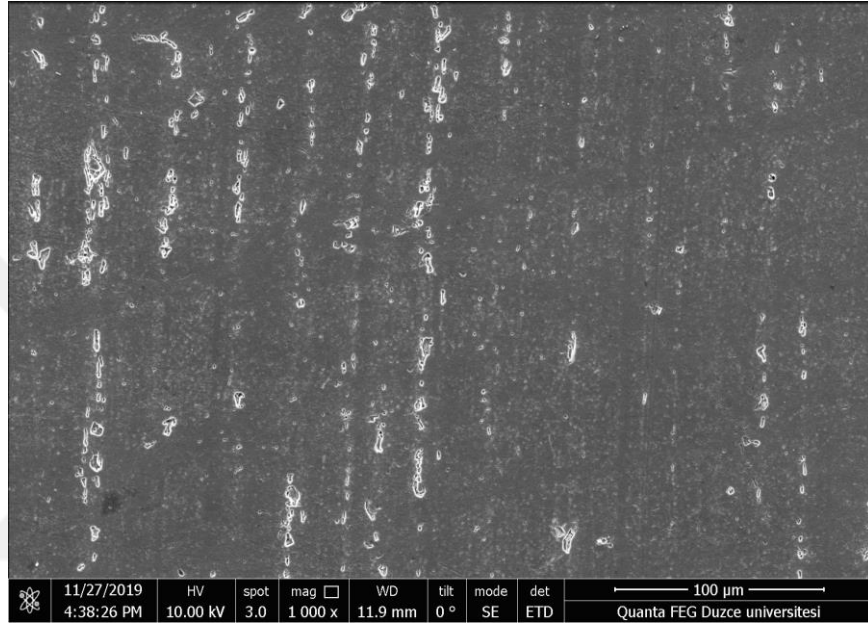


Şekil 3.12. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde aşınma görüntüleri.

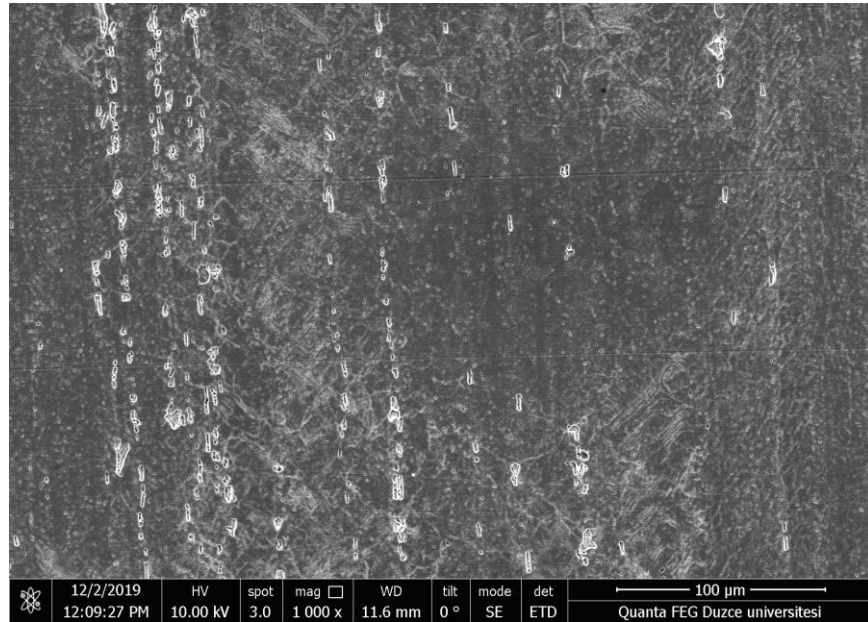
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. KRİYOJENİK ISIL İŞLEMİN MALZEME ÜZERİNE ETKİSİ

Normal malzeme ve kriyojenik işlem görmüş malzeme için alınan tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’ de görülmektedir.



Şekil 4.1. Normal malzemeden alınan SEM görüntüsü.



Şekil 4.2. Kriyojenik işlem görmüş malzemeden alınan SEM görüntüsü.

Sem görüntülerinden elde edilen sonuçlara göre kriyojenik ısıt işlemin mevcut malzemenin iç yapısında değişiklik yapmadığı görülmektedir. Malzemenin yüzey yapısındaki değişiklikleri kontrol etmek amacıyla normal ve kriyojenik malzemenin yüzeylerinden Vickers (HRV) sertlik ölçümleri yapılmıştır. Bu sonuçlar Çizelge 4.1’ de gösterilmiştir. Çizelge 4.1’ e bakıldığında malzemelerin yüzey kısmının sertleştiği görülmektedir. Normal malzemeye Vickers (HRV) cinsinden 300 gr yük ve 10 sn süre ile uygulanan sertlik ölçümlerinde en yüksek değerin 113,4 HRV olduğu gözlemlenirken, aynı sertlik ölçümü kriyojenik ısıt işlem görmüş malzemeye uygulandığında en yüksek sertlik değerinin 122,6 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Sertlik ölçüm değerleri.

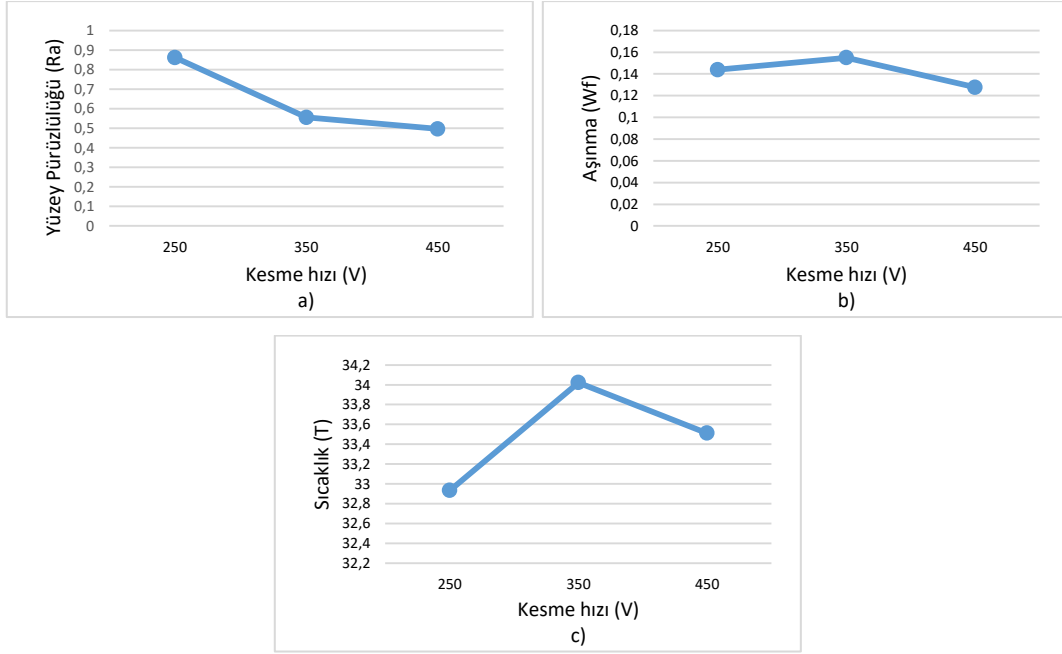
Vickers (HRV) cinsinden 300 gr yük ve 10 saniye süre					
Numuneler	1	2	3	4	5
Normal	113,2	109,4	111,3	113,4	111,6
Kriyojenik	107,6	113,9	115,5	115,0	122,6

Sonuç olarak kriyojenik işlemin malzemenin iç yapısında değişiklik yapmadığı sadece malzemenin yüzeyini az da olsa sertleştirdiği gözlemlenmiştir. Bu durum da kriyojenik işlemin malzemenin iç yapısındaki karbür dağılımını homojen hale getirmesi ve ikincil karbür çökmesi oluşturmaya ilişkin ilişkilendirilmiştir.

4.2. KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ, TAKIM AŞINMASI VE SICAKLIK ÜZERİNE ETKİLERİNİN İKİ BOYUTLU GRAFİKLERLE İNCELENMESİ

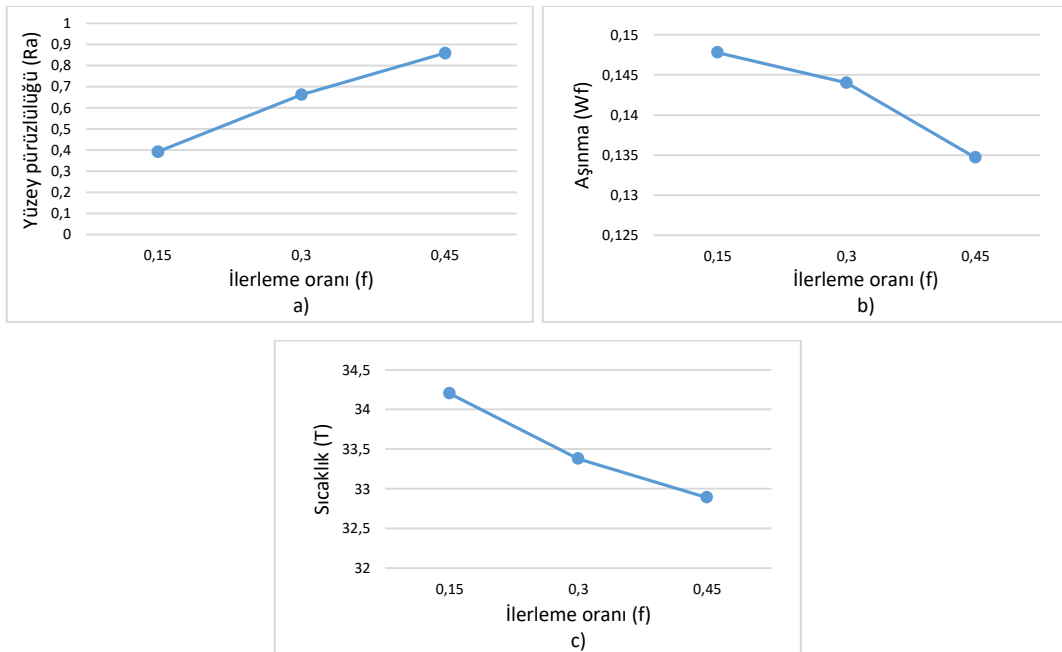
4.2.1. Normal Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde İki Boyutlu Grafiklerin İncelenmesi

Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 4.3’ te görülmektedir. Burada kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün düştüğü görülmektedir. Bu bilinen bir durumdur. Aynı şekilde kesme hızı arttıkça aşınmanın bir miktar arttığı ardından düştüğü görülmektedir. Yine grafiklerden sıcaklığın da arttığı görülmektedir.



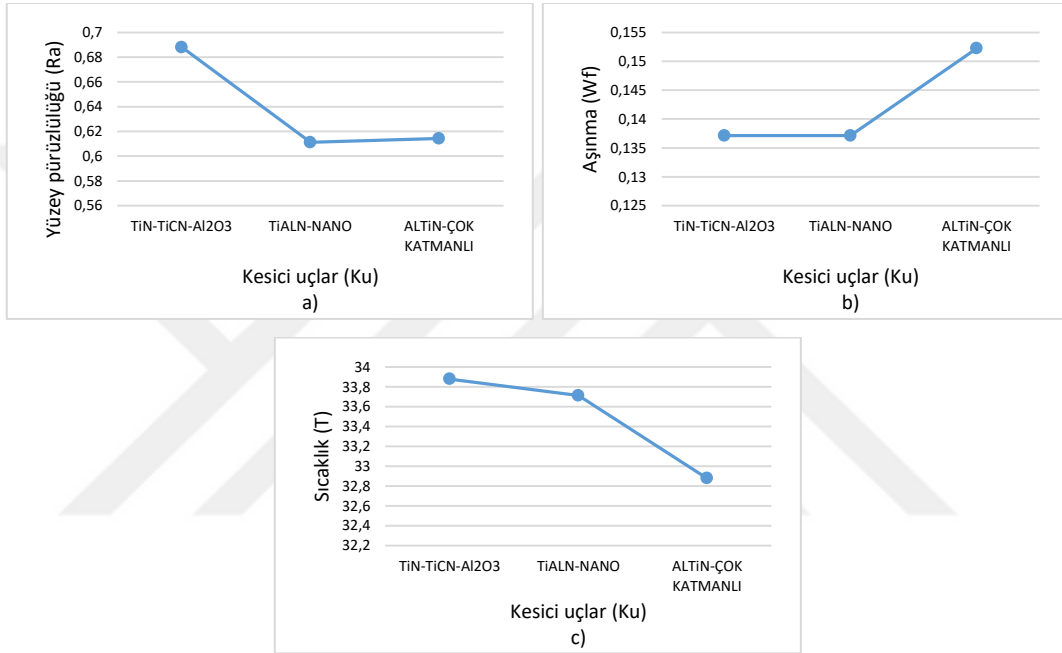
Şekil 4.3. Kesme hızlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 4.4' te görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığı aşınma ve sıcaklık değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu sonuçlar ilerleme oranı arttıkça, kesici ucun malzemenin yüzeyine temas etme süresinin azalması ile açıklanabilir.



Şekil 4.4. İlerleme oranlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

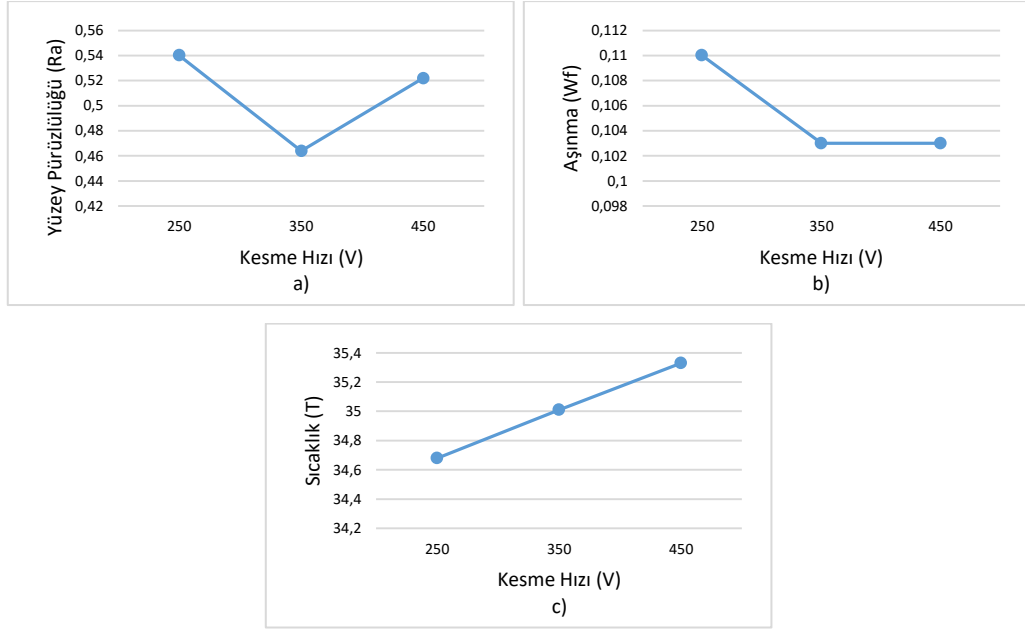
Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde kesici uçların yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 4.5’ te görülmektedir. Yüzey pürüzlülük değeri için titanyum nitrür-titanyum karbonitrür-alüminyum oksit (TiN-TiCN-Al₂O₃) kaplamalı kesici uça olduğu gözlemlenmiştir. TiAlN-NANO kaplamalı kesici ucun aşınma için kötü, fakat sıcaklık için iyi bir performans gösterdiği grafiklerden anlaşılmaktadır.



