MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEVREK MALZEMELERİN SU JETİ İLE KESİLMESİ SÜRECİNDE ÜRÜN YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

MUSTAFA RAŞİT TURGUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Yusuf KAYNAK

İSTANBUL, 2022

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEVREK MALZEMELERİN SU JETİ İLE KESİLMESİ SÜRECİNDE ÜRÜN YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

MUSTAFA RAŞİT TURGUT

523218050

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Yusuf KAYNAK

İSTANBUL, 2022

ÖNSÖZ

Bu çalışmada endüstride ihtiyaç duyulan çoğu malzemenin kesim işlemini yapabilen çoğu sektöre hitap eden su jeti kesim metodunun daha ileri boyuta taşınması için yapılan çalışmalarda, belirli parametrelerin arttırılıp azaltılmasıyla su jeti ile gevrek malzeme kesiminde oluşan yüzey kusurlarının minimize edilmesinden, kesme parametrelerinin iş parçası üzerine etkilerinden ve malzemede değişen durumlardan bahsedilmektedir.

Yüzey kusurlarının giderilmesi için en uygun parametrelerin saptanması konusunda yapılan çalışmalar literatürde zayıf kalmıştır. Bu bağlamda önerilen bu çalışmada gevrek malzemelerden cam malzemenin su jeti ile kesilmesinde en uygun parametrelerin belirlenmesi, oluşan yüzey kusurlarının nedeni ve çözüm yolları konusunda öncü çalışma olma özelliği taşıyacağı düşünülmektedir.

Tez çalışmam sürecinde değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, yol gösteren danışmanım Prof. Dr. Yusuf KAYNAK hocama destek ve katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim ve şükranlarımı sunarım.

Her zaman yanımda olan, aldığım kararları her zaman destekleyen, cesaretlendiren ve moral veren annem ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2022 **Mustafa Raşit TURGUT**

İÇİNDEKİLER

SAYFA NUMARASI

ÖNSÖZ i

İÇİNDEKİLER ii

ÖZET iv

ABSTRACT v

SEMBOLLER vi

KISALTMALAR vii

ŞEKİL LİSTESİ viii

TABLO LİSTESİ x

1.GİRİŞ 1

2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 3

2.1. Su Jeti Makinesinin Çalışma Prensibi 3

2.1.1 Yüksek Basınç Pompası 8

2.2. Aşındırıcılı Su jeti Kesim Yöntemiyle Kesilen Malzemeler 10

2.3. Sujeti Kesim Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları 11

2.4. Sujeti Kesim Yöntemleri 12

2.5 Aşındırıcılı Su Jeti İle Kesim İşleminin Diğer Kesim Yöntemleri İle Karşılaştırılması 13

2.5.1. Aşındırıcılı Su Jetinin Kullanıldığı Sektörler 13

2.6. Aşındırıcılı Su Jeti Kesim Yönteminde Malzeme Aşındırma İşlemi 14

2.6.1. Kesme Derinliğine Etki Eden Faktörler 16

2.6.2. Koniklik Oluşumuna Etki Eden Faktörler 17

2.7. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler 19

3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DÜZENEKLER 21

3.1. Deneyde Kullanılan Malzemenin Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri 21

3.2. Kullanılan Ölçüm Cihazları 22

4. BULGULAR VE TARTIŞMA 25

4.1. İlerleme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne ve Koniklik Oluşumuna Etkisi 27
4.2. Elde Edilen En İdeal Kesme Parametreleri 27
4.3. Kesme Yüksekliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne ve Koniklik Oluşumuna Etkisi. 30
4.4. Kesme Basıncının Yüzey Pürüzlülüğüne ve Koniklik Oluşumuna Etkisi 31
4.5. Malzeme Kalınlığının Yüzey Pürüzlülüğüne ve Koniklik Oluşumuna Etkisi 33
4.6. Kesme Esnasında Malzeme Yüzeyinde Oluşan Yüzey Kusurları 36
4.7. Malzeme Yüzeyinde Erezyon ile Oluşan Yüzey 40
4.8. Deneysel Tasarım 42
4.8.1. Anova Analizi..... 42
4.8.2 Regresyon Analizi 43
4.8.2.1. Lineer Regresyon Modeli-Tahmini Yüzey Pürüzlülüğü ve Koniklik 43
4.8.2.2. Kuadratik Regresyon Modeli - Tahmini Yüzey Pürüzlülüğü ve Koniklik 45
4. SONUÇLAR 47

ÖZET

GEVREK MALZEMELERİN SU JETİ İLE KESİLMESİ SÜRECİNDE ÜRÜN YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Gevrek malzemelerden biri olan cam malzemelerin su jeti ile kesme süreçleri endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu süreçlerde özellikle malzemenin deformasyon davranışı dikkate alındığında, kesme esnasında malzemenin kesilen bölgelerinde bazı sorunlarla karşılaşılmaktadır.

Bu çalışmada, uluslararası literatürlerde edinilen bilgiler ve yapılan deney çalışmasından edinilen çıktılar doğrultusunda oluşan yüzey kusurlarının sebepleri ve iyileştirme yöntemleri belirlenerek bu konuda bilgiler verilmiştir. Kesme parametrelerinin yüzey kusurları üzerine etkisi deney sonuçlarından edinilen çıktılar doğrultusunda açıklanmıştır.

Malzemenin kesim esnasında esnemesi sebebiyle yüzey pürüzlülüğü ve koniklik oluşumu artmaktadır. Bu sebeple, tüm deneyler malzeme altına mdf plaka yerleştirilerek yapılmıştır ve yüzey kusurları minimize edilmiştir.

Deney sonucunda yüzey pürüzlülüğü, koniklik oluşumu laboratuar ortamında incelenerek, edinilen bilgiler doğrultusunda en optimum sonuçların hangi parametreler ile elde edildiği belirlenmiştir.

Deneysel tasarım metodu ile anova analizinden edinilen çıktılara göre kullanılan parametrelerden yüzey pürüzlülüğü oluşumuna etki eden en önemli parametre % 53,23 katkı oranı ile malzeme kalınlığıdır. İkinci önemli parametre % 17,08 ile ilerleme hızıdır. 3. önemli parametre % 14,90 katkı oranı ile aşındırıcı akış oranıdır. 4. önemli parametre % 14,73 katkı oranı ile kesme yüksekliğidir. Son etki eden parametre % 0,05 katkı oranı ile kesme basıncıdır.

Koniklik oluşumu için etki eden en önemli parametre % 84,05 katkı oranı ile malzeme kalınlığıdır. İkinci önemli parametre % 10,20 katkı oranı ile ilerleme hızıdır. Üçüncü önemli parametre % 3,19 katkı oranı ile kesme basıncıdır. Dördüncü önemli parametre % 1,33 katkı oranı ile aşındırıcı akış oranıdır. Son etki eden parametre % 1,23 katkı oranı ile kesme yüksekliğidir.

Regresyon analizi ile koniklik ve yüzey pürüzlülüğü oluşumunu tahmin etmek için uygun formüller elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Aşındırıcılı su jeti ile işleme, yüzey pürüzlülüğü, koniklik.

ABSTRACT

INVESTIGATION THE SURFACE QUALITY OF BRITTLE MATERIALS IN WATERJET MACHINING PROCESS

Waterjet cutting processes of brittle materials including glass materials are widely used in industry. However, in these processes, some problems are encountered in the cut parts of the material during cutting, especially when the deformation behavior of the material is taken into account.

In this study, the causes of surface defects and improvement methods were determined and information on this subject was given in line with the information obtained in the international literature and the outputs obtained from the experimental study. The effect of cutting parameters on surface defects is explained in line with the outputs obtained from the test results.

Due to the stretching of the material during cutting, surface roughness and formation of taper of cut increase. For this reason, all experiments were performed by placing an mdf plate under the material and surface defects were minimized.

As a result of the experiment, the surface roughness and formation of taper of cut were examined in the laboratory and it was determined with which parameters the most optimum results were obtained in line with the information obtained.

According to the outputs obtained from the Anova analysis, the most important parameter affecting the surface roughness formation is the material thickness with contribution rate of 53,23%. The second most important parameter is the feed rate with contribution rate of 17,08%. The third most important parameter is the abrasive flow rate with contribution rate of 14,90%. The forth most important parameter is the stand of distance with contribution rate of 14,73%. The last effective parameter is cutting pressure with 0.05% contribution ratio.

The most important parameter affecting the taper formation is the material thickness with contribution rate of 84,05%. The second most important parameter is the feed rate with contribution rate of 10.20%. The third most important parameter is the cutting pressure with an contribution rate of 3,19%. The forth most important parameter is the abrasive flow rate with contribution rate of 1,33%. The last effective parameter is the stand of distance with contribution rate of 1,23%.

Appropriate formulas were obtained to predict the formation of taper of cut and surface roughness by regression analysis.

Keywords: Abrasive waterjet cutting, surface roughness, taper of cut.

SEMBOLLER

af: Aşındırıcı akış oranı (g/dk)

d_0: Orifis çapı (mm)

K_m: Kütle oranı

m_a: Aşındırıcı akış oranı (kg/s)

m_w: Suyun akış miktarı (kg/s)

n: Deney sayısı

N: Gürültü

P: Su jeti basıncı

R^2: Model uygunluk değeri

Ra: Yüzey Pürüzlülüğü (μm)

S: Sinyal

sd: Kesme yüksekliği (mm)

ts: İlerleme hızı (mm/dk)

V: Parçacık hızı (m/s)

V_j: Basınçlandırılmış su hızı (m/s)

yi: Deneyde ölçülen değer

wp: Su basıncı (bar)

Wt: Üst Genişlik (mm)

Wb: Alt Genişlik (mm)

Q_w: Hacimsel Debi (m3/s)

ρ_w: Suyun özkütlesi (kg/m3)

ψ_1 **:** Momentum transfer verimi

ψ_2**:** Boşaltım katsayısı

°: Derece

KISALTMALAR

m: Metre

mm: Milimetre

MPa: Megapascal

GPa: Gigapascal

kW: Kilowatt

µm: Mikrometre

bar: Bar

s: Saniye

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA NUMARASI

Şekil 2.1: Aşındırıcılı su jeti makinesi çalışma sistemi **3**
Şekil 2.2: Kesme kafası kısımları **4**
Şekil 2.3: Orifis - Yakut (kırmızı), elmas (şeffaf) ve nozul **5**
Şekil 2.4: Kum tankı **5**
Şekil 2.5: Aşındırıcı malzeme ilerletme haznesi **6**
Şekil 2.6: Aşındırıcı malzeme türleri **6**
Şekil 2.7: CAD/CAM programı hazırlanması **7**
Şekil 2.8: Intensifier çalışma prensibi; a) Intensifier çalışma devresi, b) intensifier **8**
Şekil 2.9: Direct drive pompanın çalışma prensibi **9**
Şekil 2.10: Aşındırıcılı su jeti ile kesilen bir kısım malzemeler **10**
Şekil 2.11: Sadece basınçlı su ile kesim yapan kesme kafası görüntüsü **12**
Şekil 2.12: Aşındırıcılı su jeti ile kesim yapan kesme kafası görüntüsü **12**
Şekil 2.13: Boydan boya kesilmeyen yüzey **16**
Şekil 2.14: Kesme genişliği farkı ve koniklik oluşumu **17**
Şekil 2.15: V tipi koniklik oluşması **18**
Şekil 2.16: Ters V tipi koniklik oluşması **19**
Şekil 2.17: Kalın malzemelerin kesiminde oluşan kesim yüzeyi **19**
Şekil 2.18: Su jeti kesim işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğü **20**
Şekil 3.1: Şekil 5.1: Delme basıncı a) 1750 bar b) 600 bar **21**
Şekil 3.2: Mdf Plaka **23**
Şekil 3.3: Deneyde kesim aşamasındaki cam malzemenin görüntüsü **23**
Şekil 4.1: Su jeti ile aşındırılan malzemenin yüzey kalitesi **25**
Şekil 4.2: a) Üst yüzey görseli b) Alt yüzey görseli (Kesme basıncı 3100 bar, aşındırıcı akış oranı 300 g/dk, ilerleme hızı 200 mm/dk, kesme yüksekliği 3mm) **26**
Şekil 4.3: Cam malzemede kesim sonrası oluşan koniklik görseli **27**
Şekil 4.4: 3. deney sonucunda oluşan koniklik değeri ve yüzey topografisi **28**
Şekil 4.5: Cam kesim görüntüleri **29**
Şekil 4.6: İlerleme hızı ve aşındırıcı akış oranının koniklik oluşumuna etkisi (Kesme basıncı 3100 bar) **30**
Şekil 4.7: İlerleme hızı ve kesme yüksekliğinin a) yüzey pürüzlülüğü oluşumuna ve b) konik oluşumuna etkisi (Aşındırıcı akış oranı 300 g/dk, kesme basıncı 3100 bar) **31**
Şekil 4.8: Kesme basıncı ve ilerleme hızının koniklik oluşumuna etkisi (Aşındırıcı akış oranı 300 g/dk) **32**
Şekil 4.9: İlerleme hızı ve kesme basıncının yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Aşındırıcı oranı 300 g/dk) **32**
Şekil 4.10: 11. deney kesim görüntüleri **33**
Şekil 4.11: Su jeti kesim işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğü görseli **33**

Şekil 4.12: a) 12. Deney b) 13. Deney ve c) 14. Deney kesim görüntüleri **34**

Şekil 4.13: a) 12. Deney (6 mm kalınlık), b) 13. Deney (8 mm kalınlık) ve c) 14. Deney (10 mm kalınlık) sonucunda oluşan koniklik değerleri ve topografi görüntüleri (Kesme basıncı 3100 bar, aşındırıcı akış oranı 300 g/dk, ilerleme hızı 200 mm/dk) **35**

Şekil 4.14: Malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Kesme basıncı 3100 bar, aşındırıcı akış oranı 300 g/dk, ilerleme hızı 200 mm/dk) **36**

Şekil 4.15: Malzeme kalınlığının koniklik oluşumuna etkisi (Kesme basıncı 3100 bar, aşındırıcı akış oranı 300 g/dk, ilerleme hızı 200 mm/dk) **36**

Şekil 4.16: Malzeme giriş yüzeyinde oluşan aşınma görüntüleri **37**

Şekil 4.17: Malzeme çıkış yüzeyinde oluşan aşınma görüntüleri..... **38**

Şekil 4.18: 2. deney sonucunda oluşan a) malzeme girişindeki yüzey görseli ve b) Topografi görseli (300 g/dk aşındırıcı akış oranı, 1200 mm/dk ilerleme hızı) **38**

Şekil 4.19: 4. deney sonucunda oluşan a) malzeme girişindeki yüzey görseli ve b) topografi görseli (700 g/dk aşındırıcı akış oranı, 1200 mm/dk ilerleme hızı) **39**

Şekil 4.20: İlerleme hızı ve aşındırıcı akış oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Kesme basıncı 3100bar) **40**

Şekil 4.21: Malzeme üst yüzeyinde erozyon ile oluşan radyüs görseli a) Erozyon ile oluşan yüzey tanımı b) 2. deney sonucunda oluşan malzeme üst yüzey görseli c) 7. deney d) 10. deney sonucunda oluşan malzeme üst yüzey görseli **41**

Şekil 4.22: a) Yüzey pürüzlülüğü ve b) Koniklik için normal dağılım grafikleri **44**

Şekil 4.23: a) Yüzey pürüzlülüğü ve b) Koniklik için deneysel ve tahmini değerlerin kuadratik regresyon modeli ile mukayesesi **46**

TABLO LİSTESİ

SAYFA NUMARASI

Tablo 2.1: Aşındırıcı malzeme sertlikleri **7**
Tablo 2.2: Aşındırıcılı su jeti kesim yöntemiyle diğer kesim yöntemlerinin karşılaştırılması **13**
Tablo 3.1: Düz cam bileşenleri **22**
Tablo 3.2: Deney parametreleri ve deney sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğü, koniklik değerleri **24**
Tablo 4.1: En düşük yüzey pürüzlülüğü ve koniklik oluşumu elde edilen en uygun parametre değerleri **28**
Tablo 4.2: Anova Analizi için kullanılan faktör ve seviye bilgileri **42**
Tablo 4.3: Anova Analiz sonucu a) Yüzey pürüzlülüğü ve b) Koniklik oluşumu **42**
Tablo 4.4: Tahmini yüzey pürüzlülüğü lineer regresyon modeli ve denklemi.. ..... **43**
Tablo 4.5: Tahmini koniklik lineer regresyon modeli ve koniklik değeri denklemi **44**
Tablo 4.6: Kuadratik regresyon modeli a) Tahmini yüzey pürüzlülüğü ve b) Koniklik değerlerini hesaplamak için edinilen denklemler **45**

1. GİRİŞ

Dünya çapında sanayileşmeye ve üretime verilen önemin giderek artması ile kullanım amacına uygun daha verimli malzeme işleme yöntemleri geliştirilmektedir. Geleneksel olmayan işleme yöntemleri de bu gruba girmektedir.

1950'li yıllarda kullanılmaya başlanan aşındırıcılı su jeti ile kesme işlemi, günümüzde endüstride yaygın olarak kullanılan geleneksel olmayan işleme yöntemlerindendir **[1].**

Aşındırıcılı su jeti kesme makinesi; yüksek su basınçlarında (4000-6000 bar) çeşitli aşındırıcı malzemeler yardımıyla malzemeleri aşındırarak kesme işlemi yapan bir cnc işleme makinesidir.

Kesme esnasında herhangi bir ısının oluşmaması, malzemede çarpılma, kalıntı gerilmelerin olmaması, malzeme yapısına zarar verecek streslerin oluşmaması su jetinin endüstride tercih edilmesi için önemli etkenlerdendir.

Kesme toleransı ± 0,025 mm ile 0,1 mm arasındadır.

Bu işlem işlenmesi zor, çok sert malzemelerin yanı sıra özellikle yumuşak, kırılgan ve elyaflı malzemelerin kesimi için uygundur **[2].**

Kırılgan yapıya sahip olan cam, seramik gibi malzemelerin sujeti ile kesimi endüstride sıklıkla kullanılmaktadır. Yeterli basınca maruz kaldığında sünek bir tutumla deforme olabilen diğer kırılgan malzemelerin aksine, camın önemli plastik deformasyon kabiliyeti yoktur ve çatlayarak veya kırılarak şekillenerek darbelere cevap verdiği Ali ve Wang, 2011**[3]** tarafından gözlemlenmiştir. Bu özellikler camı en zor işlenebilen malzemelerden biri yapmaktadır **[4].**

Camın su jeti kesim işleminde oluşan yüzey kusurlarının minimize edilmesi için en ideal parametrelerin saptanması konusunda yapılan çalışmalar literatürde zayıf kalmıştır.

Bu çalışmada su jeti makinesinde cam kesiminde oluşan yüzey kusurları deneysel olarak incelenmiştir. Kesim sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğü, koniklik, aşınmalar ve nedenleri detaylı bir şekilde verilerle açıklanmıştır. Oluşan yüzey kusurlarını minimize etmek için optimum kesme parametreleri saptanmıştır. Her bir parametrenin cam malzemeye olan etkisi detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Deneyde kullanılan parametreler; kesme yüksekliği, malzeme kesme basıncı, aşındırıcı akış oranı, ilerleme hızı, malzeme kalınlığıdır.

Yapılan bu çalışmada kullanılan parametreler ve yöntemlerin literatüre ve endüstriye önemli bir bilgi niteliğinde katkı sağlaması beklenmektedir. Ayrıca bu bilgiler farklı çalışmalarda, farklı amaçlarla kullanılarak daha çok buluşun, bilginin ortaya çıkmasına ve paylaşılmasına vesile olması hedeflenmiştir.

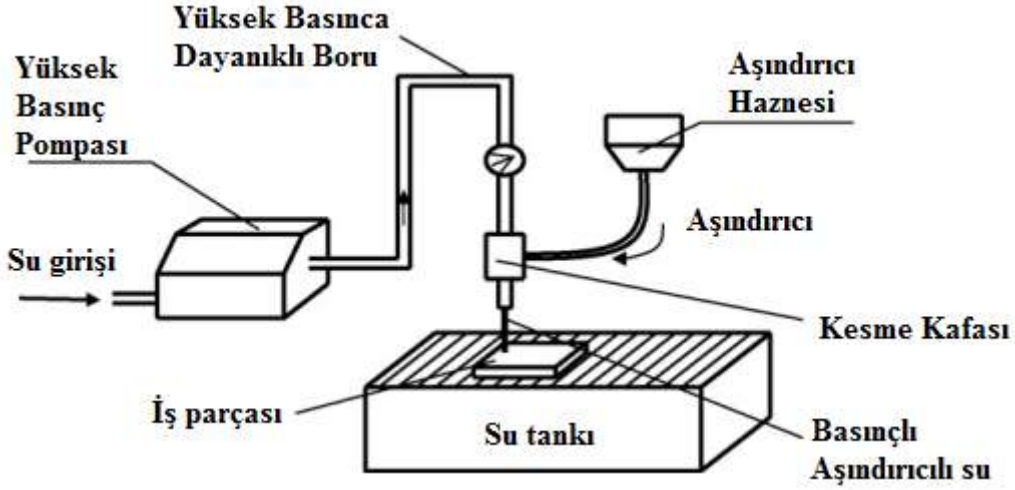
Ekonomik açıdan katkıları; Endüstride cam kesimi yapan firmalar ikinci bir işleme gerek kalmadan daha az maliyetle, daha az zamanda, daha iyi kalitede, yüksek verimlilikle cam kesim işlemini yapabilmesi hedeflenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Su Jeti Makinesinin Çalışma Prensibi

Düşük basınçlı suyun yüksek basınç pompası yardımıyla basınçlanarak çıkarak, yüksek basınca dayanıklı borulardan geçerek kesme kafasına giriş yapar. Kesme kafasında yer alan orifisten daralarak geçen basınçlı suyun akış hızı artar, çıkış çapı daralır. Aşındırıcı malzeme g/dk oranında kesme kafasındaki su-aşındırıcı karışım odasına iletilir. Yüksek hızdaki basınçlı su, aşındırıcı malzemeyle karışım odasında birleşerek, aşındırıcı parçacıkların hız kazanarak nozul ucundan dışarı çıkması sağlanır. İş parçasına temas eden aşındırıcı parçacıklar, basınçlı suyun etkisiyle iş parçasından tanecikler koparark, aşındırarak kesme işlemi yapılmış olur.