Şekil 4.5. Kesici uçların etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

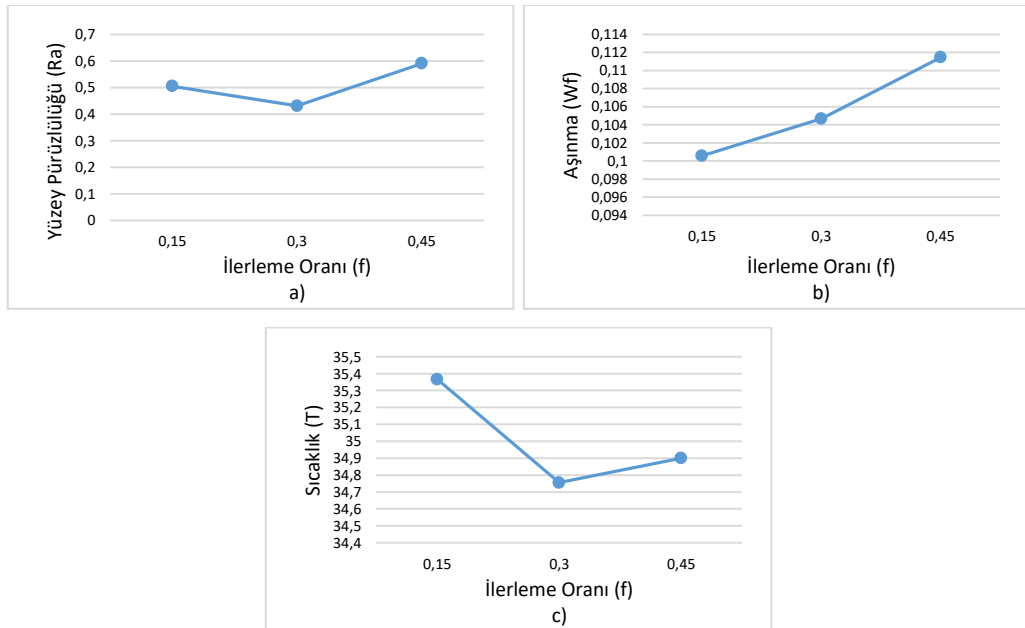
4.2.2. Normal Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde İki Boyutlu Grafiklerin İncelenmesi

Normal malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde kesme hızlarının yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 4.6’ da görülmektedir. Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün düştüğü daha sonra arttığı görülmektedir. Aşınma değerinin ise düştüğü görülmektedir. Bu durumu kriyojenik işlemin homojen karbür dağılımı sağlaması sonucu kesici takımlara yüksek sertlik ve aşınma direnci kazandırmış olmasına bağlanmıştır. Kesme hızı arttıkça sıcaklık değerinin de arttığı gözlemlenmiştir.



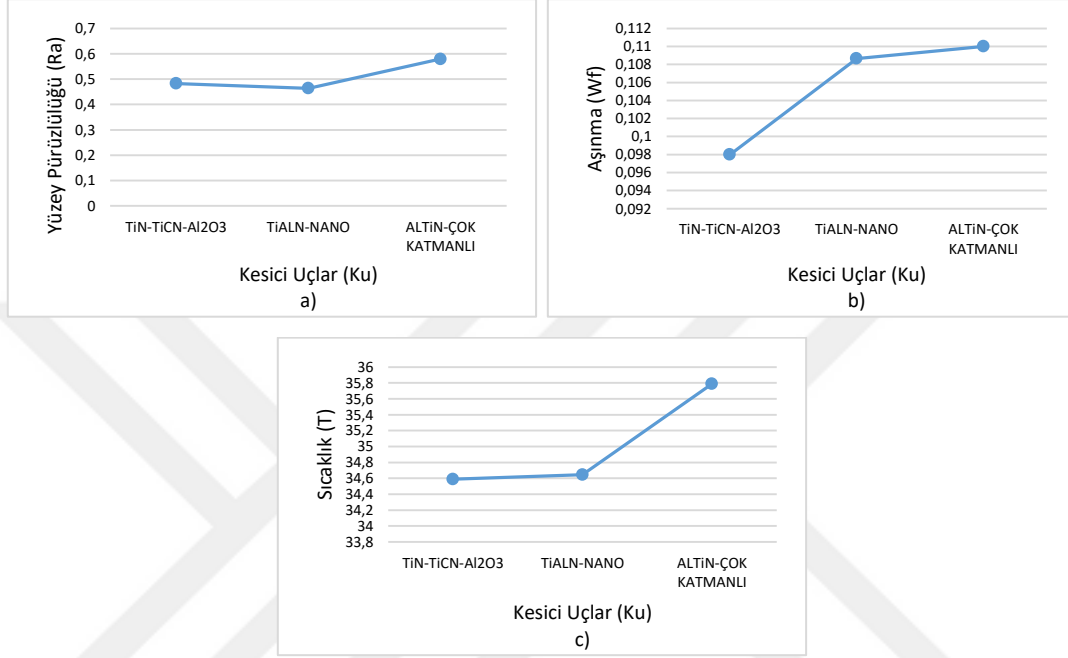
Şekil 4.6. Kesme hızlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

Normal malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde ilerleme oranlarının yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 4.7’ de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ilerleme oranı artsa da yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık değerlerinin çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu durum kriyojenik işlem sonrasında kesici takımların kazanmış olduğu aşınma direnciyle ilişkilendirilmiştir [52-56].



Şekil 4.7. İlerleme oranlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

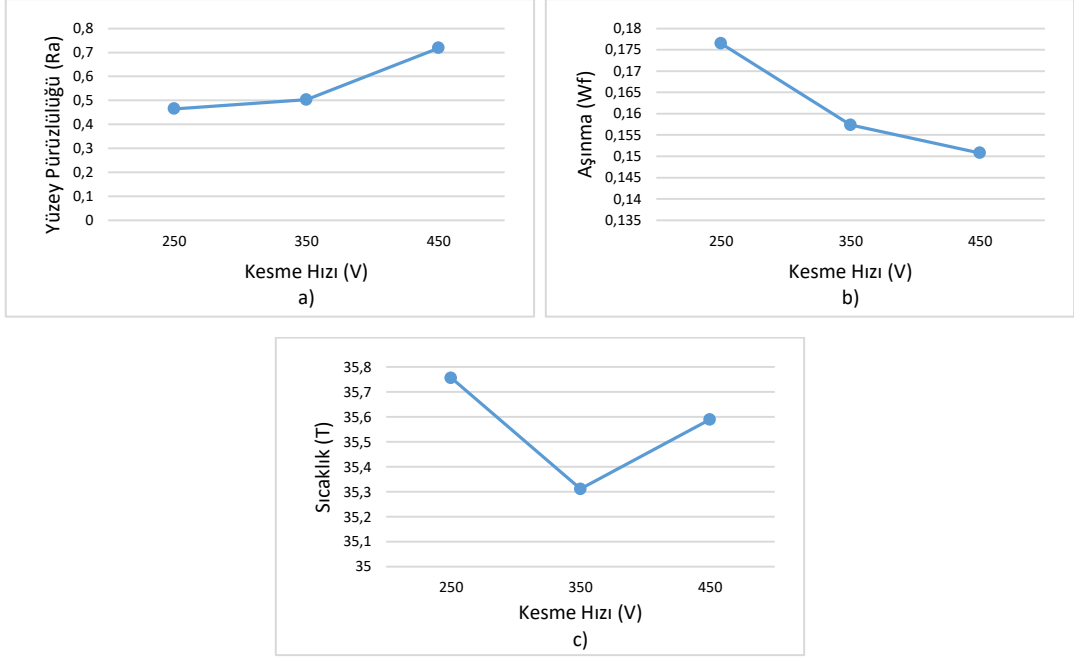
Normal malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde kesici uçların yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 4.8’ de görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü için en iyi sonucu TiAlN-NANO kaplamalı kesici ucun verdiği görülmektedir. Aşınma ve sıcaklık için en iyi sonuçları TiN-TiC-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç göstermektedir.



Şekil 4.8. Kesici uçların etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

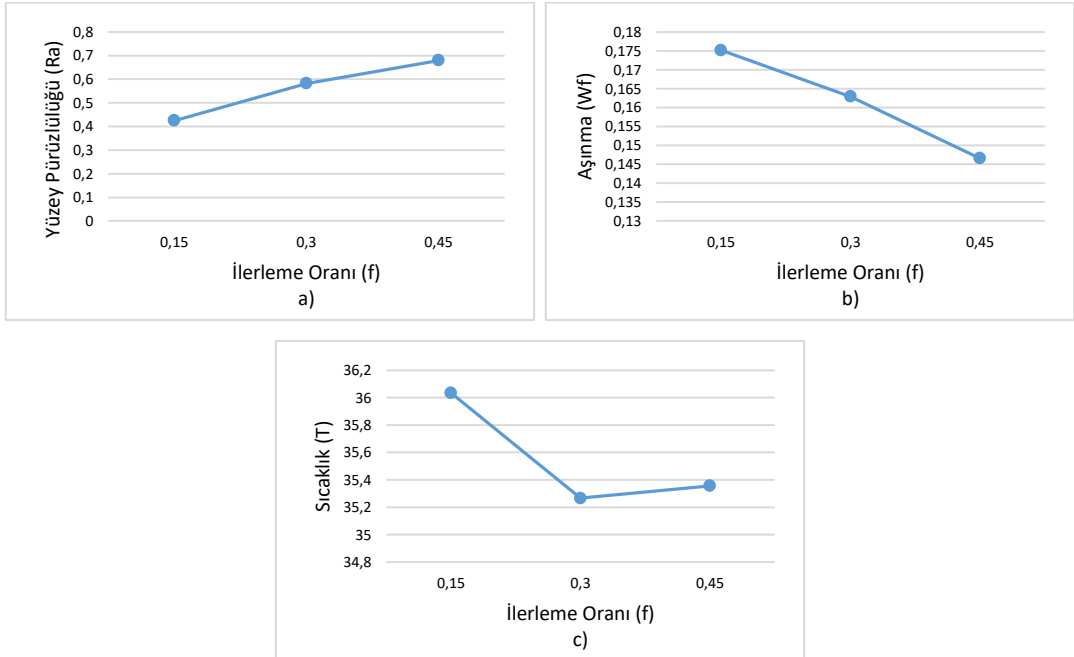
4.2.3. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde İki Boyutlu Grafiklerin İncelenmesi

Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde kesme hızlarının yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 4.9’ da görülmektedir. Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığı aşınma değerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum malzemeye uygulanan kriyojenik işlemin kazandırdığı sertlik ve aşınma direnci ile ilişkilendirilmiştir. Sıcaklık değerinin de önce azaldığı daha sonra arttığı gözlemlenmiştir.



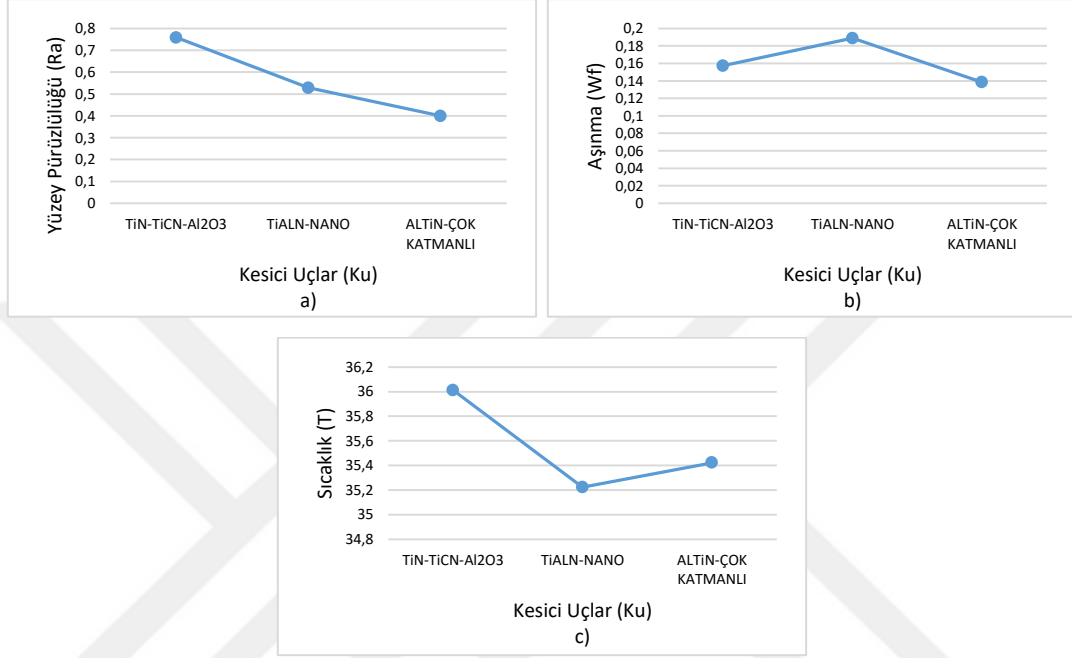
Şekil 4.9. Kesme hızlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde ilerleme oranlarının yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 4.10' da görülmektedir. Grafiklerde ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığı aşınma ve sıcaklık değerlerinin de düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.10. İlerleme oranlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınması c) Sıcaklık.

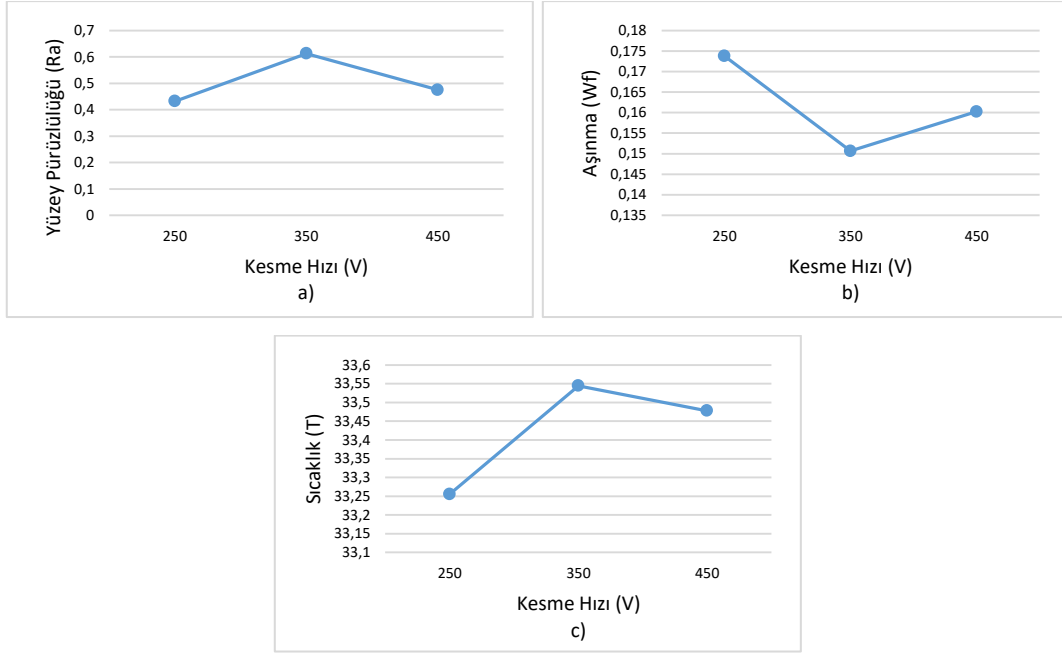
Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde kesici uçların yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 4.11’ de görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ve aşınma için en iyi sonuçları ALTİN-ÇOK KATMANLI kesici uç verirken en iyi sıcaklık değerini ise TiAlN-NANO kaplamalı kesici ucun verdiği görülmektedir.