Makine ekipmanları; kesme kafası (orifis, su-kum karışım alanı ve nozul), yüksek basınç pompası, kum tankı, aşındırıcı malzeme, kontrol ünitesi. Şekil 2.1' de su jeti makinesi çalışma sistemi görseli verilmiştir.



Şekil 2.1: Aşındırıcılı su jeti makinesi çalışma sistemi [5]

Makine ekipmanları ve görevleri aşağıda açıklanmıştır:

Kesme kafası; pompadan gelen basınçlı su, kesme kafasına giriş yapar. Basınçlı su orifisten geçer ve aşındırıcı ilerletme haznesinden iletilen abrasiv malzemeyle karışım

odasında birleşerek nozul ucundan püskürerek çıkar. Farklı çaplarda nozul ve orifisler bulunmaktadır.

Kesme kafası kısımları Şekil 2.2'de görsel üzerinde gösterilmiştir ve aşağıda tanımlanmıştır:

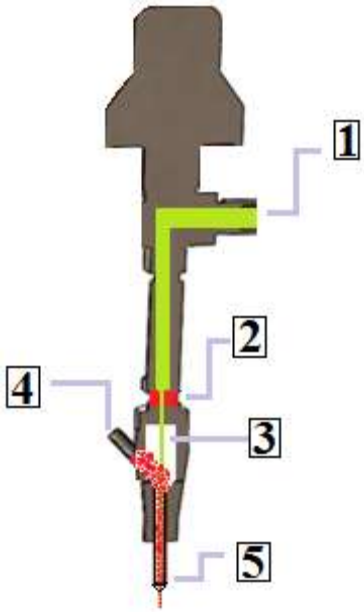
1- Yüksek basınçlı su girişi

2- Orifis

3- Karışım alanı

4- Aşındırıcı malzeme girişi

5- Nozul



Şekil 2.2: Kesme kafası kısımları

Orifis; yüksek basınçlı suyun dar kesitli alandan geçmesiyle, ivmelenerek aşındırıcı malzeme ile birleşerek nozuldan çıkışını sağlayan kısımdır. Orifis malzemesi olarak yakut, safir elmas türleri sıklıkla kullanılır. Yakut ve safir, elmasa göre 30 kat daha ucuz ve kullanım süresi ortalama 100 saate kadardır. Elmasın ömrü ortalama 1000 saat kadardır. Orifis ve nozul görselleri Şekil 2.3'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Orifis - Yakut (kırmızı), elmas (şeffaf) ve nozul [6]

Kum tankı; abresiv malzemenin, kum ilerletme haznesine basınçlı hava yardımıyla takviyesinin sağlandığı tanktır. Pnömatik sistemle çalışır. Kum ilerletme haznesi üzerindeki sensörler, kum belli bir seviyenin altına düştüğünde kum tankından abrasiv malzeme takviyesini sağlar. Aşındırıcı malzeme kapasitesi 25 L, 50 L, 100 L, 250 L, 500 L alan türleri mevcuttur. Şekil 2.4'te görsel olarak verilmiştir.



Şekil 2.4: Kum tankı

Aşındırıcı malzeme ilerletme haznesi; kum tankında depolanan abresiv malzemenin kum ilerletme haznesine taşındığı ve kesme esnasında g/dk oranda kesme kafasına iletildiği kısımdır. Şekil 2.5 'te gösterilmiştir. Kum ilerletme kapasitesi 0-1000 g/dk dır.



Şekil 2.5: Aşındırıcı malzeme ilerletme haznesi [9]

Aşındırıcı malzeme; aşındırıcı parçacıklar; yüksek basınçlı suyla karışım odasında birleşerek yüksek hızlara ulaşarak nozuldan çıkmaktadır ve iş parçası taneciklerine çarpmasıyla iş parçasından tanecikler aşındırarak kesme işlemi yapmaktadır.

Aşındırıcı malzeme olarak; alüminyum oksit (Al_2O_3), garnet, olivin, silis kumu, silikon karbür (SiC), zirkonyum gibi aşındırıcılar kullanılmaktadır. Aşağıda Şekil2.6' da aşındırıcı malzeme görselleri verilmiştir.



Şekil 2.6: Aşındırıcı malzeme türleri [10]

Garnet, endüstride sujeti alanında en yaygın olarak kullanılan aşındırıcı malzemedir. Garnetin çok daha ucuz olması, nozula uygun ebatlarda üretilmesi ve nozulu diğer aşındırıcılara göre daha geç aşındırması garnetin tercih edilme sebeplerindendir. Olivin garnete göre daha yumuşaktır ve daha düşük sertlikteki malzemeleri işlemek için kullanılması uygun görülmektedir. Nozulun ömrü daha uzun olmaktadır. Aluminyum

oksit ve silikon karbür, garnete göre daha serttir ve sert malzemelerin (titanyum, çelik, karbür vb) işlenmesi için tercih edilmektedir, fakat nozulu daha hızlı aşındırdığı için nozulun ömrü garnet kullanımına kıyasla daha kısa olmaktadır**. [11]**

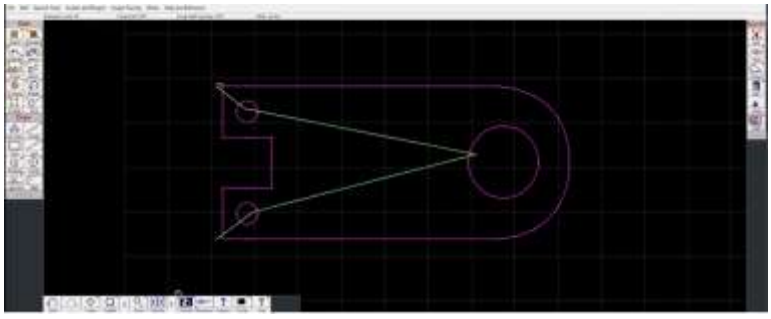
Aşındırıcı malzeme ebatı olarak; 80,100,120 Mesh (sırasıyla 0,177 mm, 0,149 mm, 0,125 mm) malzeme cinsine ve işlem kalitesine göre kullanılmaktadır. Aşındırıcı malzemelerin sertlikleri aşağıda Tablo 2.1'de verilmiştir;

Tablo 2.1: Aşındırıcı malzeme sertlikleri

Malzeme	**Sertlik**		
	Knoop	**Mohs**	**Vickers/VHN$_{100}$**
Olivin	1100	6.5	974
Silis kumu	800	6-7	900-1300
Garnet	1350	7.5	1505-1520
Aluminyum oksit	2100	9	2110-2450
Silikon karbür	2500	9.5	2500-3500

Kontrol ünitesi; bir kontrol sistemi, bilgisayar paneli ve operasyon panelinden oluşmaktadır. Tezgahın çalışması ve eksen kontrollerinin sağlandığı kısımdır. Bilgisayar panelinden program yazılabilir, simülasyon yapılabilir ve bilgisayardan makineye aktarılan çizimler üzerinde düzeltmeler yapılabilir. Operasyon paneli; tezgahın eksen hareketlerinin, kum açma kapama, su açma kapama işlemlerinin yapıldığı bölümdür. Makine start/stop butonu, acil stop butonu, güç düğmesi ve el çarkı operasyon paneli üzerinde bulunur.

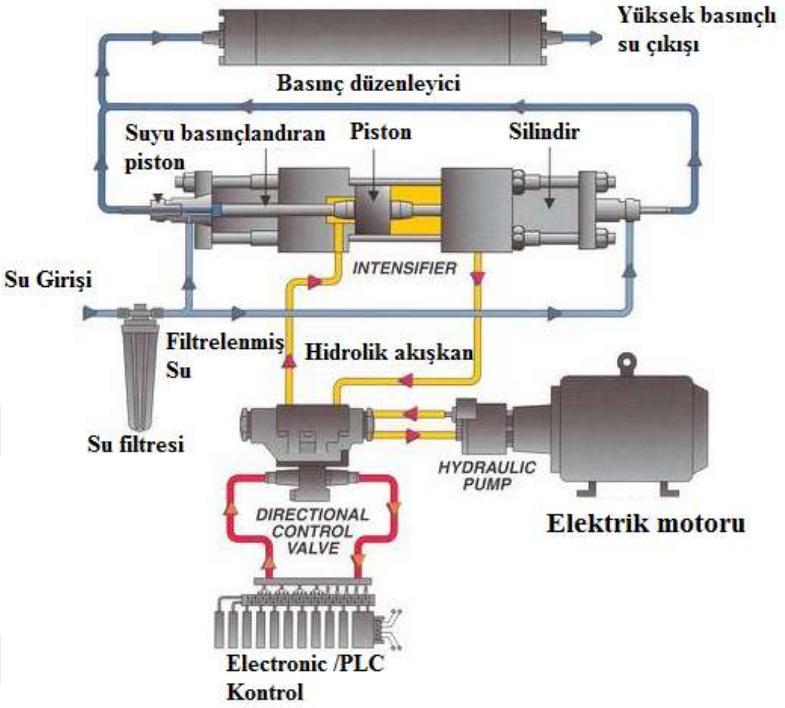
Bilgisayarda hazırlanmakta olan CAM programının görüntüsü aşağıda Şekil 2.7'de gösterilmektedir:



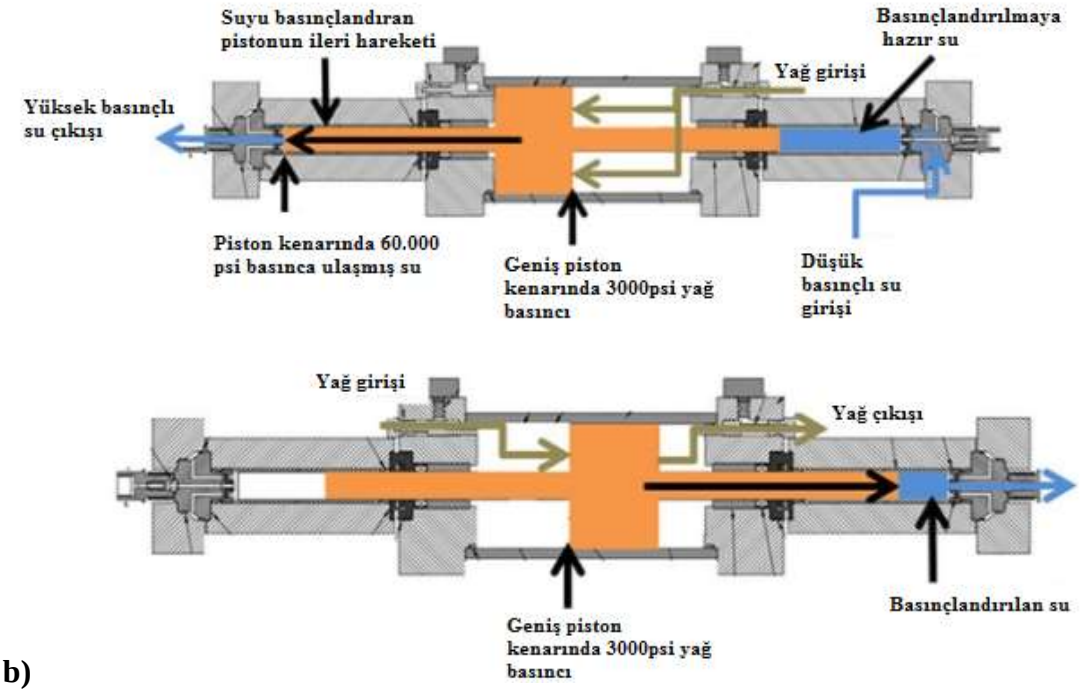
Şekil 2.7: CAD/CAM programı hazırlanması [12]

2.1.1. Yüksek Basınç Pompası

Düşük basınçlı suyun basıncı hidrolik piston prensibiyle çalışan bir intensifier ile ya da motor piston prensibiyle çalışan bir direct drive pompa ile 3800 bar-4136 bar-6200 bar basınçlara çıkması sağlanır. Intensifier çalışma devresi Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



a)

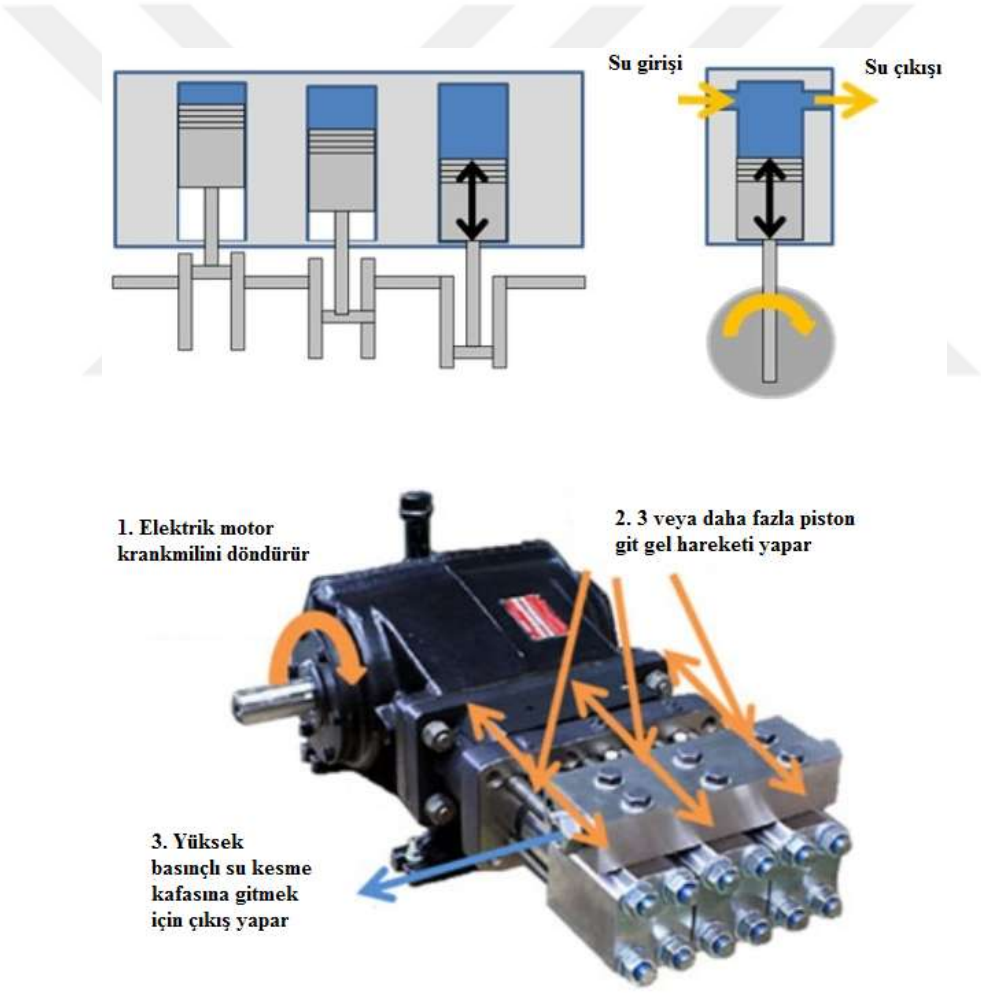


b)

Şekil 2.8: Intensifier çalışma prensibi; a) Intensifier çalışma devresi, b) intensifier [7]

Düşük basınçlı su, su pompası yardımıyla belli bir hızda silindirin bir kenarına dolar. Hidrolik yağ pompası, yağı 3000psi (200 bar) basınçla sisteme iletilir. Geniş pistonun yağ basıncı ile bir yöne doğru hareketiyle suyun dar bir kesitten 4000 veya 6000 bar (60.000 veya 90000 psi) basınçta çıkması sağlanır. Bu arada düşük basınçlı su, silindirin diğer tarafından dolmaya başlar. Plc kontrollü yön kontrol valfi yağın sisteme iletilen yönünü değiştirir ve pistonun yağ basıncı ile diğer tarafa hareketiyle silindirin diğer tarafına dolan suyun basınçlanarak çıkışı sağlanır. Basınçlı su akümülatöre gider ve pistonun yarattığı basınç düzensizliğini dengeler. Suyun akümülatörden dengeli bir basınçta çıkarak kesme kafasına iletilmesi sağlanır. Döngü bu şekilde devam eder.

Direct drive pompa çalışma prensibi Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



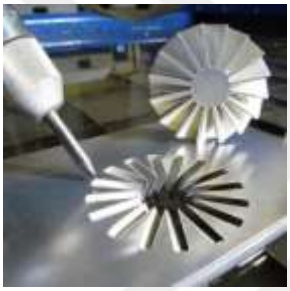
Şekil 2.9: Direct drive pompanın çalışma prensibi [8]

Elektrik motoru yardımıyla krank milinin dakikada 1750 tur dönmesiyle çalışır. Krank milinin dönmesiyle, krank miline bağlı olan 3 veya daha fazla pistonun belli bir sırada

git gel hareketi yaparak düşük basınçlı suyun sıkıştırılmasıyla basıncı arttırılır ve basınçlı suyun kesme kafasına iletilmesi sağlanır. Genellikle daha düşük basınçlı uygulamalarda kullanılır (maksimum 3800bar). Intensifier pompa çalışma prensibine göre daha verimlidir fakat, daha az basınç üretilmektedir. Sistemi soğutmak için ayrıca bir soğutma sistemine gerek yoktur, hidrolik bir sistem olmadığından intensifier pompaya göre daha sessiz çalışmaktadır, daha küçüktür ve daha ucuzdur.

2.2. Aşındırıcılı Su jeti Kesim Yöntemiyle Kesilen Malzemeler

Aşındırıcılı su jeti makinesiyle kesilen bazı malzemeler aşağıda Şekil 10.'da gösterilmiştir:


Alüminyum [13]

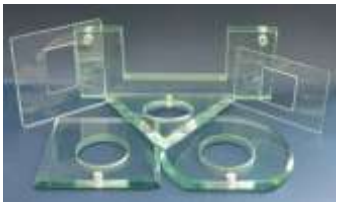

İnconel 600 [14]


Pirinç [15]


Plastik [15]


Mermer [16]


Titanyum [17]


Cam [18]


Karbon Fiber [19]


Paslanmaz Çelik [20]

Şekil 2.10: Aşındırıcılı su jeti ile kesilen bir kısım malzemeler

2.3. Sujeti Kesim Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

Sujeti kesim yönteminin en önemli avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- 200-250 mm ye kadar kalınlıktaki parçaların kesimi yapılabilmektedir.
- İş parçası malzemesi sertliğine ve kesim kalitesine bağlı olarak yüksek ilerleme hızlarında (0-5000 mm/dk) kesim yapılabilmektedir.
- Kesme toleransı ± 0,025 mm ile 0,1 mm arasındadır.
- Kesilen iş parçasının kesim kenarlarında çapak oluşmamaktadır ve bu sebeple iş parçasında ekstra çapak alma işlemlerine gerek duyulmamaktadır.
- 4000 - 6000 bar su basınçlarına çıkabilen su ve aşındırıcıların yardımıyla yer yüzündeki çoğu malzemenin kesimi mümkündür. Kompozit, plastik, kauçuk, metal, cam, taş, kaya ve seramik gibi çoğu malzemeyi kesebilmektedir.
- Kesme esnasında ısı oluşmaması sebebiyle iş parçasında plastik deformasyon, termal stres ve kalıntı gerilmeleri oluşmamaktadır.
- Bilgisayarda çizilen 2D-3D boyutta işlenmesi zor şekillerin kesim programı hazırlanarak, su jeti makine sistemine gönderilerek kesim işlemi rahatlıkla yapılmaktadır.

Su jeti kesim yönteminin dezavantajları aşağıda sıralanmıştır:

- İş parçası kalınlığı arttıkça kesilen parçaların yüzeyinde koniklik ve yüzey pürüzlülüğü oluşmaktadır.
- Çelik, titanyum gibi sert malzemeleri işlerken kullanılan kesim hızı kauçuk, plastik gibi daha yumuşak malzemelere göre daha düşüktür. Bunun sonucu olarak daha uzun bir kesim süresine ve daha fazla aşındırıcı malzeme tüketiminden dolayı daha pahalı bir kesim işlemine sebep olmaktadır.
- Orifis ve nozulun kullanım süresi su basıncına, aşındırıcı akış oranına ve aşındırıcı malzeme cinsine göre değişmektedir. Yakut ve safirin kullanım süresi ortalama 100 saattir. Elmasın ömrü ortalama 1000 saattir. Nozulun ömrü yaklaşık olarak 40-50 saat kadardır.

2.4. Sujeti Kesim Yöntemleri

Sujeti kesim yöntemi aşındırıcı malzeme ile kesim yöntemi ve aşındırıcı malzeme olmadan kesim yöntemi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır:

Aşındırıcı malzeme olmadan kesim yöntemi; kesimi kolay yumuşak malzemelerin (plastik, kağıt, folyo, kontrplak, gıda ürünleri vb.) kesimi yapılmaktadır. Bu işlemde iş parçasına sadece yüksek basınçlı su gönderilerek kesim işlemi yapılmaktadır. Şekil 11'de görsel olarak verilmiştir.



Şekil 2.11: Sadece basınçlı su ile kesim yapan kesme kafası görüntüsü

Aşındırıcı malzeme ile kesim yöntemi; kesimi zor, sert ve kırılgan malzemelerin (Kompozitler, alüminyum, pirinç, bakır, cam, mermer, seramik, çelik, paslanmaz çelik, titanyum, karbon fiber, kauçuk, vb) kesim işlemi bu yolla yapılmaktadır. Basınçlı su ve aşındırıcı malzemelerin yardımıyla kesim işlemi yapılmaktadır. Şekil 12'de görsel olarak verilmiştir.



Şekil 2.12: Aşındırıcılı su jeti ile kesim yapan kesme kafası görüntüsü

2.5. Aşındırıcılı Su Jeti İle Kesim İşleminin Diğer Kesim Yöntemleri İle Karşılaştırılması

Lazer kesim yöntemiyle 25 mm, plazma kesim yöntemiyle 150 mm, aşındırıcılı su jeti kesim yöntemiyle 200-250 mm malzeme kalınlıklarına kadar kesme yapabilmektedir.

Aşağıda Tablo 2.2'de aşındırıcılı su jeti kesim yöntemi ile diğer kesim yöntemlerinin karşılaştırılması dört farklı derecelendirme ile yapılmıştır:

Tablo 2.2: Aşındırıcılı su jeti kesim yöntemiyle diğer kesim yöntemlerinin karşılaştırılması [21]

Faktörler	Aşındırıcılı Su jeti	Lazer Kesim	Plazma Kesim	Sualtı Plazma	Tel Erezyon	Frezeleme	Şerit Testere	Oksijenli Kesim
Malzeme Kalınlığı	****	**	***	***	****	***	***	****
Kesme Kalitesi	****	****	**	***	****	***	***	**
İlerleme Hızı	***	****	***	***	***	***	****	***
Malzeme Çeşitliliği	****	*	***	***	***	***	***	**
Isıdan Etkilenen Alan	****	*	*	**	**	***	***	*
Hassasiyet	****	****	***	***	****	****	**	*
İkincil işlem Gereksinimi	****	***	***	***	***	***	**	**
Talaş Oluşumu	***	**	**	**	****	***	*	***
Üretim Esnekliliği	****	***	**	**	***	****	**	*
İşleme Zamanı	***	***	*	*	***	***	****	**

****: çok iyi, ***: iyi, **: orta, *: kötü

2.5.1. Aşındırıcılı Su Jetinin Kullanıldığı Sektörler

Otomotiv, elektrik-elektronik sanayi, cam-mermer-seramik, uzay ve havacılık, tekstil, gıda, metal işleme sektörü, test hizmetleri, kağıt-mukavva sektörü, cam sektörü, kauçuk-plastik sektörü, mimari çalışmalar, madencilik, temizlik sektörü gibi çoğu sektörde kullanılmaktadır.

2.6. Aşındırıcılı Su Jeti Kesim Yönteminde Malzeme Aşındırma İşlemi

Aşındırıcı malzemeler, ayarlanabilen bir ilerleme hızında (gr/dk) su-aşındırıcı karışım odasına aşındırıcı iletim haznesinden iletilerek belli bir basınçtaki suyun (bar) yardımıyla kinetik enerji kazanarak malzeme taneciklerine çarparak, tanecikleri malzeme yüzeyinden koparak aşındırma yapmaktadırlar.

Su jetinden çıkan aşındırıcı parçacıkların kinetik enerjisi aşağıda 1 numaralı formül ile ifade edilebilir:

$$\frac{dKE}{\mathrm{dt}} = \left(\frac{1}{2}\right) m_a \mathrm{V}^2 \qquad (1)$$

V: Parçacık hızı (m/s)

m_a: ρ_w x $Q_w = \rho_w(\pi/4d_0 2)\mathrm{Vj}$ (Aşındırıcı akış oranı kg/s)

Aşındırıcı parçacık basınçlı suyun etkisiyle hız kazandığında, aşındırıcı parçacık hızı aşağıda 2 numaralı momentum iletim formülü ile elde edilmektedir:

$$V = \Psi_1 \left(\frac{m_w}{m_w + m_a}\right) \mathrm{V}_j \quad \mathrm{m/s} \qquad (2)$$

Ψ_1: Momentum transfer verimi

Vj: Basınçlandırılmış su hızı m/s

m_w: Suyun akış miktarı kg/s

d_0: Orifis çapı mm

ρ_w: Suyun özkütlesi kg/m^3

Q_w: Hacimsel Debi m^3/s

Momentum transfer verimi aşağıda 3 numaralı formülle ifade edilmektedir:

$$\Psi_1 = \sqrt{\frac{P_0}{\mathrm{P}(1-\mathrm{n})}\left[\left(1 + \frac{\mathrm{P}}{P_0}\right)^{1-n}\right] - 1} \qquad (3)$$

P_0: 300 Mpa n=0,1368, 25 °C.

Basınçlandırılmış su hızı aşağıda 4 numaralı denklem ile hesaplanabilmektedir:

$$V_j = \Psi_2 \left(\frac{2P}{\rho_w}\right)^{1/2} \text{ m/s} \quad (4)$$

Ψ_2 : Boşaltım katsayısı (duvar sürtünmesinden kaynaklı momentum kaybı, sıvı akış bozuklukları)

Chen ve Geskin **[22]**'e göre boşaltım katsayısı 0,85 ile 0,90 arasında değişmektedir.

P: Su jeti basıncı

Denklem 4, denklem 2'de yerine yazıldığında su basıncıyla ilişkili olan aşındırıcı parçacık hızı aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir:

$$V = \Psi_1 \Psi_2 \left(\frac{m_w}{m_w + m_a}\right)\left(\frac{2P}{\rho_w}\right)^{1/2} \text{ m/s} \quad (5)$$

Denklem 5 basitleştirildiğinde kütle oranı Km ile ifade edilebilir 6:

$$K_m = \frac{m_w}{m_w + m_a} \quad (6)$$

ve denklem aşağıdaki gibi olabilmektedir (6):

$$V = \Psi_1 \Psi_2 K_m \left(\frac{2P}{\rho_w}\right)^{1/2} \text{ m/s} \quad (7)$$

Denklem 7, denklem 1'de yerine yazıldığında kinetik enerji aşağıda 8 numaralı denklem ile ifade edilebilmektedir:

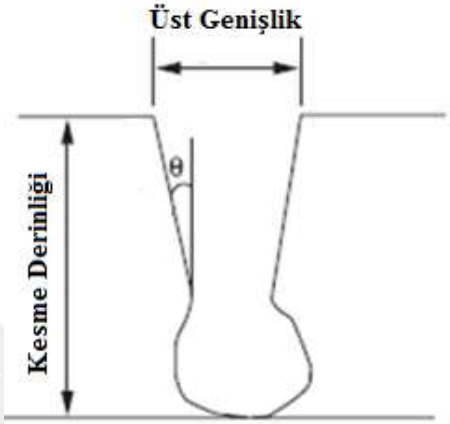
$$\frac{dKE}{dt} = \Psi_1{}^2 \Psi_2{}^2 K_m{}^2 m_a \left(\frac{P}{\rho_w}\right) \text{ Joule} \quad (8)$$

Denklem 8 ile su basıncı, su yoğunluğu ve aşındırıcı akış oranı yardımıyla aşındırıcı parçacık kinetik enerjisi elde edilebilmektedir.

2.6.1. Kesme Derinliğine Etki Eden Faktörler

Kesme derinliği; işlenen malzemenin sertliği, aşındırıcı malzeme sertliği, su basıncı, ilerleme hızı, aşındırıcı akış oranı, kesme yüksekliği, malzeme kalınlığı parametreleri ile ilişkili olmaktadır.

Kesme derinliği görseli Şekil 2.13'de verilmiştir.



Şekil 2.13: Boydan boya kesilmeyen yüzey [**23]**

Kesme derinliğinin teorik olarak hesaplanması aşağıdaki gibidir **[24]**;

ln(DOC) = - 3,9417 + 1,1441 ln(wp) + 0,5293 ln(qf) - 0,7027 ln(ts) + 0,0542 ln(sd) (9)

$DOC = \mathrm{e}^{-2,9417}\mathrm{wp}^{1,1441}\mathrm{af}^{0,5292}\mathrm{ts}^{-0,7027}\mathrm{sd}^{0,0542}$ (10)

wp: Su basıncı (bar)

af: Aşındırıcı akış oranı (g/dk)

ts: İlerleme hızı (mm/dk)

sd: Kesme yüksekliği (mm)

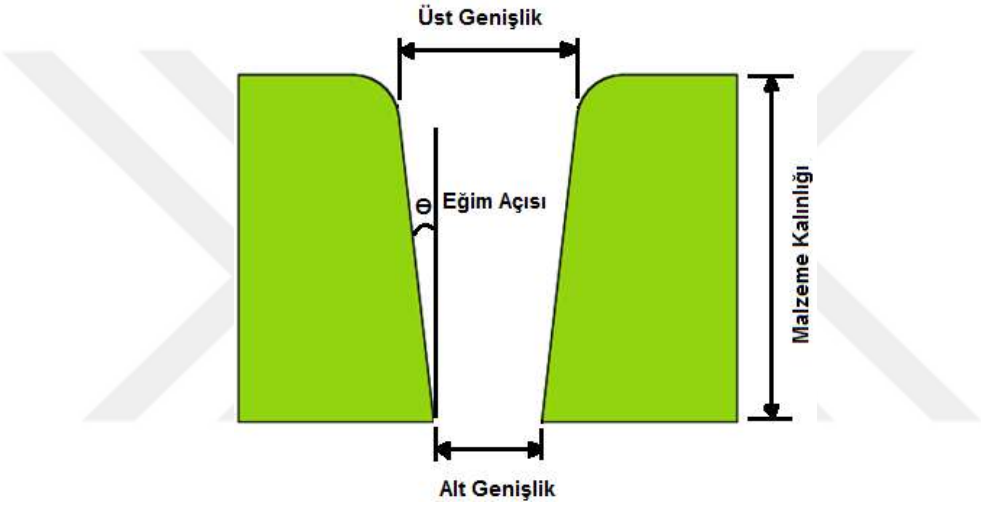
Aşındırıcı malzemenin türüne göre sertliği ve aşındırma kabiliyeti de değişmektedir. Aşındırıcı malzeme sertliği arttıkça malzemenin kazandığı kinetik enerji ile iş parçası üzerinden tanecik koparması daha kolay olmaktadır. Daha kolay tanecik kopması sonucu daha fazla kesme derinliğine sahip olunur. Düşük kinetik enerjili aşındırıcı partiküller daha hızlı enerji kaybına uğraması sebebiyle aşındırıcı partiküllerin iş parçası üzerinde aşınan yüzeyden ayrılması daha erken olmaktadır. Böylece daha eğik bir yüzey elde edilmekte ve koniklik oluşmaktadır.