Şekil 4.11. Kesici uçların etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

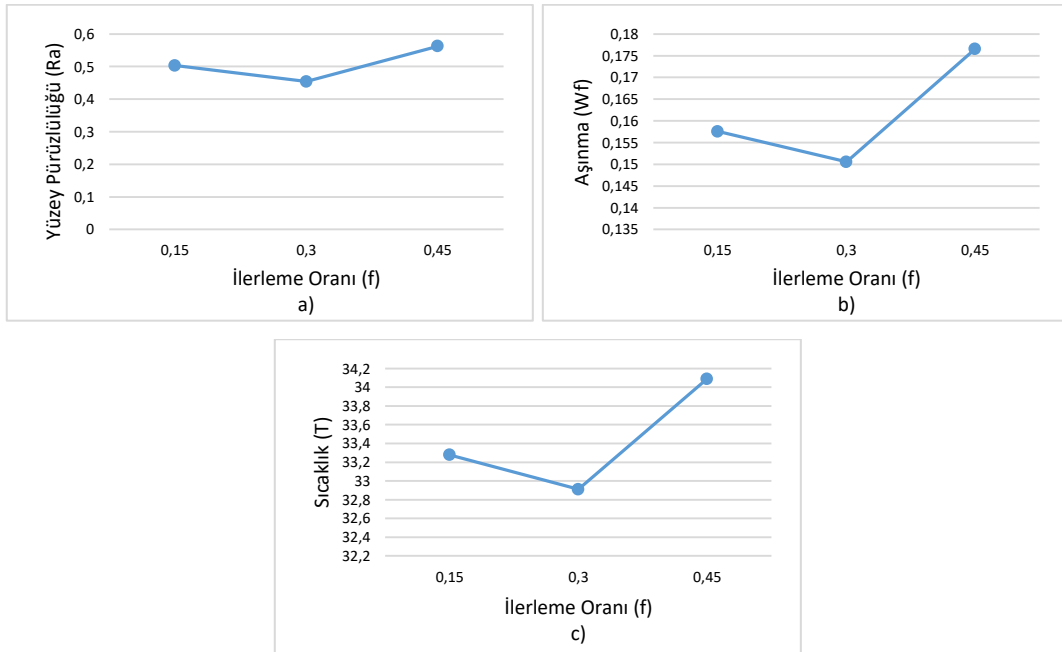
4.2.4. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde İki Boyutlu Grafiklerin İncelenmesi

Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde kesme hızlarının yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 4.12’ de görülmektedir. Kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük ve sıcaklık değerlerinin önce arttığı daha sonra düştüğü, aşınma değerinin ise önce düştüğü daha sonra arttığı görülmektedir. Bu sonuçlar malzemeye ve kesici uçlara uygulanan kriyojenik işlem ile ilişkilendirilmiştir.



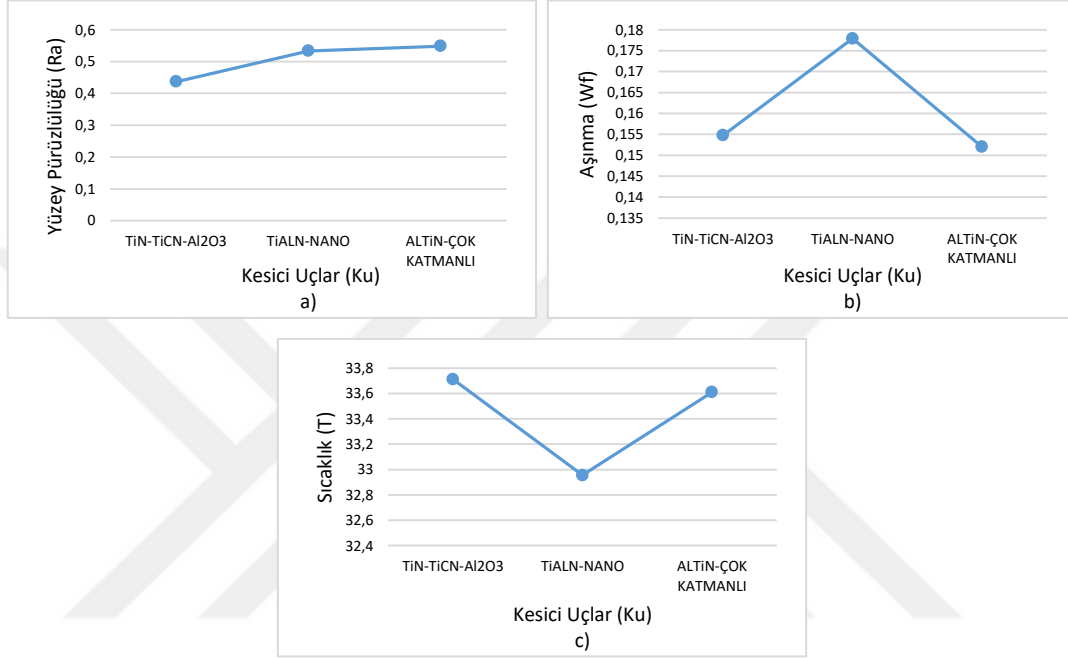
Şekil 4.12. Kesme hızlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde ilerleme oranlarının yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 4.13' te görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık değerlerinin bir miktar düştüğü ardından tekrar arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13. İlerleme oranlarının etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde kesici uçların yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve sıcaklık üzerine etkileri Şekil 4.14' te görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülük değerinin TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uça olduğu gözlemlenmiştir. TiAlN-NANO kaplamalı kesici ucun aşınma için kötü, fakat sıcaklık için iyi bir performans gösterdiği grafiklerden anlaşılmaktadır.



Şekil 4.14. Kesici uçların etkilerine ait iki boyutlu grafikler a) Yüzey pürüzlülüğü b) Aşınma c) Sıcaklık.

4.3. DENEYSEL SONUÇLARIN VARYANS ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Kesici uç, kesme hızı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık ve aşınma üzerine etkileri varyans analizi ile analiz edilmiş olup, deney sonuçları %95' lik bir güven aralığında değerlendirilmiştir.

4.3.1. Normal Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Anova Kullanılarak Veri Analizi

Yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için ANOVA değerleri Çizelge 4.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Normal malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için ANOVA sonuçları.

Parametreler	Serbestlik derecesi (DoF)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F - Değeri	P-Değeri	Parametre etkisi (%)
Yüzey Pürüzlülüğü (Ra_{ort} - μm)						
Ku	2	0,03397	0,01698	0,37	0,698	1,29
V	2	0,69311	0,34656	7,47	0,004	26,26
f	2	0,98493	0,49246	10,62	0,001	37,31
Hata (e)	20	0,92765	0,04638			35,14
Toplam	26	2,63965				100
Aşınma (W_f , mm)						
Ku	2	0,001370	0,000685	0,81	0,460	6,08
V	2	0,003376	0,001688	1,99	0,163	14,98
f	2	0,000820	0,000410	0,48	0,624	3,64
Hata (e)	20	0,016976	0,000849			75,31
Toplam	26	0,022541				100
Sıcaklık (T, °C)						
Ku	2	5,167	2,583	2,29	0,128	12,60
V	2	5,342	2,671	2,36	0,120	13,03
f	2	7,902	3,951	3,50	0,050	19,27
Hata (e)	20	22,596	1,130			55,10
Toplam	26	40,007				100

Çizelge 4.2’ deki tüm değerler %95’ lik güven aralığında değerlendirilmiştir. Çizelge 4.2’ de görüldüğü gibi, yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerinin yüzde dağılımları; kesici uç (Ku) %1,29, kesme hızı (V) %26,26 ve ilerleme oranı (f), %37,31 olarak çıkmıştır. Burada yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametre %37,31 ile ilerleme oranı olmuştur. Bu parametreyi %26,26’ lık oranla kesme hızı takip etmektedir. Yüzey pürüzlülüğüne en az etkiyi gösteren parametre ise %1,29 ile kesici uç olmuştur. Çizelge 4.2’ de aşınma için elde edilen ANOVA değerlerinde ise en etkili parametre %14,98 ile kesme hızı olurken, onu %6,08 ile kesici uç takip etmektedir. Burada ilerleme oranının ise %3,64’ lük oranla aşınma üzerinde en etkisiz parametre olduğu görülmektedir. Çizelge 4.2, sıcaklık için incelendiğinde en etkili parametre, yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi %19,27 ile ilerleme oranı olurken, bu parametreyi %13,03 oranla kesme hızı takip etmektedir. En az etkili parametre ise %12,60 ile kesici uç olmuştur. Çizelgedeki parametreler etki durumuna göre incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık için etki sıraları birbirine benzerdir. Fakat aşınmada en etkili parametrenin ilerleme oranı değil kesme hızı olduğu gözlemlenmiştir.

4.3.2. Normal Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Anova Kullanılarak Veri Analizi

Yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için ANOVA değerleri Çizelge 4.3’ te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Normal malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için ANOVA sonuçları.

Parametreler	Serbestlik derecesi (DoF)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F - Değeri	P-Değeri	Parametre etkisi (%)
Yüzey Pürüzlülüğü ($R_{a_{01}}$ - μm)						
Ku	2	0,06944	0,03472	0,38	0,692	3,37
V	2	0,02856	0,01428	0,15	0,858	1,38
f	2	0,11492	0,05746	0,62	0,547	5,57
Hata (e)	20	1,84950	0,09247			89,68
Toplam	26	2,0641				100
Aşınma (W_f , mm)						
Ku	2	0,000779	0,000389	1,49	0,248	11,43
V	2	0,000280	0,000140	0,54	0,592	4,11
f	2	0,000544	0,000272	1,04	0,370	7,99
Hata (e)	20	0,005210	0,000260			76,47
Toplam	26	0,006813				100
Sıcaklık (T, °C)						
Ku	2	8,259	4,1293			28,94
V	2	1,934	0,9670	5	0,017	6,78
f	2	1,836	0,9181	1,17	0,33	6,43
Hata (e)	20	16,510	0,8255	1,11	0,348	57,85
Toplam	26	28,539				100

Çizelge 4.3’ teki tüm değerler %95’ lik güven seviyesinde değerlendirilmiştir. Bu durumda çizelgedeki tüm parametreler etkilidir. Çizelge 4.3’ te görüldüğü gibi, yüzey pürüzlülüğü için yüzde dağılımları; kesici uç (Ku) %3,37, kesme hızı (V) %1,38 ve ilerleme oranı (f), %5,57 olarak elde edilmiştir. Çizelgeye bakıldığında yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametre %5,57 ile ilerleme oranı olmuştur. Ardından %3,37’ lik oranla kesici uç gelmektedir. Yüzey pürüzlülüğüne en az etkiyi gösteren parametre ise %1,38 ile kesme hızı olmuştur. Çizelge 4.3’ te aşınma için elde edilen değerlerde ise en etkili parametre %11,43 ile kesici uç olurken, onu %7,99 ile ilerleme oranı takip etmektedir. Kesme hızının ise %4,11’ lik oranla aşınma üzerinde en az etkili parametre olduğu görülmektedir. Çizelge 4.3 sıcaklık için incelendiğinde en etkili parametre, aşınmada olduğu gibi %28,94 ile kesici uç olmuştur. Bu parametreyi takip eden %6,78 ile kesme hızı ve %6,43 ile ilerleme oranı parametrelerinin neredeyse aynı

etkiye sahip oldukları görülmektedir. Çizelgedeki parametreler etki durumuna göre incelendiğinde, kriyojenik işlem görmüş uçların, aşınma ve sıcaklık üzerinde etkili parametre olduğu gözlemlenmektedir.

4.3.3. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Anova Kullanılarak Veri Analizi

Yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için ANOVA değerleri Çizelge 4.4’ te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için ANOVA sonuçları.

Parametreler	Serbestlik derecesi (DoF)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F - Değeri	P-Değeri	Parametre etkisi (%)
Yüzey Pürüzlülüğü (Ra_{ort} - μm)						
Ku	2	0,5947	0,2974	2,57	0,101	16,80
V	2	0,3366	0,1683	1,46	0,257	9,51
f	2	0,2963	0,1482	1,28	0,299	8,37
Hata (e)	20	2,3127	0,1156			65,32
Toplam	26	3,5403				100
Aşınma (W_f , mm)						
Ku	2	0,011637	0,005818	3,61	0,046	22,94
V	2	0,003201	0,001600	0,99	0,388	6,31
f	2	0,003695	0,001847	1,15	0,337	7,28
Hata (e)	20	0,032198	0,001610			63,47
Toplam	26					100
Sıcaklık (T, °C)						
Ku	2	3,0274	1,5137	0,61	0,554	5,33
V	2	0,9074	0,4537	0,18	0,834	1,60
f	2	3,1652	1,5826	0,64	0,539	5,57
Hata (e)	20	49,6874	2,4844			87,50
Toplam	26	56,7874				100

Çizelge 4.4’ teki tüm değerler %95’ lik güven seviyesinde değerlendirilmiştir. Bu durumda çizelgedeki tüm parametreler etkilidir. Çizelge 4.4’ te görüldüğü gibi, yüzey pürüzlülüğü için yüzde dağılımları; kesici uç (Ku) %16,80, kesme hızı (V) %9,51 ve ilerleme oranı (f), %8,37 olarak elde edilmiştir. Çizelgeye bakıldığında yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametre %16,80 ile kesici uç olmuştur. Ardından %9,51’ lik oranla kesme hızı gelmektedir. Yüzey pürüzlülüğüne en az etkiyi gösteren parametre ise %8,37 ile ilerleme oranı olmuştur. Çizelge 4.4’ te aşınma için elde edilen değerlerde ise en etkili parametre %22,94 ile kesici uç olurken, onu %7,28 ile ilerleme oranı parametresi takip etmektedir. Kesme hızının ise %6,31’ lik oranla aşınma üzerinde

en az etkili parametre olduğu görülmektedir. Çizelge 4.4 sıcaklık için incelendiğinde en etkili parametre %5,57 ile ilerleme oranı olurken takibinde %5,33 oranla kesici uç gelmektedir. Bu iki parametre incelendiğinde birbirine çok yakın değerlere sahip oldukları görülmüş ve bunun sonucu, sıcaklık üzerine etkileri neredeyse aynı olduğu düşünülmektedir. En az etkiyi gösteren parametre olarak ise %1,60 oranla kesme hızı olduğu görülmektedir. Çizelgedeki parametreler etki durumuna göre incelendiğinde, kriyojenik işlem görmüş malzeme üzerinde farklı kaplamalarda kesici uçların etkisinin maksimum olduğu gözlenmektedir. Kesme hızı parametresi incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü ve aşınmaya nazaran, sıcaklık üzerinde etkisinin minimum düzeyde olduğu görülmüştür.

4.3.4. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Anova Kullanılarak Veri Analizi

Yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için ANOVA değerleri Çizelge 4.5’ te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık için ANOVA sonuçları.