2.6.2. Koniklik Oluşumuna Etki Eden Faktörler

Su jeti kesiminde koniklik oluşumu, kesilen iş parçasının üst yüzeyi ile alt yüzeyi arasında genişlik farkının oluşmasını ifade etmektedir.

Su basıncı, ilerleme hızı, aşındırıcı malzeme türü, aşındırıcı malzeme akış oranı, malzeme kalınlığı, kesme yüksekliği koniklik oluşumuna etki eden parametrelerdir. Bu parametrelerin koniklik oluşumuna etkisi aşağıda ve yapılan deney çalışması sonucunda açıklanmıştır.

Şekil 2.14'te koniklik oluşumu görseli verilmiştir.



Şekil 2.14: Kesme genişliği farkı ve koniklik oluşumu

Kesme yüksekliği arttığında, basınçlı suyun nüfuziyet alanı genişlemektedir ve kesme genişliği artmaktadır. Malzemenin üst genişlik ve alt genişlik farkı ayrıca artmaktadır ve koniklik artmaktadır **[2].**

Garnet aşındırıcı en geniş kesme konikliğine sebep olmaktadır. Sonrasında sırasıyla alüminyum oksit ve silikon karbür sebep olmaktadır. Kullanılan üç aşındırıcı malzemeden silikon karbür en sert olanıdır. Daha sert aşındırıcılar yüksek kinetik enerjisinden ve mukavemetli olmasından dolayı daha iyi aşındırma yapmaktadır. Yani, aşındırıcı sertliği arttıkça malzemenin üst yüzeyindeki kesme genişliği ve alt yüzeydeki kesme genişliği farkı daha da küçülmektedir, böylece koniklik azalmaktadır. **[2]** Şekil 2.14'te malzeme üst yüzeyi ve alt yüzeyi arasında kesme genişliği farkı ile oluşan koniklik gösterilmiştir.

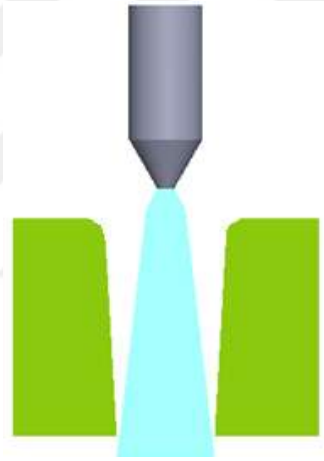
Malzemenin kesme konikliği aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır:

$$\text{Kesme Konikliği} = \tan^{-1}((Wt - Wb) / 2) \quad \text{(Derece)} \qquad (11)$$

Wt: Üst Genişlik (mm)

Wb: Alt Genişlik (mm)

Genellikle su jeti kesiminde en yaygın oluşan koniklik tipi V şeklindedir. V tipi koniklik su jeti akışı esnasında aşındırıcı parçacıkların malzeme taneciklerine çarparak kinetik enerjilerini kaybetmesi sonucu oluşmaktadır. Malzeme üst kısmından alt kısmına göre biraz daha fazla tanecik koparılmaktadır. İlerleme hızının yüksek olması durumunda birim alana nüfuz eden aşındırıcı miktarı az olması sebebiyle aşındırma iyi yapılamadığı için V tipi koniklik sıklıkla oluşmaktadır. Bu durum Şekil 2.15'te gösterilmektedir.



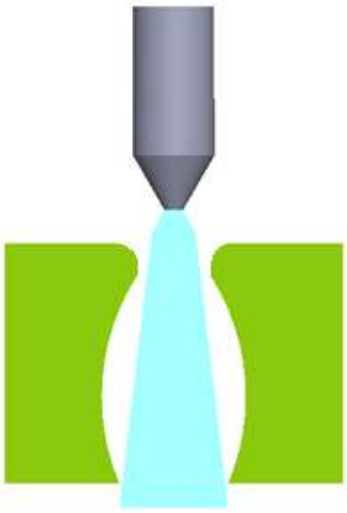
Şekil 2.15: V tipi koniklik oluşması

Çok düşük ilerleme hızlarında malzeme kesimi ve basınçlı suyun nozuldan doğal çıkış açısı sonucu aşındırıcı partiküller malzeme taneciklerini fazlasıyla aşındırmaktadır. Bunun sonucu olarak; malzeme alt yüzeyindeki kesme genişliği malzeme üst yüzeyindeki kesme genişliğinden daha fazla olmaktadır ve ters koniklik oluşmaktadır. Bu durum Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16: Ters V tipi koniklik oluşması

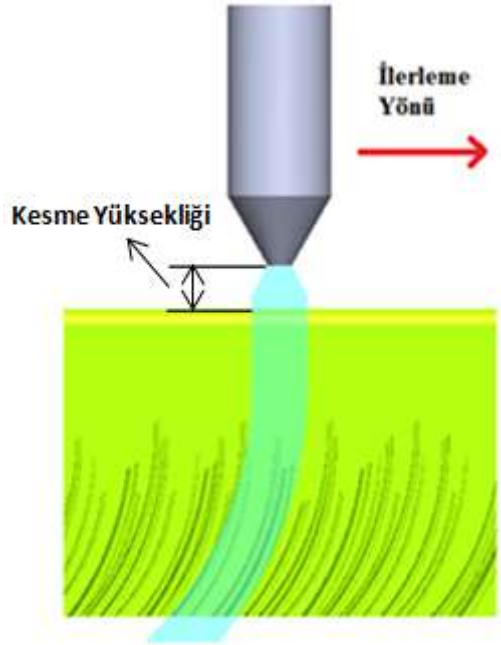
Kalın ve sert malzemelerin kesiminde (30 mm ve üzeri, çelik, titanyum, vb.) aşındırıcı paçacıklar ince malzemelerin kesimine göre daha fazla malzeme tanecikleri ile çarpışarak çok daha fazla enerji kaybına uğramaktadırlar. Bu tarz kesim yönteminde basınçlı su başta açılı ve yüksek basınçlarda malzemeye nüfuz ettiği için kesme genişliği genellikle malzeme ortalarında daha geniştir. Kesim sonucu oluşan yapı Şekil 2.17'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.17: Kalın malzemelerin kesiminde oluşan kesim yüzeyi

2.7. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

İlerleme hızı, kesme basıncı, kesme yüksekliği, malzeme kalınlığı, aşındırıcı malzeme akış oranı, aşındırıcı malzeme boyutu (mesh), aşındırıcı malzeme cinsi genel olarak yüzey pürüzlülüğüne yol açmaktadır.



Şekil 2.18: Su jeti kesim işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğü

Malzeme aşındırma işleminde yukarıda belirtilen parametrelerin etkisiyle malzeme yüzeyinde çizikler oluşmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü, malzeme yüzeyinde oluşan çiziklerin bir sonucudur. Bu durum Şekil 2.18'de gösterilmiştir.

İlerleme yönüne göre iş parçası üzerinde oluşan çiziklerin yönü değişmektedir.

Bir cam/epoxy kompozit ile yapılan çalışmada; aşındırıcı malzeme cinsinin yüzey pürüzlülüğüne en önemli etken sebep olduğu saptanmıştır **[25]**. Garnet ve alüminyum oksite göre daha sert olan silikon karbür, yüksek kinetik enerjisi ve daha iyi kesme kabiliyetine sahip olmasından dolayı daha iyi yüzey kalitesi elde edilmesini sağlamıştır. Sonrasında sırasıyla alüminyum oksit ve garnet iyi yüzey kalitesinin elde edilmesini sağlamıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE DÜZENEKLER

Aşındırıcılı su jeti kesim işleminde malzeme kalınlığı, kesme yüksekliği, kesme basıncı, aşındırıcı akış oranı ve ilerleme hızı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve koniklik üzerine etkileri incelenerek en optimum kesme parametreleri elde edilmiştir.

Deneyde kullanılan makine ve pompa modeli, aşındırıcı malzeme bilgileri, nozul ve orifis çapı, delme basıncı, kesilen malzemenin özellikleri, ölçüm esnasında kullanılan cihazlar, kullanılan kesme parametreleri hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmiştir:

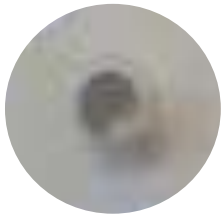
Su Jeti Makinesi Pompası Modeli: KMT 4100 bar, 37 kW

Aşındırıcı Malzeme ve Mesh Boyutu: Garnet, 80 Mesh

Nozul Çapı: 0,76 mm

Orifis Çapı: 0,35 mm

Delme Basıncı: 600 bar. Delme basıncı 1750 bar ve 600 bar da denenmiştir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi 1750 bar ile camı delerken parçalanmıştır. 600 bar ile temiz kesim yapılmıştır.

a)  **b)** 

Şekil 3.1: Delme basıncı a) 1750 bar b) 600 bar

3.1. Deneyde Kullanılan Malzemenin Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri

Deneyde kullanılan malzeme: Düz cam

Deneyde kullanılan malzemenin bileşenleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir:

Tablo 3.1: Düz cam bileşenleri

Düz Cam Bileşenleri							
SiO_2	**Al_2O_3**	**MgO**	**CaO**	**Na_2O**	**K_2O**	**Fe_2O_3**	**TiO_2**
71.86%	**0.08%**	**5.64%**	**9.23%**	**13.13%**	**0.02%**	**0.04%**	**0.01%**

Sertlik: 5,5 Mohs, 600 knoops

Elastik Modülüsü: 50 GPa

Çekme Dayanımı: 50 MPa

Yoğunluk: 2,4-2,7 g/cm^3

3.2 Kullanılan Ölçüm Cihazları

Yüzey pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı: Mitutoyo SJ210

Koniklik Ölçüm Cihazı: Keyence Ditijal Optik Mikroskop

Topografi Ölçüm Cihazı: Keyence Ditijal Optik Mikroskop

Gevrek ve plastik malzemelerin su jeti ile kesilmesi esnasında yüksek basınçlara maruz kaldığı için malzemede esneme, titreşime ve tabla üzerinde ufak kaymalara yol açmaktadır. Bu sebeple deney malzemesi altına destekleyici bir malzeme yerleştirilerek bu durum minimize edilmiştir. Aşağıda bu çalışmanın nasıl yapıldığı açıklanmıştır:

1. Cam malzemenin altına bir malzeme koyulmadan su jeti makinesine yerleştirilerek aşağıda belirtilen parametreler ile yapılan kesim işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğü değeri 6,60 μm, koniklik değeri 3,01°'dir. Kesim parametreleri:

Malzeme kalınlığı 4 mm, kesme yüksekliği 3 mm, kesme basıncı 3100 bar, aşındırıcı akış oranı 300 g/dk, ilerleme hızı 200 mm/dk.