Parametreler	Serbestlik derecesi (DoF)	Kareler toplamı (SS)	Kareler ortalaması (MS)	F - Değeri	P-Değeri	Parametre etkisi (%)
Yüzey Pürüzlülüğü ($R_{a_{ort}}$ - μm)						
Ku	2	0,6599	0,03300	0,49	0,622	4,03
V	2	0,16067	0,08034	1,18	0,327	9,80
f	2	0,05325	0,02663	0,39	0,681	3,25
Hata (e)	20	1,35886	0,06794			82,92
Toplam	26	1,63878				100
Aşınma (W_f , mm)						
Ku	2	0,003636	0,001818	3,53	0,049	18,52
V	2	0,002428	0,001214	2,35	0,121	12,36
f	2	0,003258	0,001629	3,16	0,064	16,59
Hata (e)	20	0,010313	0,000516			52,52
Toplam	26	0,019635				100
Sıcaklık (T, °C)						
Ku	2	3,0319	1,5159	1,34	0,285	9,29
V	2	0,4119	0,2059	0,18	0,835	1,26
f	2	6,5385	3,2693	2,88	0,079	20,02
Hata (e)	20	22,6696	1,1335			69,43
Toplam	26	32,6519				100

Çizelge 4.5' teki tüm değerler %95' lik güven seviyesinde değerlendirilmiştir. Bu durumda çizelgedeki tüm parametreler etkilidir. Çizelge 4.5' te görüldüğü gibi, yüzey pürüzlülüğü için yüzde dağılımları; kesici uç (Ku) %4,03, kesme hızı (V) %9,80 ve ilerleme oranı (f), %3,25 olarak elde edilmiştir. Çizelgeye bakıldığında yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametre %9,80 ile kesme hızı olmuştur. Ardından %4,03' lük oranla kesici uç gelmektedir. Yüzey pürüzlülüğüne en az etkiyi gösteren parametre ise %3,25 ile ilerleme oranı olmuştur. Çizelge 4.5' te aşınma için elde edilen değerlerde ise en etkili parametre %18,52 ile kesici uç olurken, onu %16,59 ile ilerleme oranı parametresi takip etmektedir. Kesme hızının ise %12,36' lık oranla aşınma üzerinde en az etkili parametre olduğu görülmektedir. Çizelge 4.5 sıcaklık için incelendiğinde en etkili parametre %20,02 ile ilerleme oranı olurken takibinde %9,29 oranla kesici uç gelmektedir. En az etkiyi gösteren parametrenin %1,26 oranla kesme hızı olduğu görülmektedir. Çizelgedeki parametreler etki durumuna göre incelendiğinde, kriyojenik işlem görmüş malzeme üzerinde farklı kaplamalarda kesici uçların etkisinin maksimum olduğu gözlenmektedir. Kesme hızı parametresi incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü ve aşınmaya nazaran, sıcaklık üzerinde etkisinin minimum düzeyde olduğu görülmüştür. Çizelgeye göre kriyojenik işlem görmüş malzeme ve kesici uçlarla yapılan deneylerde her parametrenin, yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve sıcaklık üzerindeki etki seviyelerinin farklılık gösterdiği görülmektedir.

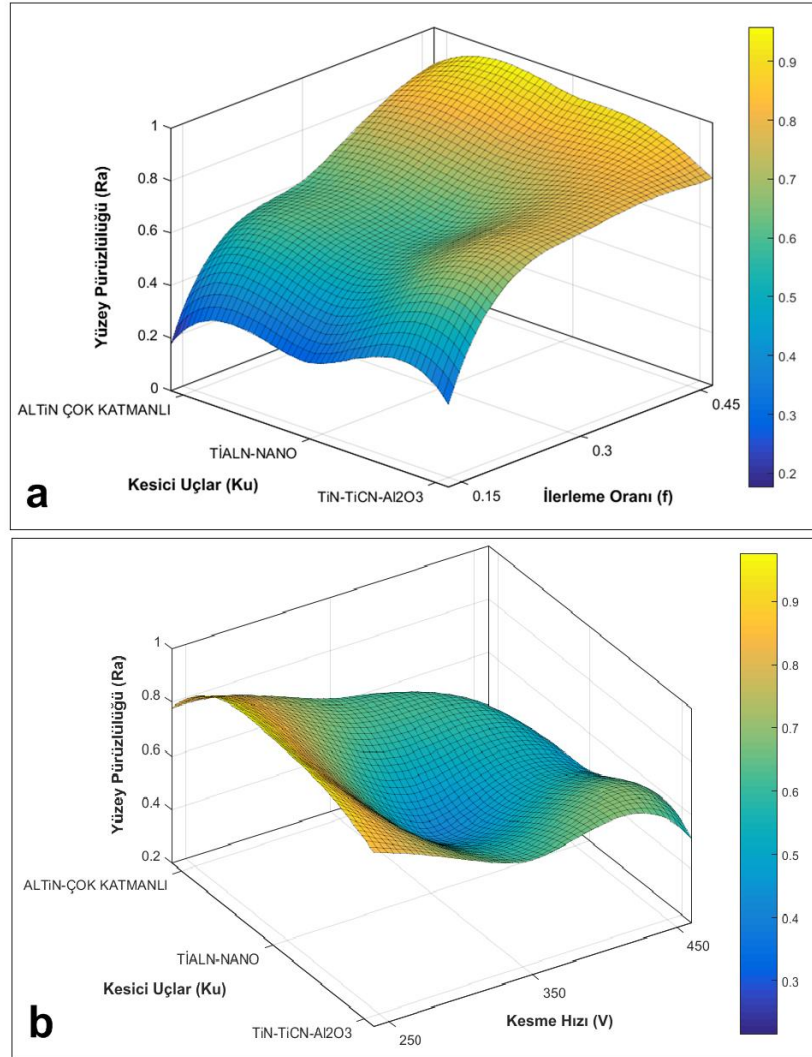
4.4. KESME PARAMETRELERİNİN PÜRÜZLÜLÜĞE ETKİSİ

Deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalamalarına kesme parametrelerinin etkilerinin gözlemlenmesi için 3 boyutlu grafikler kullanılmıştır. Bu grafiklerin çizdirilmesinde MATLAB programı kullanılmıştır. Grafiklerin yorumlanmasında parametrelerin ve deneysel sonuçların tamamı dikkate alınmıştır.

4.4.1. Normal Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri grafiği Şekil 4.15' te gösterilmiştir. Şekil 4.15a' da kesici uçların ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri gösterilmiştir. Şekil 4.15a incelendiğinde ilerleme oranı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlenmektedir. Çünkü ilerleme oranı arttıkça kesici ucun

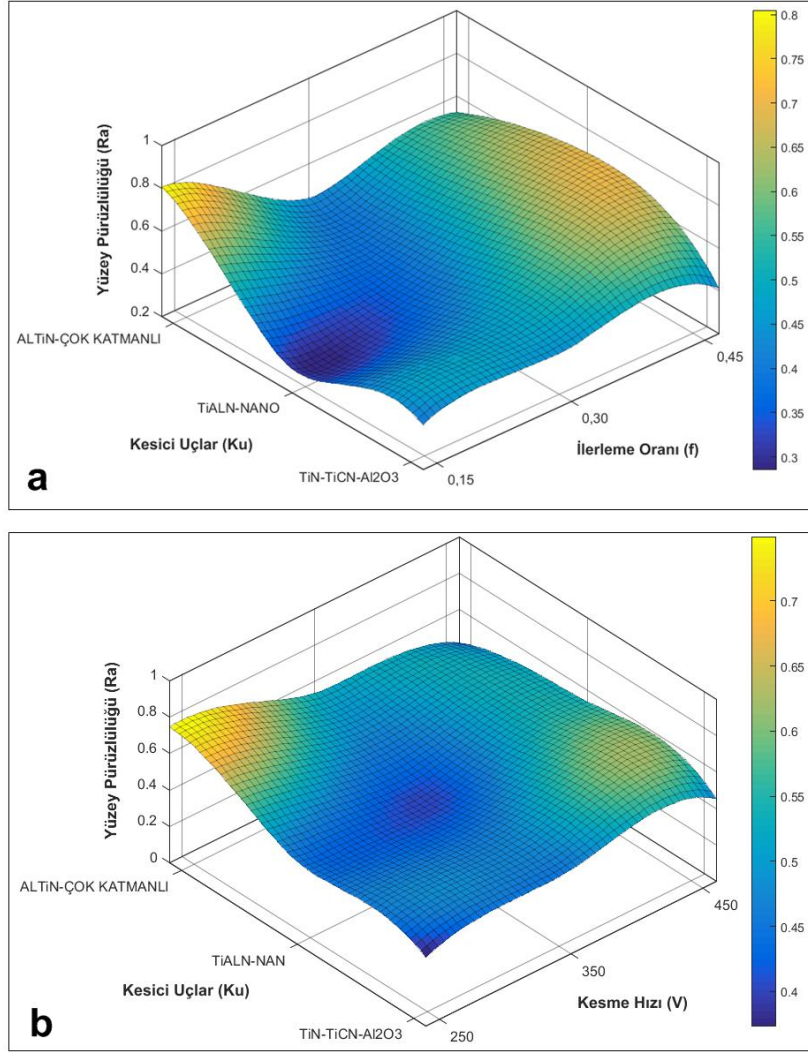
malzeme yüzeyini işleme süresi azaldığından daha pürüzlü yüzey ortaya çıkmaktadır. 0,15 mm/diş ilerleme oranında, yüzey pürüzlülük değerinin kesici uçların tamamında neredeyse aynı ve en iyi değerleri verdiği görülmektedir. Fakat 0,30 mm/diş ilerleme oranında ALTIN-ÇOK KATMANLI ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçlarda yüzey pürüzlülük değerleri artış gösterirken, TiAlN-NANO kaplamalı kesici uçta az da olsa bir düşüş gözlenmektedir. Şekil 4.15a’ da en iyi yüzey pürüzlülüğü 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve ALTIN-ÇOK KATMANLI kesici uçta elde edilmiştir. Şekil 4.15b’ de kesici uçların ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkileri gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün düştüğü görülmektedir. Buna göre ilerleme oranı ile kesme hızının tam tersi etki gösterdiği anlaşılmaktadır. 350 m/dak kesme hızında TiAlN-NANO kesici uç diğer uçlara nazaran ani bir düşüş göstermiş ve en iyi yüzey pürüzlülük değeri sağlanmıştır.



Şekil 4.15. Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu yüzey pürüzlülüğü grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.

4.4.2. Normal Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri grafiği Şekil 4.16' da gösterilmiştir. Şekil 4.16a' da kesici uçların ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde 0,15 mm/diş ilerleme oranında AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici ucun verdiği yüzey pürüzlülük değerleri maksimumdayken 0,30 mm/diş ilerleme oranında ani bir düşüş yaşadığı görülmektedir. Aynı ilerleme oranında diğer kesici uçların değerleri de incelendiğinde düşük yüzey pürüzlülük değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Fakat 0,45 mm/diş ilerleme oranında her üç kesici uç içinde yüzey pürüzlülük değerinde yükselme olduğu görülmektedir. Grafikten yola çıkarak kriyojenik işlem görmüş üç takımın da iyi sonuç verdiği ilerleme oranı 0,30 mm/diş olduğu gözlemlenmektedir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri 0,15 mm/diş ve TiAlN-NANO kaplamalı kesici uça görülmüştür. Şekil 4.16b' de kesici uçların ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkileri gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde ilerleme oranında olduğu gibi kesme hızında da ara değer olarak alınan 350 m/dak' da her üç takımın da iyi yüzey pürüzlülük değerleri verdiği görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri ise 350 m/dak ve TiAlN-NANO kaplamalı kesici uça görülmektedir. Grafiklerden yola çıkarak normal kesici uçlarla yapılan deneylerde ilerleme oranı ve kesme hızı parametrelerinin malzemenin yüzey pürüzlülük değerlerine etkisinin büyük olduğu gözlenmiş fakat kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yapılan deneylerde ise bu parametrelerin yüzey pürüzlülük değerine etkisinin minimum düzeylerde olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sonucu olarak takımlara uygulanan kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülük değeri için olumlu etki yarattığı düşünülmektedir.

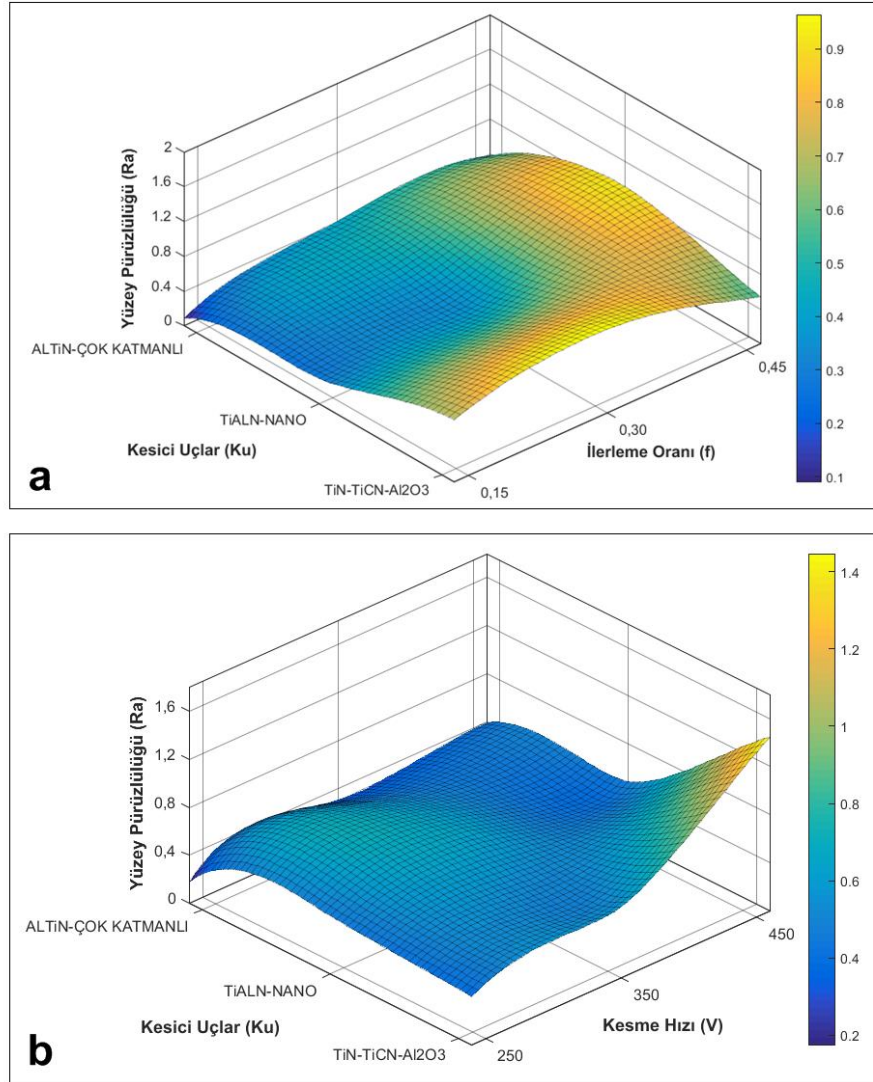


Şekil 4.16. Normal malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu yüzey pürüzlülüğü grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı

4.4.3. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri grafiği Şekil 4.17’ de gösterilmiştir. Şekil 4.17a’ da kesici uçların ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri gösterilmiştir. Normal malzeme ile yapılan deneylerde ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin de arttığı bilinmektedir. Fakat kriyojenik işlem görmüş malzemeler ile yapılan deneylerde, AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uç ile TiAlN-NANO kaplamalı kesici uçlarda 0,15 mm/diş ve 0,30 mm/ diş ilerleme oranlarında düşük yüzey pürüzlülük değerlerine sahip oldukları görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülük değerinin 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uçta görülmektedir. Şekil 4.17b’ de kesici uçlar ve kesme hızının yüzey

pürüzlülüğe etkisi görülmektedir. Normal malzemelerle yapılan değerlerde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı bilinmektedir. Ancak kriyojenik işlem görmüş malzemelerle yapılan deneylerde TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç ve 450 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülük değerinde ciddi artış gözlenmektedir. Bunun sonucunda TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici ucun, diğer kriyojenik malzeme üzerinde yüzey pürüzlülük değerleri için olumsuz etki yarattığı düşünülmektedir.