2. Aynı parametreler ile cam malzeme altına 4 mm cam yerleştirilerek yapılan kesim işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğü değeri 6,072 μm, koniklik değeri 2,52°'dir.

3. Aynı parametreler ile cam malzeme altına 6 mm mdf yerleştirilerek (Şekil 3.2) yapılan kesim işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğü değeri 3,327 µm, koniklik değeri 2,13° ' dir.

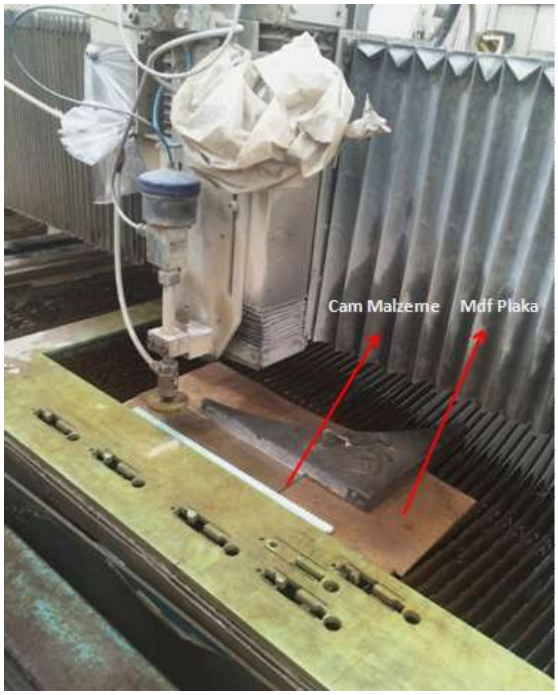


Şekil 3.2: Mdf Plaka

6 mm kalınlığındaki mdf plakanın yüksek basınçta gelen yükü cama göre daha iyi absorbe ettiği ve cam malzemeye iyi tutunması ile kesme anında ufak kaymalara müsaade etmediği için daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve koniklik değeri elde edildiği görülmüştür.

Bu sebeple tüm yapılan deneylerde cam malzeme altına mdf plaka yerleştirilerek kesim işlemleri yapılmıştır.

Deney esnasında kesilecek olan cam malzemenin ve altındaki mdf plakanın görüntüsü aşağıda Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3: Deneyde kesim aşamasındaki cam malzemenin görüntüsü

Deney parametreleri ve deney sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve koniklik değerleri aşağıda Tablo 3.2' de verilmiştir.

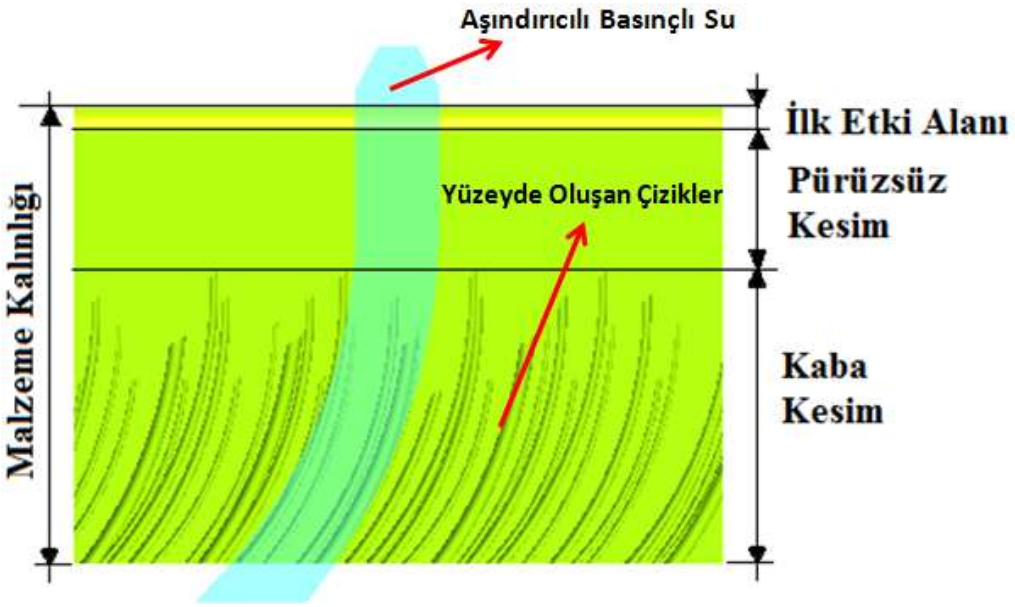
Tablo 3.2: Deney parametreleri ve deney sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğü, koniklik değerleri

Deney Numarası	Malzeme kalınlığı (mm)	Kesme Yüksekliği (mm)	Kesme Basıncı (bar)	Aşındırıcı Akış Oranı (g/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm) - Ra	Koniklik (°)
1	4	3	3100	300	400	4,63	2,28
2	4	3	3100	300	1200	6,166	3,96
3	4	3	3100	300	50	2,62	2,02
4	4	3	3100	700	1200	7,408	3,05
5	4	3	3100	100	400	4,80	2,41
6	4	3	3100	100	200	3,52	2,29
7	4	3	3100	300	200	3,327	2,13
8	4	3	2500	300	400	4,81	2,70
9	4	3	1750	300	400	4,92	3,54
10	4	6	3100	300	200	7,76	3,28
11	4	3	3100	300	800	5,468	2,65
12	6	3	3100	300	200	7,734	5,04
13	8	3	3100	300	200	8,029	5,89
14	10	3	3100	300	200	9,589	6,10

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneyden edinilen bulgulara göre iş parçasına basınçlı suyun ilk temas ettiği belli bir mesafede yüzey pürüzlülüğü, daha derin mesafelerdeki yüzeye göre çok daha az olmaktadır.

Bunun sebebi; basınçlı suyun ve aşındırıcı malzemenin iş parçasına ilk temas ettiği bölgede kinetik enerjisinin yüksek olmasındandır. Daha derin mesafelere nüfuziyet gerçekleştirildiğinde aşındırıcı malzemenin kinetik enerjisi azalmakta ve yüzeyde oluşan çizikler derinleşmektedir. Böylece yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Aşağıda Şekil 4.1'de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Su jeti ile aşındırılan malzemenin yüzey kalitesi

Bu sebeple; farklı kalınlıklardaki (4-6-8-10 mm) camların kesim sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılırken en kaba yüzey olarak kesim yüzeyinin alt kısmı referans alınarak bütün yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır ve ölçüm sonuçları Tablo 3.2'de verilmiştir.

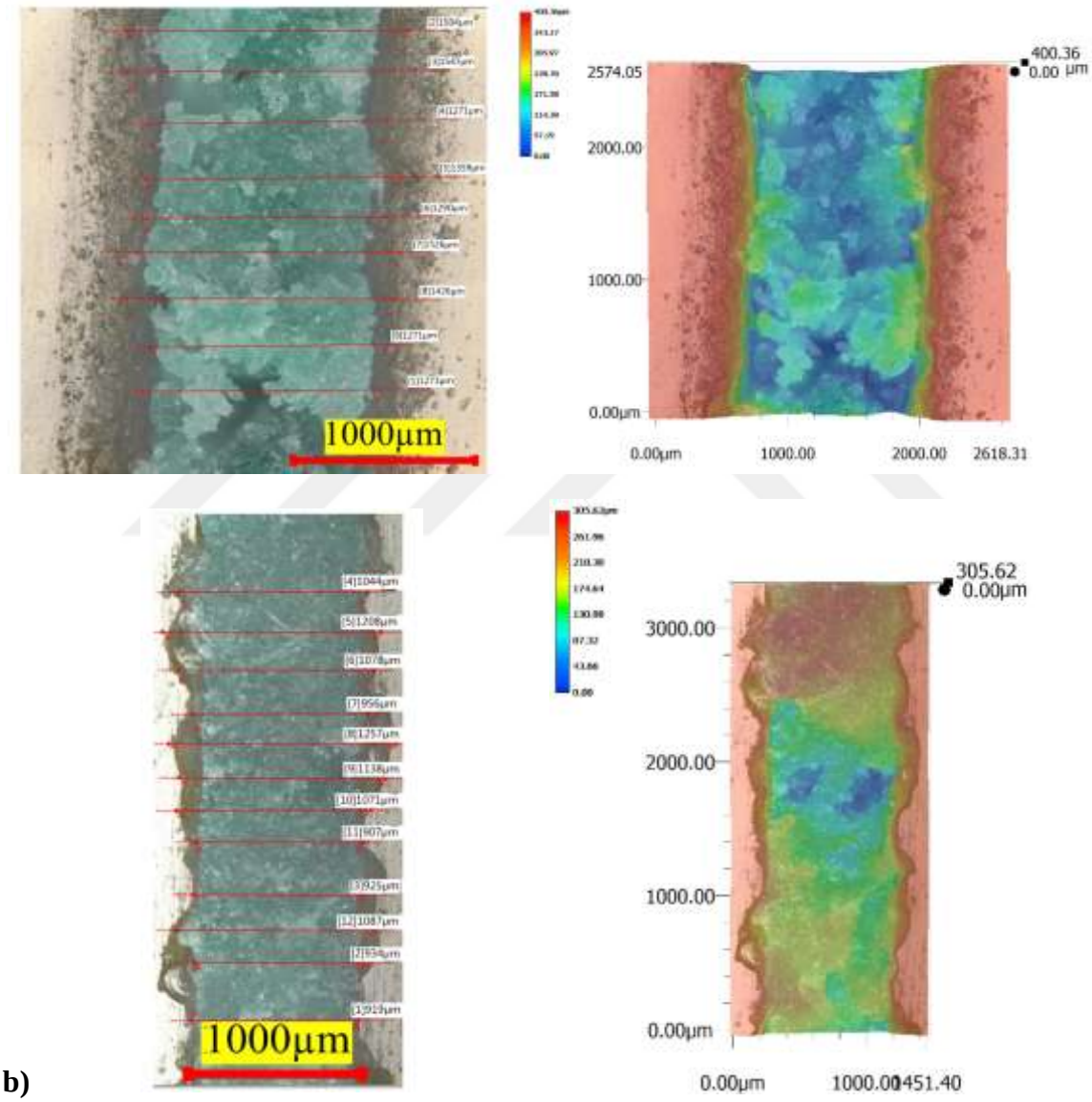
İş parçası üzerinde daha derin mesafelere nüfuziyet gerçekleştiğinde aşındırıcı malzemenin kinetik enerjisi azalmaktadır ve iş parçası üzerinden aşındırılan partiküllerin miktarı azalmaktadır. Böylece iş parçasına basınçlı suyun ilk temas ettiği giriş kısmı ile basınçlı suyun iş parçasından uzaklaştığı çıkış kısmı arasındaki kesme

genişliği farklıdır. Bu durumun sonucu olarak su jeti ile kesilen yüzeyde koniklik oluşmaktadır.