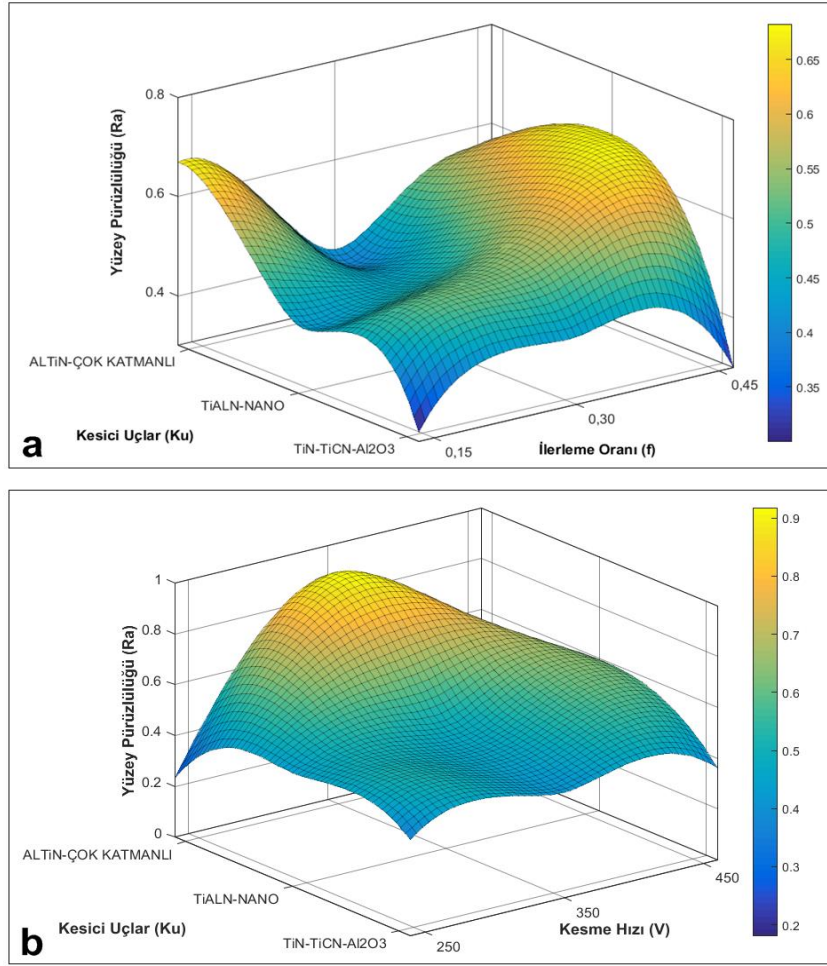
Şekil 4.17. Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu yüzey pürüzlülüğü grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.

4.4.4. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri grafiği Şekil 4.18' de

gösterilmiştir. Şekil 4.18a' da kesici uçların ve ilerleme oranının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri gösterilmiştir. Burada en düşük yüzey pürüzlülüğünü TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç 0,45 mm/diş ilerlemede görülmektedir. Diğer kesici uçlarda artışlar gözlemlenmiştir. Al₂O₃ katman, aşındırıcı aşınmaya karşı direnç kazandırmak içindir. TiCN kaplamalar ise iyi bir aşınma direnci sağlar ve sert malzemelerin işlenmesinde olumlu etkiye sahiptir. TiN kaplama, yüzeydeki sürtünme katsayısını düşük tutarak talaş yığılmasını engeller [34]. Şekil 4.18a' da görüldüğü gibi bu kaplamaların tek bir kesici takımında kullanılması aşınmaya karşı yüksek direnç sağlamıştır. Şekil 4.18b' de kesici uçlar ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri gösterilmiştir. AlTiN kaplamalı kesici uç ve 250 m/dak kesme hızında en iyi yüzey pürüzlülük değeri görüşmüştür. Fakat aynı kesici uç ve 350 m/dak kesme hızında sert artış göstermiş, daha sonra tekrar düşmüştür. Şekil 4.18a' da olduğu gibi Şekil 4.18b' de de TiN-TiCN-Al₂O₃ diğer kesici uçlara göre daha iyi yüzey pürüzlülük değerlerine sahip olduğu görülmektedir.





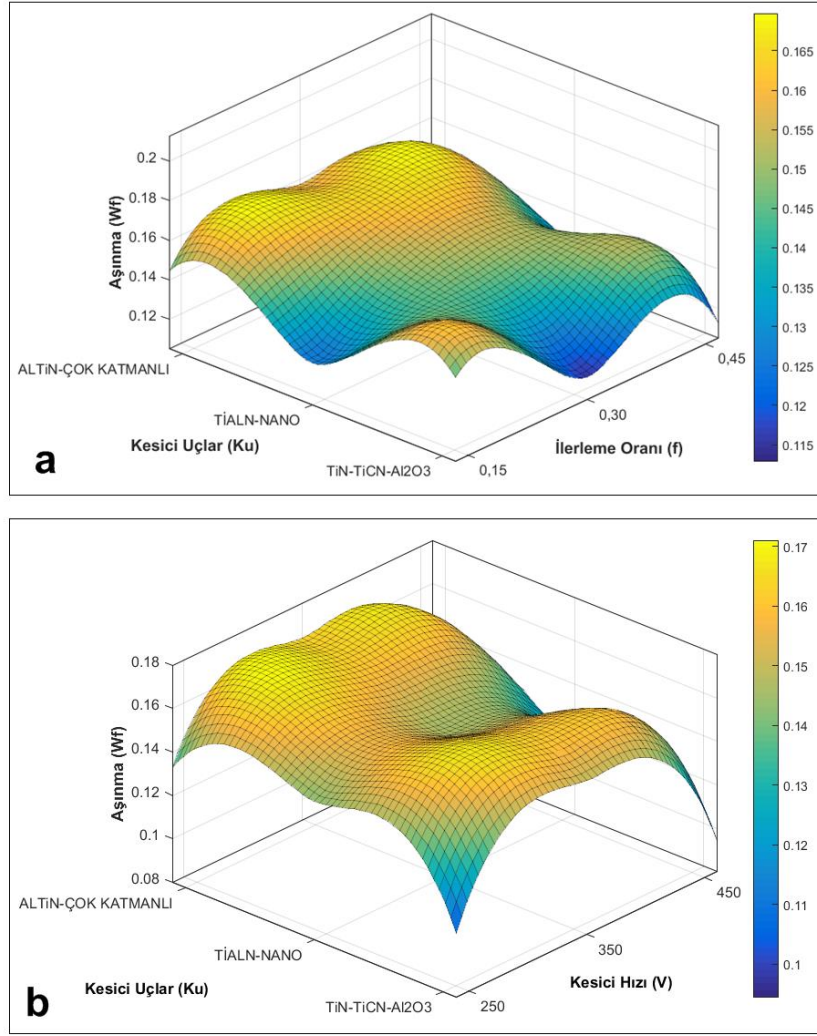
Şekil 4.18. Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu yüzey pürüzlülüğü grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.

4.5. KESME PARAMETRELERİNİN AŞINMAYA ETKİSİ

Deneylerden elde edilen aşınma değerlerinin ortalamalarına kesme parametrelerinin etkilerinin gözlemlenmesi için 3 boyutlu grafikler kullanılmıştır. Bu grafiklerin çizdirilmesinde MATLAB programı kullanılmıştır. Grafiklerin yorumlanmasında parametrelerin ve deneysel sonuçların tamamı dikkate alınmıştır.

4.5.1. Normal Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Aşınmaya Etkisi

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen aşınma değerleri grafiği Şekil 4.19' da gösterilmiştir. Şekil 4.19a' da ilerleme oranı ve kesici uçların aşınmaya etkileri gösterilmiştir. En yüksek aşınma değeri AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uçta olurken, en düşük aşınma değerinin 0,30 mm/diş ilerleme oranında ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta olduğu görülmektedir. Bu durum kesici takım kaplama türüne atfedilmektedir. Şekil 4.19b' ye bakıldığında kesme hızı ve kesici uçların aşınma üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Yine en yüksek aşınma değeri AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uçta görülürken en düşük aşınma değeri ise TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta görülmektedir. İki grafikte incelendiğinde, belirlenen ilerleme oranları ve kesme hızlarında en düşük aşınma değerlerini veren kesici ucun TiN-TiCN-Al₂O₃ olduğu görülmektedir. Dolayısıyla iki grafikte de birbirine paralel sonuçlar gözlemlenmiştir.

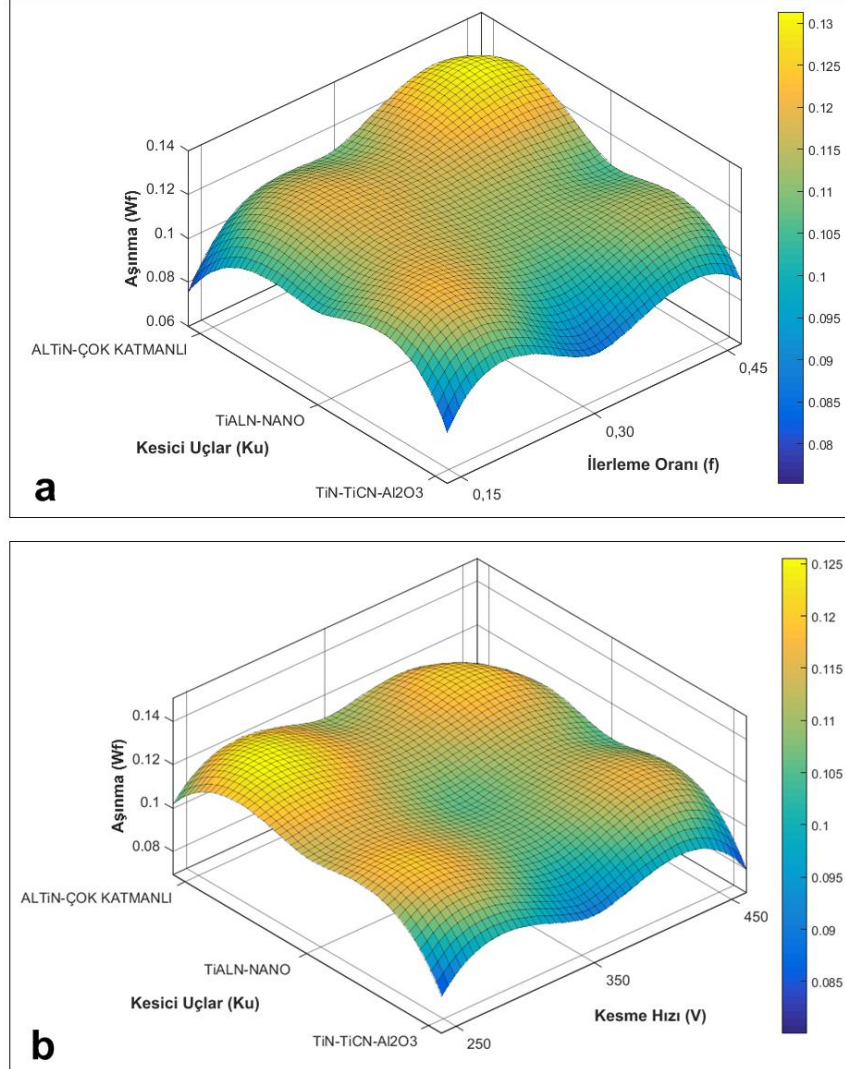


Şekil 4.19. Normal malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu aşınma grafikler a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.

4.5.2. Normal Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Aşınmaya Etkisi

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen aşınma değerleri grafiği Şekil 4.20’ de gösterilmiştir. Şekil 4.20a’ da ilerleme oranı ve kesici uçların aşınmaya etkileri gösterilmiştir. En düşük aşınma değeri 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uçta görülürken en yüksek aşınma değeri de yine AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uçta 0,45 mm/diş ilerleme oranında görülmektedir. İlerleme oranı göz önüne alındığında normal malzeme ve kriyojenik işlem görmüş uçlarla yapılan deneyler incelendiğinde en iyi aşınma değerlerine TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici ucun sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.20b’ de kesme hızı ve kesici uçların aşınma üzerindeki etkileri gösterilmiştir. En yüksek aşınma değeri 250 m/dak kesme hızı ve AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uçta

görülürken en düşük aşınma değeri ise 450 m/dak kesme hızında TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta olduğu görülmektedir. Şekil 4.20 incelendiğinde aşınma oranı için en iyi değerler TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta görülmektedir. Bu durumda kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin aşınma üzerine doğrudan bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.



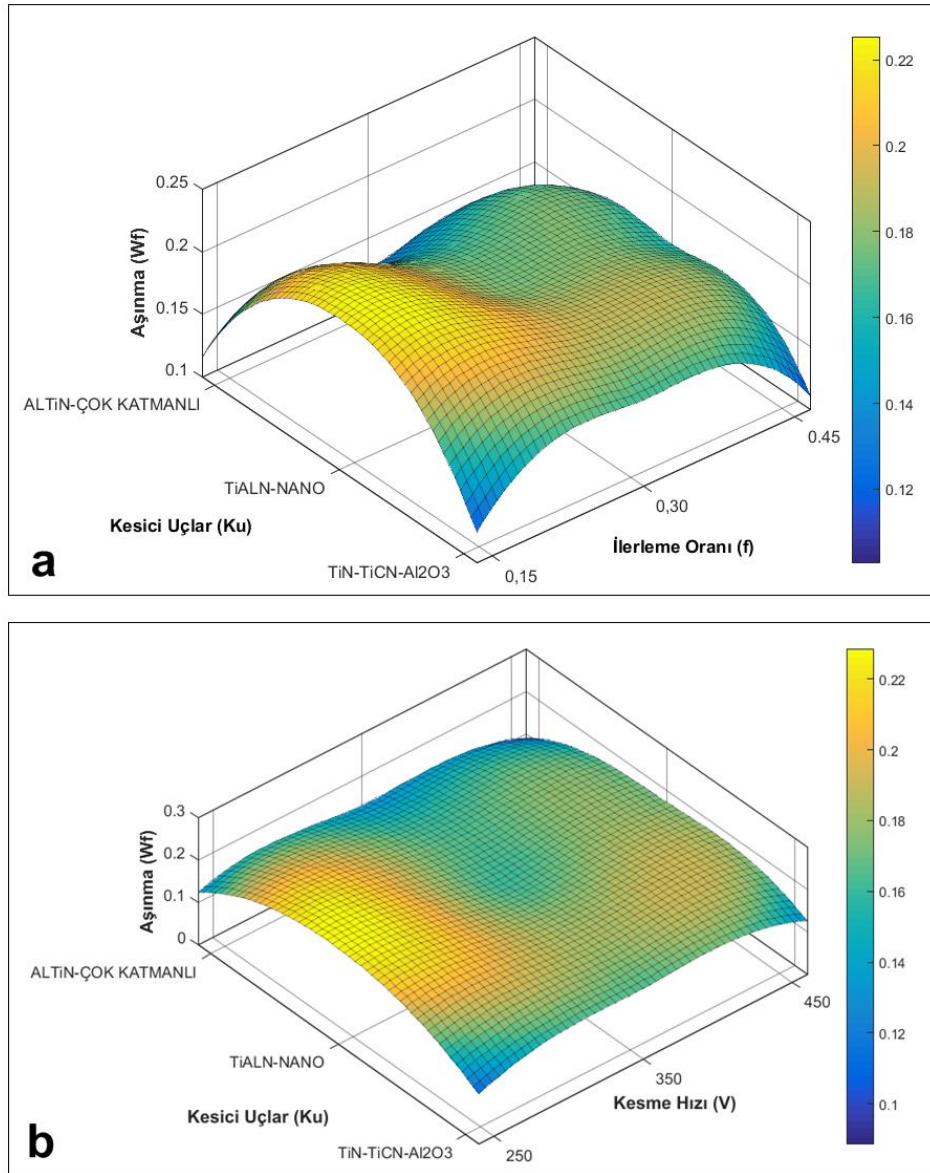
Şekil 4.20. Normal malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu aşınma grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.

4.5.3. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Aşınmaya Etkisi

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen aşınma değerleri grafiği Şekil 4.21’ de gösterilmiştir.

Şekil 4.21a’ da ilerleme oranı ve kesici uçların aşınmaya etkileri gösterilmiştir. 0,30 ve 0,45 mm/diş ilerleme oranlarında kesici uçların tamamında aşınma değerleri birbirine

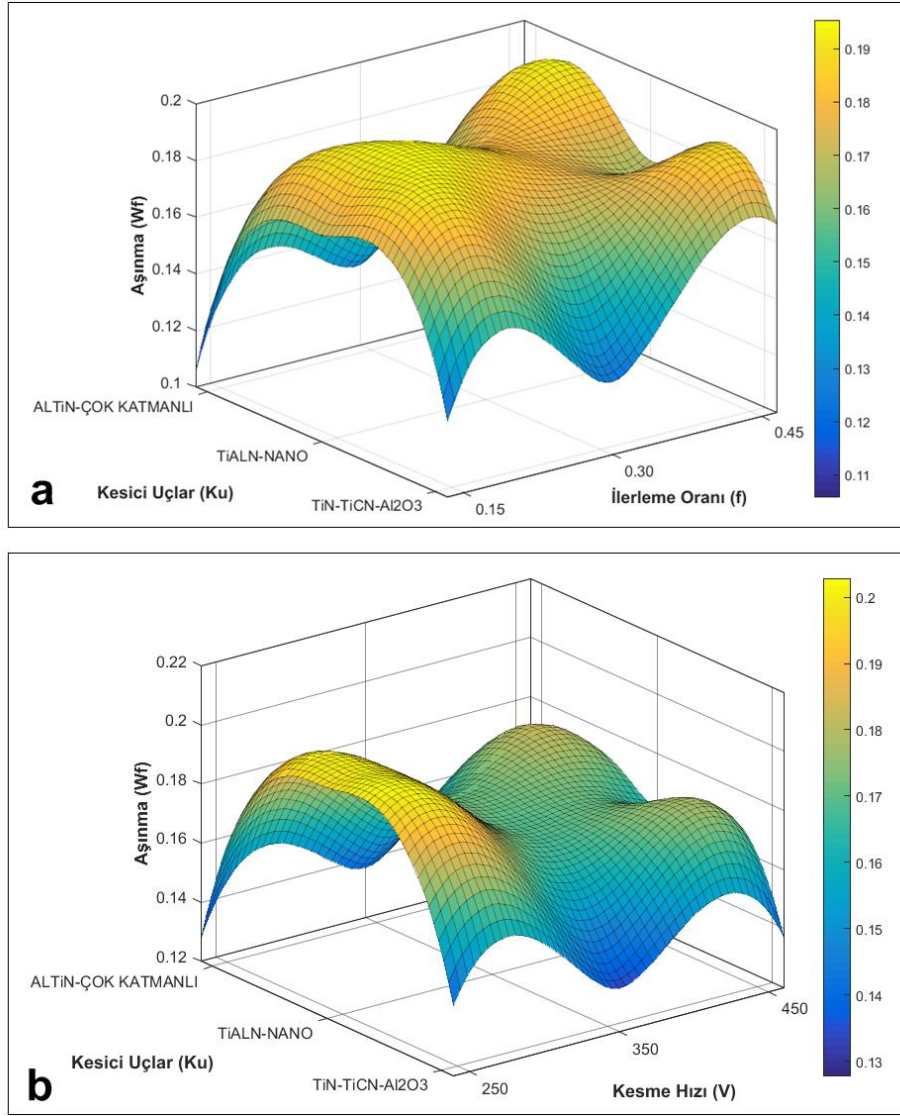
yakınken 0,15 mm/diş ilerleme oranında TiAlN-NANO kaplamalı kesici ucun Şekil 4.21a'daki en yüksek aşınma değerine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.21b' de kesme hızı ve kesici uçların aşınma üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 4.21b' de kesme hızlarının, AlTiN-ÇOK KATMANLI ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçlar için, aşınma oranı üzerinde çok etki göstermediği ve düz bir grafik ortaya çıktığı görülmektedir. Fakat TiAlN-NANO kaplamalı kesici uç 250 m/dak kesme hızında en yüksek aşınma değerine sahipken 350 m/dak kesme hızında düşüş göstermiştir. Yapılan sertlik ölçümlerinde kriyojenik malzemenin az da olsa sertleştiği bilinmektedir. Grafikler incelendiğinde kesme hızlarında Şekil 4.21b' de ani değişimlerin olmaması bu duruma atfedilmektedir.



Şekil 4.21. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu aşınma grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.

4.5.4. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Aşınmaya Etkisi

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen aşınma değerleri grafiği Şekil 4.22' de gösterilmiştir. Şekil 4.22a' da ilerleme oranı ve kesici uçların aşınmaya etkileri gösterilmiştir. 0,15 ve 0,30 mm/diş ilerleme oranında AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uç ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç iyi aşınma değerlerine sahipken, TiAlN-NANO kaplamalı kesici uç yüksek aşınma değerlerine sahip olduğu görülmektedir. En düşük aşınma değeri 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uçta görülürken 0,45 mm/diş ilerleme oranında ani bir şekilde yükseldiği ve en yüksek aşınma değerine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.22b' de kesme hızı ve kesici uçların aşınmaya etkileri gösterilmektedir. 350 m/dak kesme hızında bütün kesici uçlarda aşınma değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. En yüksek aşınma değeri 250 m/dak ve TiAlN-NANO kesici uçta olduğu görülmektedir. Şekil 4.22a ve Şekil 4.22b incelendiğinde grafik değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde iki grafik incelendiğinde kriyojenik işlemin AlTiN-ÇOK KATMANLI ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kesici uçlarda iyi sonuç verdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.22. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu aşınma grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.

4.6. KESME PARAMETRELERİNİN SICAKLIĞA ETKİSİ

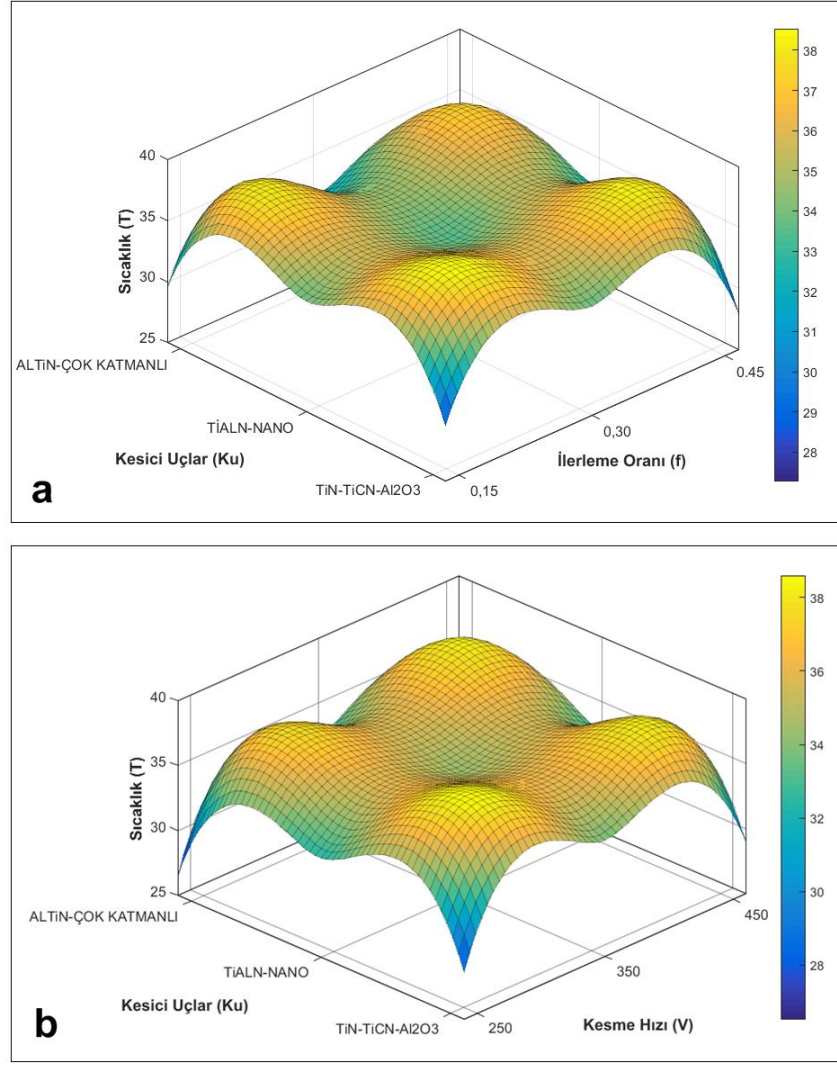
Deneylerden elde edilen sıcaklık değerlerinin ortalamalarına kesme parametrelerinin etkilerinin gözlemlenmesi için 3 boyutlu grafikler kullanılmıştır. Bu grafiklerin çizdirilmesinde MATLAB programı kullanılmıştır. Grafiklerin yorumlanmasında parametrelerin ve deneysel sonuçların tamamı dikkate alınmıştır.

4.6.1. Normal Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Sıcaklığa Etkisi

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık değerleri grafiği Şekil 4.23' te gösterilmiştir. Şekil

4.23a' da ilerleme oranı ve kesici uçların sıcaklık üzerine etkileri gösterilmiştir. Şekil 4.23a' da ilerleme oranı arttıkça sıcaklığında arttığı görülmektedir. Fakat 0,30 mm/diş ilerleme oranında üç takım için sıcaklık değerleri düşük göstermektedir. TiAlN-NANO kaplamalı kesici ucun diğer uçlara göre düşük sıcaklıklar oluşturduğu görülmektedir. En düşük sıcaklık değerinin 0,45 mm/diş ilerleme oranı ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta olduğu görülmektedir. Şekil 4.23b' de kesme hızı ve kesici uçların sıcaklık üzerine etkileri görülmektedir. İlerleme oranında olduğu gibi Şekil 4.23b' de de kesme hızı arttıkça sıcaklığın arttığı görülmektedir. Fakat 350 m/dak kesme hızında kesici uçların tamamı için sıcaklık değerleri düşük seviyeleri göstermektedir. En düşük sıcaklığın 250 m/dak kesme hızı ve AlTiN-ÇOK KATMANLI ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kesici uçta olduğu görülmektedir. Şekil 4.23' e bakıldığında en iyi sonucu TiAlN-NANO kaplamalı kesici ucun verdiği görülmektedir. Bu durum kaplama tipine atfedilmektedir.

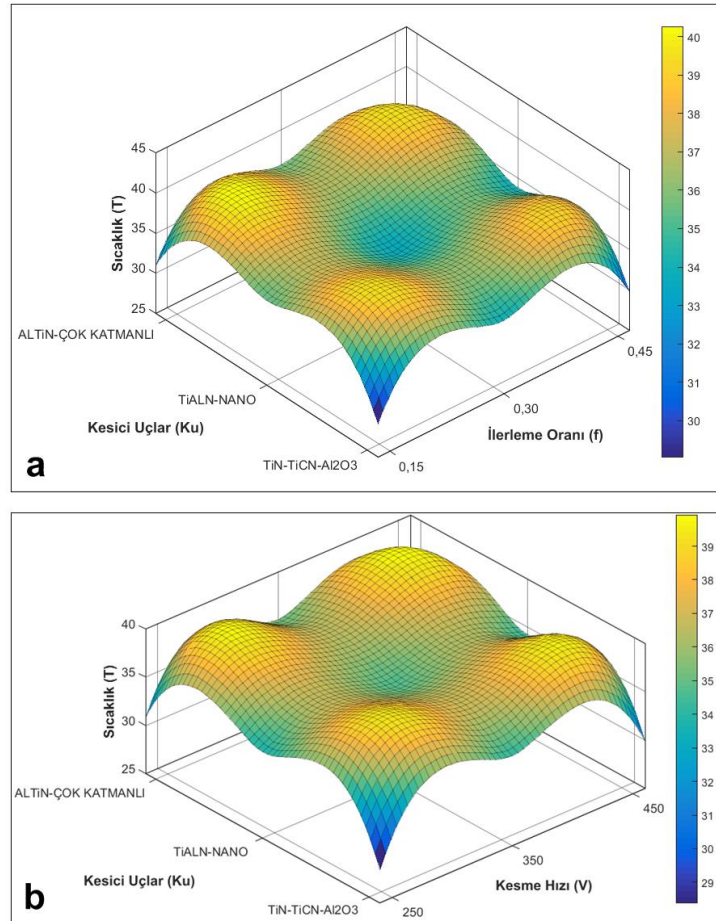




Şekil 4.23. Normal malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu sıcaklık grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.

4.6.2. Normal Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Sıcaklığa Etkisi

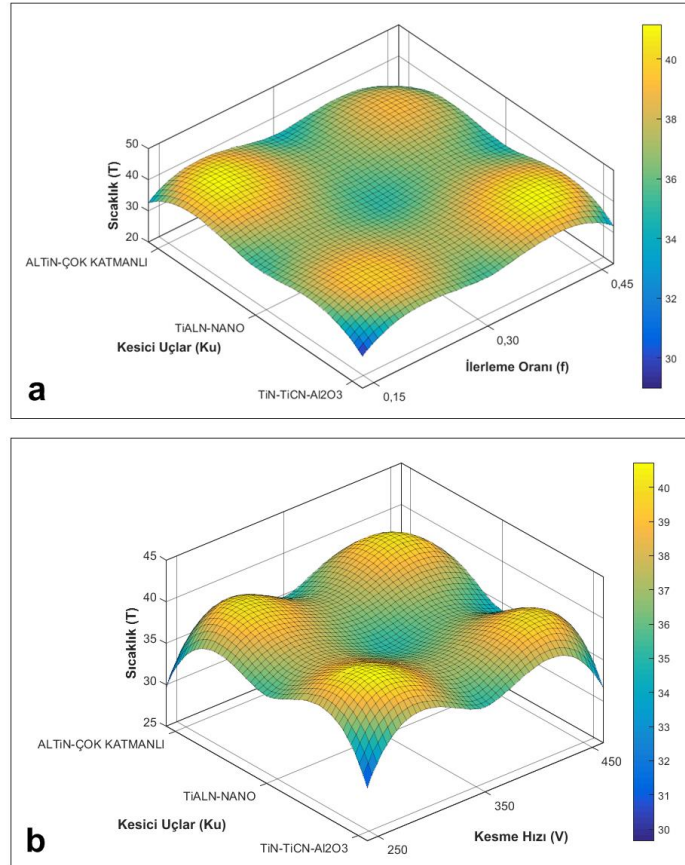
Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık değerleri grafiği Şekil 4.24' te gösterilmiştir. Şekil 4.24a' da ilerleme oranı ve kesici uçların sıcaklık üzerine etkileri gösterilmiştir. En düşük sıcaklık 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta görülmüştür. ALTiN-ÇOK KATMANLI ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçlarda ilerleme oranı artarken sıcaklık oranının da arttığı görülmekte, ancak TiAlN-NANO kaplamalı kesici uca bakıldığında ilerleme oranı artsa da düşük sıcaklık değerleri oluşturduğu görülmektedir. Şekil 4.24b' ye bakıldığında kesme hızı ve kesici uçların sıcaklık üzerindeki etkileri görülmektedir. 350 m/dak kesme hızının her üç takım için de düşük sıcaklık değerleri elde edilmesi için uygun değer olduğu görülmektedir. 250 m/dak kesme hızında ALTiN-ÇOK KATMANLI kesici uç düşük sıcaklık değerleri verirken, 450 m/dak kesme hızında en yüksek sıcaklık değerine sahiptir.



Şekil 4.24. Normal malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu sıcaklık grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.

4.6.3. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Normal Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Sıcaklığa Etkisi

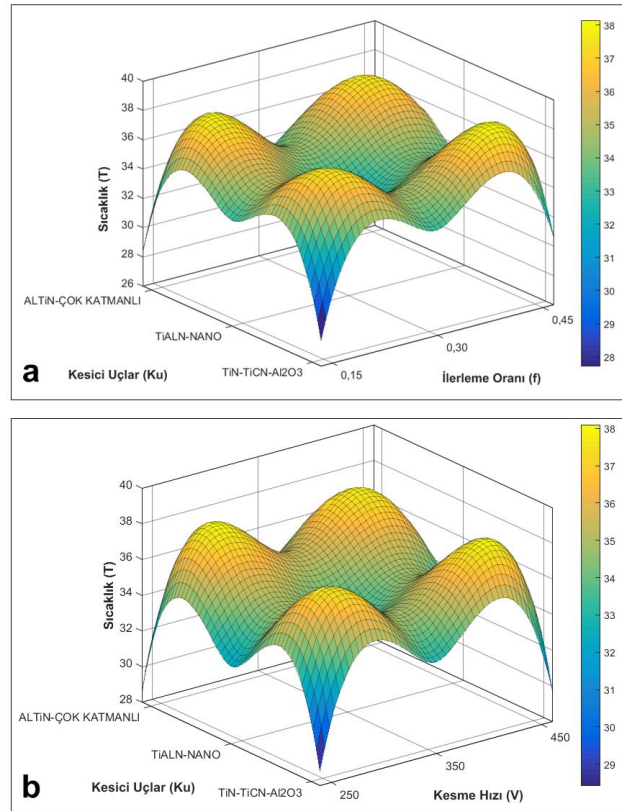
Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık değerleri grafiği Şekil 4.25’ te gösterilmiştir. Şekil 4.25a’ da ilerleme oranı ve kesici uçların sıcaklık üzerine etkileri gösterilmiştir. En düşük sıcaklık değeri 0,15 mm/diş ilerleme ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uça oluştuğu görülmektedir. 0,30 mm/diş ilerlemede kesici uçların tamamında düşük sıcaklık değerleri oluştuğu görülmektedir. TiAlN-NANO kaplamalı kesici uça üç ilerleme oranı içinde düşük sıcaklıklar ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Şekil 4.25b’ de kesme hızı ve kesici ucun sıcaklık üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 4.25b’ de kesme hızı arttıkça sıcaklığın da arttığı görülmektedir. Ancak 350 m/dak kesme hızında üç kesici uç için de düşük sıcaklık değerleri ortaya çıkardıkları görülmektedir. En düşük sıcaklık değeri 250 m/dak kesme hızı ve AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uça olduğu görülmektedir. Şekil 4.25 incelendiğinde en düşük sıcaklık değerlerini TiAlN-NANO kaplamalı kesici ucun verdiği görülmektedir.



Şekil 4.25. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, normal kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu sıcaklık grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.

4.6.4. Kriyojenik İşlem Görmüş Malzeme ve Kriyojenik İşlem Görmüş Kesici Uçlarla Yürütülen Deneylerde Kesme Parametrelerinin Sıcaklığa Etkisi

Belirlenen tam faktöriyel deneysel tasarıma (Çizelge 2.6) bağlı olarak yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık değerleri grafiği Şekil 4.26' da gösterilmiştir. Şekil 4.26a' da ilerleme oranı ve kesici uçların sıcaklık üzerine etkileri gösterilmiştir. En düşük sıcaklık değeri 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta olduğu görülmektedir. Ayrıca AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uç ve 0,15 mm/diş ilerleme oranında düşük sıcaklık elde edilmiştir. Şekil 4.26a' da ilerleme oranı arttıkça sıcaklığın arttığı görülmektedir. Düşük sıcaklıkların TiAlN-NANO kaplamalı kesici uçta olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.26b' de kesme hızı ve kesici uçların sıcaklık üzerine etkileri görülmektedir. En düşük sıcaklık değerinin 250 m/dak kesme hızı TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta meydana geldiği görülmektedir. Şekil 4.26b' de kesme hızı arttıkça sıcaklığın da kademeli olarak arttığı görülmektedir. Fakat 350 m/dak kesme hızında ve kesici uçların tamamında sıcaklığın düştüğü görülmektedir. Ayrıca TiAlN-NANO kaplamalı kesici uçta da tüm kesme hızlarında düşük sıcaklıkların ölçüldüğü görülmektedir. Bu durum kaplama tipine atfedilmektedir.



Şekil 4.26. Kriyojenik işlem görmüş malzeme, kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylere ait üç boyutlu sıcaklık grafikleri a) İlerleme oranı b) Kesme hızı.

Sıcaklık grafikleri incelendiğinde kriyojenik işlemin minimum sıcaklık değerininde elde edilmesinde bir etkisinin olmadığı görülmüştür. İmalat işlemlerinde genellikle ve öncelikle arzu edilen minimum yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasıdır. Bu çalışmada AA 6061'in işlenmesinde kesme sıcaklıklarının fark edilebilir bir düzeyde oluşmadığı sonucuna varılmıştır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada piyasadan temin edilen 6061 AA, piyasadan temin edildiği şekliyle ve kriyojenik işlem uygulanmış halde kullanılarak yüzey frezeleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kullanılan kaplamalı kesici takımlara da kriyojenik işlem ve temperleme uygulanmış, kesici takımların piyasadan temin edilmiş normal hali de kullanılarak deneyler yürütülmüştür. Bunun yanında üç farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme oranı da seçilmiş ve bunlara göre tam faktöriyel tasarım kullanılarak deneysel tasarım oluşturulmuştur. Normal malzeme ve normal takım için 27 deney, normal malzeme ve kriyojenik işlem görmüş takım için 27 deney, kriyojenik işlem görmüş malzeme ve normal takım için 27 deney ve kriyojenik işlem görmüş malzeme ve kriyojenik işlem görmüş takım için 27 deney olmak üzere toplamda 108 deney yapılmıştır. Deneyler net sonuçlar elde edilene kadar, kullanılmamış kesici takımlarla tekrarlanmıştır. Her bir 27 adet deneyler için kesme parametrelerinin ve kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme sıcaklığına etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçları şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde en düşük ortalama pürüzlülük değeri TiAlN-NANO kaplamalı kesici uç, 450 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/diş ilerleme oranında 0,23 μm ölçülmüştür. Aynı şekilde en düşük aşınma değeri Deney 1, Deney 16, Deney 18, Deney 24 ve Deney 26 da 0,11 mm olarak ölçülmüştür. En düşük sıcaklık AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uç, 250 m/dak kesme hızı ve 0,45 mm/diş ilerleme oranında 29,6 °C olarak ölçülmüştür.
- Normal malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde en düşük ortalama pürüzlülük değeri TiAlN-NANO kaplamalı kesici uç, 450 m/dak kesme hızı ve 0,30 mm/diş ilerleme oranında 0,21 μm ölçülmüştür. Aynı şekilde en düşük aşınma değeri AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uç, 450 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/diş ilerleme oranında 0,073 mm olarak ölçülmüştür. En düşük sıcaklık TiAlN-NANO kaplamalı kesici uç, 450 m/dak kesme hızı ve 0,30 mm/diş ilerleme oranında 33 °C olarak ölçülmüştür.
- Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerde

en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uç, 450 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/diş ilerleme oranında 0,19 µm ölçülmüştür. Aynı şekilde en düşük aşınma değeri Deney 1 ve Deney 15'te 0,11 mm olarak ölçülmüştür. En düşük sıcaklık AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uç, 350 m/dak kesme hızı ve 0,30 mm/diş ilerleme oranında 33 °C olarak ölçülmüştür.

- Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerde en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uç, 450 m/dak kesme hızı ve 0.30 mm/diş ilerleme oranında 0,24 µm ölçülmüştür. Aynı şekilde en düşük aşınma değeri Deney 3, Deney 15 ve Deney 26' da 0,12 mm olarak ölçülmüştür. En düşük sıcaklık değeri TiAlN-NANO kaplamalı kesici uç, 250 m/dak kesme hızı ve 0,30 mm/diş ilerleme oranında 31,2 °C olarak ölçülmüştür.
- Normal malzeme ve kriyojenik malzemedan elde edilen SEM görüntülerine göre kriyojenik işlemin malzemenin iç yapısında bir değişiklik yapmadığı görülmüştür.
- Normal malzeme ve kriyojenik malzemenin yüzeyinden Vickers (HRV) cinsinden yapılan sertlik ölçümlerinde kriyojenik işlem görmüş malzeme yüzeyinin az da olsa sertleştiği görülmüştür. Sertlik ölçümlerinde normal malzemenin en yüksek sertlik değeri 113,4 HRV olduğu gözlemlenirken kriyojenik işlem görmüş malzemenin en yüksek sertlik değeri 122,6 HRV olmuştur.
- Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneyler için uygulanan varyans analizinde yüzey pürüzlülüğüne etki eden en etkili parametre %37,31 ile ilerleme oranı olmuştur. Aşınmaya etki eden en etkili parametre %14,68 ile kesme hızı olmuş ve kesme sıcaklığına etki eden en etkili parametre %19,27 ile ilerleme oranı olmuştur.
- Normal malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneyler için uygulanan varyans analizinde yüzey pürüzlülüğüne etki eden en etkili parametre %5,57 ile ilerleme oranı olmuştur. Aşınmaya etki eden en etkili parametre %11,43 ile kesici uç olmuş ve kesme sıcaklığına etki eden en etkili parametre %28,94 ile kesici uç olmuştur.
- Kriyojenik malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneyler için uygulanan

varyans analizinde yüzey pürüzlülüğüne etki eden en etkili parametre %16,80 ile kesici uç olmuştur. Aşınmaya etki eden en etkili parametre %22,94 ile kesici uç olmuş ve kesme sıcaklığına etki eden en etkili parametre %5,57 ile ilerleme oranı olmuştur.

- Kriyojenik malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneyler için uygulanan varyans analizinde yüzey pürüzlülüğüne etki eden en etkili parametre %9,80 ile kesme hızı olmuştur. Aşınmaya etki eden en etkili parametre %18,52 ile kesici uç olmuş ve kesme sıcaklığına etki eden en etkili parametre %20,02 ile ilerleme oranı olmuştur.
- Normal malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneyler için çizilen üç boyutlu grafikler incelendiğinde ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı gözlemlenmiştir. Bu grafiklerde 0,15 mm/diş ilerleme oranında üç kesici uçta da en iyi yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçüldüğü gözlemlenmiştir. Kesme hızı grafiği incelendiğinde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün düştüğü görülmüştür. Burada 350 m/dak kesme hızında, TiAlN-NANO kesici uç diğer uçlara göre daha düşük bir pürüzlülük değeri sağlamıştır. Aşınma grafikleri incelendiğinde en yüksek aşınma AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uçta olurken en düşük aşınma değeri ise 0,30 mm/diş ilerleme oranında ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta görülmüştür. Kesme hızı açısından değerlendirildiğinde ise yine en yüksek aşınma değeri AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uçta, en düşük aşınma değeri ise TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta görülmüştür. Grafikler sıcaklık açısından incelendiğinde ise ilerleme oranı arttıkça sıcaklığın da arttığı görülmüştür. Aynı şekilde kesme hızı arttıkça sıcaklığın da arttığı gözlemlenmiştir. Ancak bu grafikte 350 m/dak kesme hızında üç kesici uç için sıcaklık değerleri düşük seviyelerde kalmıştır.
- Normal malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneyler için elde edilen üç boyutlu grafikler incelendiğinde 0,15 mm/diş ilerleme oranında ve AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uçta yüzey pürüzlülük değerleri maksimumdayken aynı ilerleme oranında diğer kesici uçlarda yüzey pürüzlülük değerinin düştüğü görülmüştür. Kesme hızı açısından bakıldığında ise her üç kesici ucunda 350 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülük değerlerinin düştüğü görülmüştür. Aşınma grafikleri incelendiğinde en düşük takım aşınması 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uçta görülmüştür.

Kesme hızı açısından en yüksek aşınma değeri 250 m/dak kesme hızı ve AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uçta olduğu gözlemlenmiş ve kesme hızı arttıkça aşınma değerlerinin düştüğü görülmüştür. Bu grafiklerde en düşük sıcaklık 0,30 mm/diş ilerleme oranı ve TiAlN-NANO kaplamalı kesici uçta görülmüştür. Yine burada en iyi performansı her üç kesici uç için 350 m/dak kesme hızında olduğu görülmüştür.

- Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve normal kesici uçlarla yürütülen deneylerden elde edilen üç boyutlu grafikler incelendiğinde AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uç ile TiAlN-NANO kaplamalı kesici uçlarda 0,15 mm/diş ve 0,30 mm/diş ilerleme oranlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin düştüğü görülmüştür. Kriyojenik işlem görmüş malzemede en iyi yüzey pürüzlülüğü için AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uç önerilmektedir. Kesme hızı açısından bakıldığında ise TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici ucun yüzey pürüzlülük değerleri için olumsuz etki oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ancak burada da kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin düştüğü görülmüştür. Aşınma grafikleri incelendiğinde TiAlN-NANO kesici uç ve 0,15 mm/diş ilerlemede aşınmanın ciddi şekilde yükseldiği görülmüştür. Kesme hızı açısından bakıldığında ise AlTiN-ÇOK KATMANLI ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçlarda üç kesme hızında da düşük aşınma değerlerinin olduğu görülmüştür. Sıcaklık açısından bakıldığında ise üç farklı ilerleme oranı ve üç farklı kesici uçlarda sıcaklıkların düştüğü görülmektedir. Kesme hızı açısından bakıldığında kesme hızı arttıkça sıcaklığın arttığı ancak 350 m/dak kesme hızında üç farklı kesici uçta sıcaklığın düşük olduğu gözlemlenmiştir.
- Kriyojenik işlem görmüş malzeme ve kriyojenik işlem görmüş kesici uçlarla yürütülen deneylerden elde edilen üç boyutlu grafikler incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülüğü TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç ve 0,15 mm/diş ilerleme oranında görülmektedir. Kesme hızı açısından bakıldığında ise AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uçta yüzey pürüzlülük değerinin arttığı görülmüştür. Takım aşınması açısından değerlendirildiğinde ise AlTiN-ÇOK KATMANLI ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçların iyi aşınma değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Bu grafikte en düşük aşınma değeri 0,15 mm/diş ilerleme oranında tespit edilmiştir. Kesme hızı açısından bakıldığında ise en iyi performansı AlTiN-ÇOK KATMANLI ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçların

sağladığı görülmüştür. Burada en düşük aşınma değeri 350 ve 450 m/dak kesme hızlarında tespit edilmiştir. Sıcaklık için bakıldığında en düşük sıcaklık değeri 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uçta olduğu görülmüştür. Kesme hızı grafiği incelendiğinde ise AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uç ile TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici ucun en iyi performansı gösterdiği görülmüştür.

- Bu çalışmada kesici takımlara uygulanan kriyojenik ısıtılma işleminin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne olumlu etki sağladığı, ancak sıcaklık için kayda değer farklı bir performans göstermediği görülmüştür.
- Kesici uçlara uygulanan kriyojenik işleminde en iyi performansı AlTiN-ÇOK KATMANLI kesici uç ile TiN-TiCN-Al₂O₃ kaplamalı kesici uç göstermiştir.
- Çalışmadan anlaşılmıştır ki 6061 AA' ya uygulanan talaş kaldırma işlemlerinde kesme sıcaklıklarının incelenmesinin gerekli olmadığı kanısına varılmıştır.

Bu çalışmada 6061 AA' nın işlenmesinde farklı kaplama türlerinin ve kriyojenik işlemin işleme performansını ne derecede etkilediği gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise bu malzemeye sadece kriyojenik işlemin uygulanması malzemenin yapısında gözle görülür bir değişikliğe sebebiyet vermediği anlaşılmış, dolayısıyla bu kriyojenik işlemin malzemenin yüzey sertliğinin arttırılmasında uygulanabileceği kanısına varılmıştır. Çalışmada sunulan deneysel yöntem alüminyumun farklı çeşitlerine uygulanabilir nitelikte olup, bu tür çalışmalara kaynak niteliği taşımaktadır. Ayrıca çalışmadan elde edilen deneysel sonuçlar imalat sektörüne rehber olabilecek niteliktedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] G. Samtaş ve S. Korucu, "Optimization of cutting parameters in pocket milling of tempered and cryogenically treated 5754 aluminum alloy," *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, c. 67, sayı 4, ss. 697-707, 2019.
- [2] F. J. da Silva, S. D. Franco, Á. R. Machado, E. O. Ezugwu, ve A. M. Souza, "Performance of cryogenically treated HSS tools," *Wear*, c. 261, ss. 674-685, 2006.
- [3] J. D. Kechagias, C. K. Ziogas, M. K. Pappas, ve I. E. Ntziatzias, "Parameter optimization during finish end milling of Al alloy 5083 using robust design," *Proceedings of the World Congress on Engineering*, c. 1, ss. 6-8, 2011.
- [4] J. Kechagias, G. Petropoulos, V. Iakovakis, ve S. Maropoulos, "An investigation of surface texture parameters during turning of a reinforced polymer composite using design of experiments and analysis," *International Journal of Experimental Desing and Process Optimisation*, c. 1, sayı 2-3, ss. 164-177, 2009.
- [5] V. Danilevsky, "Manufacturing Engineering (No:121)," Ankara, Türkiye: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Publishing, 1973.
- [6] J. L. Yang ve J. C. Chen, "A systematic approach for identifying optimum surface roughness performance in end-milling operations," *Journal Industrial Technology*, c. 17, sayı 1, ss. 1-8, 2001.
- [7] G. Samtaş ve S. Korucu, "Temperlenmiş Alüminyum 5754 Alaşımının Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Taguchi Metodu Kullanılarak Optimizasyonu," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, ss. 46-60, 2019.
- [8] P. G. Benardos ve G. C. Vosniakos, "Predicting surface roughness in machining: A review," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, c. 43, ss.833-844, 2003.
- [9] K. A. Risbood, U. S. Dixit, ve A. D. Sahasrabudhe, "Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process," *Journal of Materials Processing Technology*, c. 132, ss. 203-214, 2003.
- [10] U. Şeker, Takım tasarımı, *Ders notları*, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 1997.
- [11] A. R. Meyers ve T. J. Slattey, "Basic Machining Reference Handbook," New York, Amerika: Industrial Press Incorporated, 2001.
- [12] Y. Chen, Y. Yang, Z. Feng, B. Huang, ve X. Luo, "Surface gradient nanostructures in high speed machined 7055 aluminum alloy," *Journal of Alloys and Compounds*, c. 726, ss. 367-377, 2017.
- [13] R. A. Gonçalves ve M. B. Da Silva, "Influence of Copper Content on 6351 Aluminum Alloy Machinability," *Procedia Manufacturing*, c. 1, ss. 683-695, 2015.

- [14] D. Vakondios, P. Kyratsis, S. Yaldiz, ve A. Antoniadis, "Influence of milling strategy on the surface roughness in ball end milling of the aluminum alloy Al7075-T6," *Measurement Journal of the International Measurement Confederation*, c. 45, ss. 1480-1488, 2012.
- [15] E. Kuram ve B. Ozcelik, "Multi-objective optimization using Taguchi based grey relational analysis for micro-milling of Al 7075 material with ball nose end mill," *Measurement Journal of the International Measurement Confederation*, c. 46, ss. 1849-1864, 2013.
- [16] P. Muñoz-Escalona ve P. G. Maropoulos, "A geometrical model for surface roughness prediction when face milling Al 7075-T7351 with square insert tools," *Journal of Manufacturing Systems*, c. 36, ss. 216-223, 2015.
- [17] B. Rao ve Y. C. Shin, "Analysis on high-speed face-milling of 7075-T6 aluminum using carbide and diamond cutters," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, c. 41, ss. 1763-1781, 2001.
- [18] S. Rawangwong, J. Chatthong, W. Boonchouytan, ve R. Burapa, "Influence of cutting parameters in face milling semi-solid AA 7075 using carbide tool affected the surface roughness and tool wear," *Energy Procedia*, c. 56, ss. 448-457, 2014.
- [19] E. M. Rubio, A. M. Camacho, J. M. Sánchez-Sola, ve M. Marcos, "Surface roughness of AA7050 alloy turned bars: Analysis of the influence of the length of machining," *Journal of Materials Processing Technology*, c. 162-163, ss. 682-689, 2005.
- [20] C. A. S. Bork, J. F. de S. Gonçalves, J. de O. Gomes, ve J. Gheller, "Performance of the jatropha vegetable-base soluble cutting oil as a renewable source in the aluminum alloy 7050-T7451 milling," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, c. 7, sayı 3, ss. 210-221, 2014.
- [21] D. J. Lloyd, "Some aspects of the metallurgy of automotive Al alloys," *Materials Forum*, c. 28, ss. 107-117, 2004.
- [22] Y. Liu, C. Geng, Q. Lin, Y. Xiao, J. Xu, ve W. Kang, "Study on hot deformation behavior and intrinsic workability of 6063 aluminum alloys using 3D processing map," *Journal of Alloys Compounds*, c. 713, ss. 212-221, 2017.
- [23] G. Campatelli ve A. Scippa, "Prediction of milling cutting force coefficients for aluminum 6082-T4," *Procedia CIRP*, c. 1, ss. 563-568, 2012.
- [24] Y. Sun vd., "3D processing map and hot deformation behavior of 6A02 aluminum alloy," *Journal of Alloys and Compounds*, c. 742, ss. 356-368, 2018.
- [25] S. F. Dimin, T. J. S. Anand, R. Jamli ve A. Kamely, "Surface quality investigation of Al 6061-T6511 using TiAlN coated milling tool," *International Journal of Basic and Applied Sciences*, c. 10, sayı 4, ss. 41-45, 2010.
- [26] K. Kadirgama, M. M. Noor, M. M. Rahman, M. R. M. Rejab, C. H. C. Haron, ve K. A. Abou-El-Hossein, "Surface roughness prediction model of 6061-T6 aluminium alloy machining using statistical method," *European Journal Scientific Research*, c. 25, sayı 2, ss. 250-256, 2009.
- [27] B. Rahmati, A. A. D. Sarhan, ve M. Sayuti, "Morphology of surface generated by end milling AL6061-T6 using molybdenum disulfide (MoS2) nanolubrication in end milling machining," *Journal of Cleaner Production*, c. 66, ss. 685-691, 2014.

- [28] M. Sayuti, O. M. Erh, A. A. D. Sarhan, ve M. Hamdi, "Investigation on the morphology of the machined surface in end milling of aerospace AL6061-T6 for novel uses of SiO₂ nanolubrication system," *Journal of Cleaner Production*, c. 66, ss. 655-663, 2014.
- [29] M. S. Sukumar, P. Venkata Ramaiah, ve A. Nagarjuna, "Optimization and prediction of parameters in face milling of Al-6061 using taguchi and ANN approach," *Procedia Engineering*, c. 97, ss. 365-371, 2014.
- [30] M. Y. Tsai, S. Y. Chang, J. P. Hung, ve C. C. Wang, "Investigation of milling cutting forces and cutting coefficient for aluminum 6060-T6," *Computers and Electrical Engineering*, c. 51, sayı C, ss. 1-11, 2016.
- [31] Anonim. (2020, 3 Şubat). *5000 series aluminium*. [Online]. Erişim: <https://www.smithmetal.com/5000-series-aluminium-alloys.htm>.
- [32] S. L. Campanelli, G. Casalino, ve N. Contuzzi, "Multi-objective optimization of laser milling of 5754 aluminum alloy," *Optics and Laser Technology*, c. 52, ss. 48-56, 2013.
- [33] A. M. Pinar, S. Filiz, ve B. S. Ünlü, "A comparison of cooling methods in the pocket milling of AA5083-H36 alloy via Taguchi method," *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, c. 83, ss. 1431-1440, 2016.
- [34] G. Samtaş ve S. Korucu, "Kriyojenik İşlem Görmüş EN AW 5754 (AlMg3) Alüminyum Alaşımının Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü İçin Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu," *Politeknik Dergisi*, c. 22, sayı 3, ss. 665-673, 2018.
- [35] Anonim. (2020, 3 Şubat). *4000 series aluminium alloys*. [Online]. Erişim: <https://prezi.com/cifdh4p6apxw/4000-series-aluminium-alloys/>.
- [36] C. Martini ve A. Morri, "Face milling of the en AB-43300 aluminum alloy by PVD- and CVD-coated cemented carbide inserts," *Internatioanl Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, c. 29, ss. 662-673, 2011.
- [37] Anonim. (2020, 3 Şubat). *3000 series aluminium*. [Online]. Erişim: <https://www.smithmetal.com/3000-series-aluminium-alloys.htm>.
- [38] Anonim. (2020, 3 Şubat). *2000 series aluminium*. [Online]. Erişim: <https://www.smithmetal.com/2000-series-aluminium-alloys.htm>.
- [39] M. K. Dikshit, A. B. Puri, ve A. Maity, "Experimental Study of Cutting Forces in Ball End Milling of Al2014-T6 Using Response Surface Methodology," *Procedia Materials Science*, c. 6, ss. 612-622, 2014.
- [40] Anonim. (2020, 3 Şubat). *1000 series aluminium*. [Online]. Erişim: <https://www.smithmetal.com/1000-series-aluminium-alloys.htm>.
- [41] K. Rajkumar, K. M. Nambiraj, A. Gnanavelbabu, ve P. Sabarinathan, "Machining characteristics evaluation of aluminium composites based on cBN and PCD inserts," *Materials Today Proceedings*, c. 5, ss. 8424-8430, 2018.
- [42] W. Da Zhang, P. K. Bai, J. Yang, H. Xu, J. Z. Dang, ve Z. M. Du, "Tensile behavior of 3104 aluminum alloy processed by homogenization and cryogenic treatment," *Oral Oncology*, c. 24, ss. 2453-2458, 2014.
- [43] H. Liu, J. Wang, H. Yang, ve B. Shen, "Effects of cryogenic treatment on microstructure and abrasion resistance of CrMnB high-chromium cast iron

- subjected to sub-critical treatment,” *Materials Science and Engineering A*, c. 478, sayı 1-2, ss. 324-328, 2008.
- [44] A. Bensely, D. Senthilkumar, D. Mohan Lal, G. Nagarajan, ve A. Rajadurai, “Effect of cryogenic treatment on tensile behavior of case carburized steel-815M17,” *Materials Characterization*, c. 58, sayı 5, ss. 485-491, 2007.
 - [45] K. Gu, H. Zhang, B. Zhao, J. Wang, Y. Zhou, ve Z. Li, “Effect of cryogenic treatment and aging treatment on the tensile properties and microstructure of Ti-6Al-4V alloy,” *Materials Science and Engineering A*, c. 584, ss. 170-176, 2013.
 - [46] Y. Liu, S. Shao, C. Xu, X. Yang, ve D. Lu, “Enhancing wear resistance of Mg-Zn-Gd alloy by cryogenic treatment,” *Materials Letters*, c. 76, ss. 201-204, 2012.
 - [47] G. Ma, D. Chen, Z. Chen, ve W. Li, “Effect of cryogenic treatment on microstructure and mechanical behaviors of the Cu-based bulk metallic glass matrix composite,” *Journal of Alloys and Compounds*, c. 505, sayı 1, ss. 319-323, 2010.
 - [48] N. Sotirov, G. Falkinger, F. Grabner, G. Schmid, R. Schneider, R. J. Grant, R. Kelsch, K. Radlmayr, M. Scheerer, C. Reichl, H. Sehrschön, M. Loipetsberger, “Improved Formability of AA5182 Aluminium Alloy Sheet at Cryogenic Temperatures,” *Materials Today Proceedings*, c. 2, sayı 1, ss. 113-118, 2015.
 - [49] K. Pavan, L. Sachin, S. Mayur, A. Chandrashekar, ve B. S. Ajayy Kumar, “Effect of Cryogenic Treatment on the Mechanical and Microstructural Properties of Aluminium Alloys - a Brief Study,” *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, c. 2, sayı 5, ss. 95-99, 2014.
 - [50] F. Bouzada, M. Cabeza, P. Merino, ve S. Trillo, “Effect of deep cryogenic treatment on the microstructure of an aerospace aluminum alloy,” *Advanced Materials Research*, c. 445, ss. 965-970, 2012.
 - [51] F. Taylan, M. C. Kayacan, ve S. Dalı, "Sert malzemelerin frezelenmesinde takım aşınma davranışlarının belirlenmesi," Doktora Tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2009.
 - [52] J. Y. Huang, Y. T. Zhu, X. Z. Liao, I. J. Beyerlein, M. A. Bourke, ve T. E. Mitchell, “Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel,” *Materials Science and Engineering A*, c. 339, sayı 1-2, ss. 241-244, 2003.
 - [53] S. S. Gill, R. Singh, H. Singh, ve J. Singh, “Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions,” *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, c. 49, sayı 3-4, ss. 256-260, 2009.
 - [54] A. Bensely, A. Prabhakaran, D. Mohan Lal, ve G. Nagarajan, “Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment,” *Cryogenics*, c. 45, sayı 12, ss. 747-754, 2005.
 - [55] V. Leskovšek, M. Kalin, ve J. Vižintin, “Influence of deep-cryogenic treatment on wear resistance of vacuum heat-treated HSS,” *Vacuum*, c. 80, sayı 6, ss. 507-518, 2006.
 - [56] V. Firouzdor, E. Nejati, ve F. Khomamizadeh, “Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 206, sayı 1-3, ss. 467-472, 2008.

- [57] P. Baldissera ve C. Delprete, “Deep Cryogenic Treatment: A Bibliographic Review,” *Open Mechanical Engineering Journal*, c. 2, sayı 1, ss. 1-11, 2008.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Berat Serhat BEKTAŞ

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2021
Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2017
Lise	Sayısal	Şehit İlhan Kartal Anadolu Lisesi	2012

YAYINLAR

Bektaş B. S., Samtaş G., “Alüminyum 6061 T651 alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin kesme sıcaklığı üzerine etkisi,” *ICAR, Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi (International Congress of Academic Research)*, 2020, 17-19 Şubat, Bolu, ss. 132-141.

Bektaş B. S., Samtaş G., “Alüminyum 6061 T651 alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi,” 3. *ERASMUS Uluslararası Akademik Araştırmalar Sempozyumu*, 6-7 Mart, 2020, Ankara, ss. 648-660.