Yapılan deneyde Şekil 4.2'de iş parçasının üst yüzey ve alt yüzeyinde oluşan kesme genişliği ölçülmüştür. Görüldüğü üzere üst yüzeyde oluşan kesme genişliği alt yüzeyde oluşan kesme genişliğinden daha büyüktür.

a)

b)



Şekil 4.2: a) Üst yüzey görseli b) Alt yüzey görseli (Kesme basıncı 3100 bar, aşındırıcı akış oranı 300 g/dk, ilerleme hızı 200 mm/dk, kesme yüksekliği 3mm)

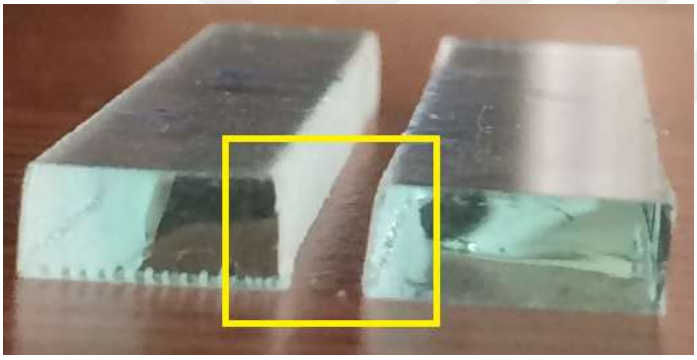
4.1. İlerleme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne ve Koniklik Oluşumuna Etkisi

1, 2, 3 ve 11. deney sonuçlarında Tablo 3.2'de görüldüğü üzere ilerleme hızı arttığında yüzey pürüzlülüğü ve koniklik değerleri artmaktadır.

Bu durumun sebebi; ilerleme hızı arttığında kesme yüzeyinde birim alana nüfuz eden aşındırıcı partiküllerin miktarı az olması sebebiyle aşındırıcı partiküller malzeme taneciklerini yeterli miktarda aşındıramaz. Bu sebeple yüzey pürüzlülüğü ve koniklik oluşumu artmaktadır [26]. Bu durum Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

Malzeme kesim yüzeyinde Şekil 4.1'de görselde ifade edilen yüzey pürüzlülüğü meydana gelmektedir.

Aşağıda Şekil 4.3'te deney sonucunda oluşan koniklik görseli verilmiştir.



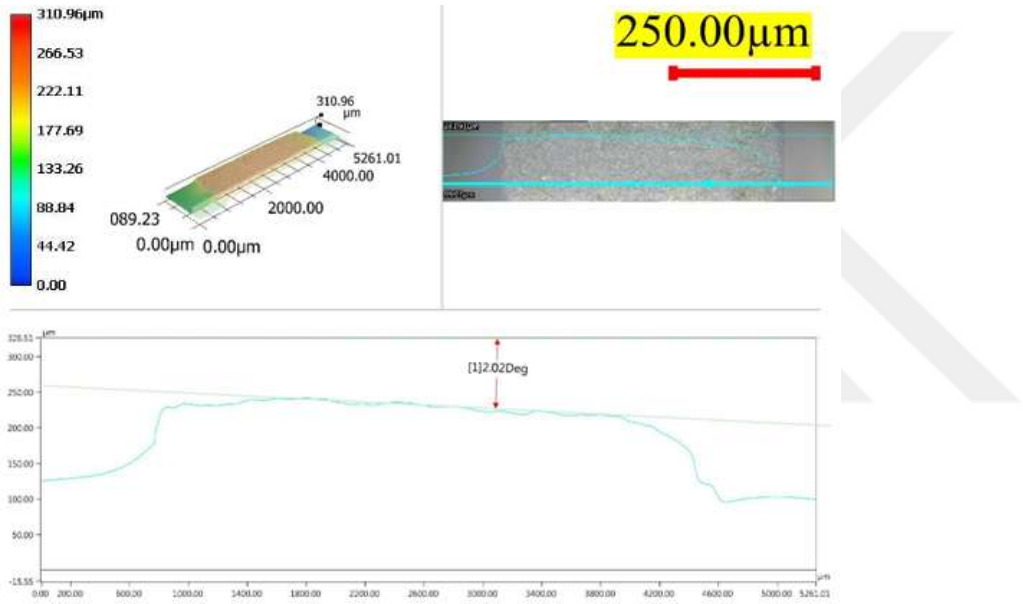
Şekil 4.3: Cam malzemede kesim sonrası oluşan koniklik görseli

4.2. Elde Edilen En İdeal Kesme Parametreleri

4 mm cam malzeme için en düşük yüzey pürüzlülüğü ve koniklik değeri aşağıda Tablo 4.1'de belirtilen en ideal parametre değerleri ile edinilmiştir:

Tablo 4.1: En düşük yüzey pürüzlülüğü ve koniklik oluşumu elde edilen en uygun parametre değerleri

Kesme Yüksekliği (mm)	Kesme Basıncı (bar)	Aşındırıcı Akış Oranı (g/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)
3	3100	300	50	2,62
Kesme Yüksekliği (mm)	Kesme Basıncı (bar)	Aşındırıcı Akış Oranı (g/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Koniklik (°)
3	3100	300	50	2,02

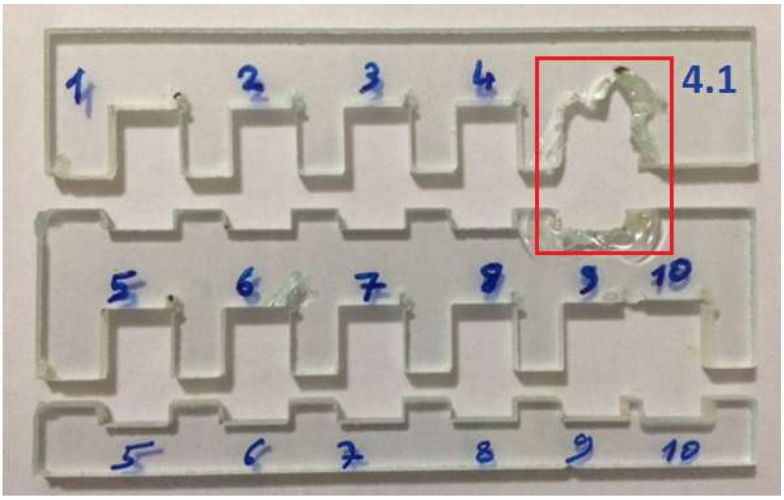


Şekil 4.4: 3. Deney sonucunda oluşan koniklik değeri ve yüzey topografisi

En düşük koniklik ve yüzey pürüzlülüğü değeri 3. deney sonucunda belirlenen parametrelerle elde edilmiştir. Şekil 4.4'te ölçülen koniklik değeri ve topografi görseli verilmiştir.

Belirlenen su basıncının (3100 bar) ilerleme hızının (50 mm/dk) ve aşındırıcı akış oranının (300 g/dk) malzeme üzerinden birim karede yeterli tanecik koparmak için uygun değerlerde olması sebebiyle yapılan deneyler arasında malzeme üzerinde en düşük koniklik 2,02° ve yüzey pürüzlülüğü 2,62 µm değeri elde edilmiştir.

Aşağıda Şekil 4.5'te deney sonucunda edinilen cam kesim görüntüleri görülmektedir.



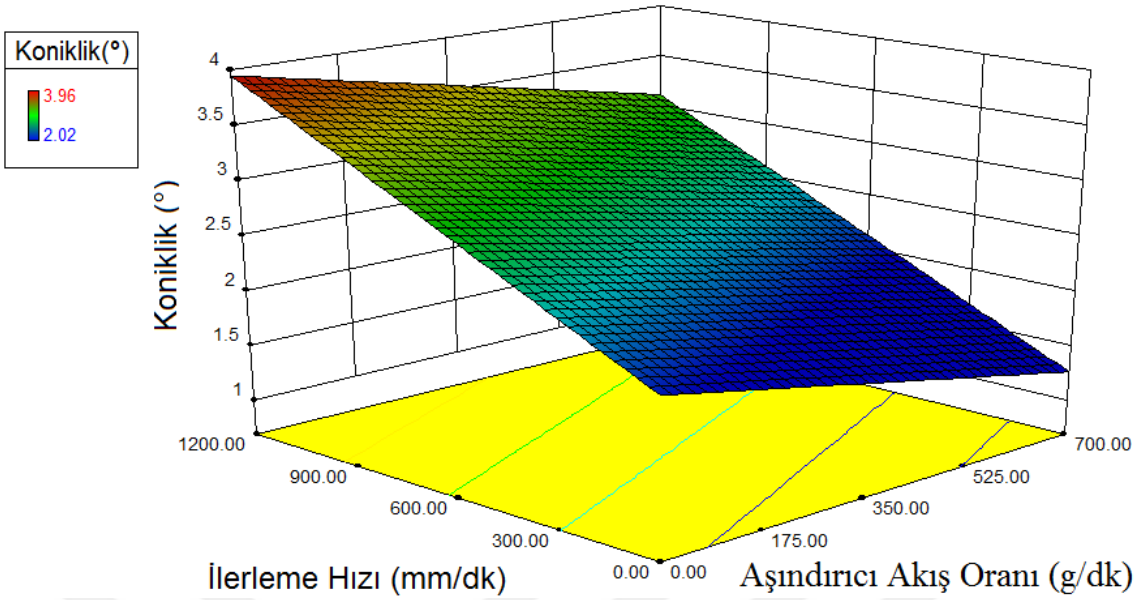
Şekil 4.5: Cam kesim görüntüleri

Cam kesim görüntüsünde görüldüğü üzere 4 numaralı deney sonrasında 4.1 numaralı deney yapılmaya başlanırken aşındırıcı malzeme akış oranının yüksek olması (900 g/dk) ve orifis çapının aşındırıcı partiküllerin rahat geçmesi için uygun genişlikte olmaması (0.76 mm) sebebi ile orifis hattında tıkanma olmuştur ve basınçlı su orifis hattına iletildiğinde orifis hattında biriken aşındırıcı partiküllerin basınçlı su ile birlikte malzemeye nüfus etmesi ile cam malzeme parçalanmıştır.

1 ve 5. deney sonucunda edinilen çıktılara göre; düşük ilerleme hızlarında (400 mm/dk) aşındırıcı akış oranının artması ile yüzey pürüzlülüğü ve koniklik oluşumu azalmaktadır.

Bu durumun sebebi; abrasiv malzeme akış oranı arttıkça aşındırma bölgesinde birim alana nüfus eden aşındırıcı miktarının artması ile iş parçası üzerinden aşındırılan tanecik miktarı artmaktadır ve daha iyi bir aşındırma işlemi yapılması sağlanır. Böylece yüzey pürüzlülüğü ve koniklik oluşumu azalmaktadır [27].

İlerleme ve aşındırıcı akış oranının koniklik oluşumuna etkisi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



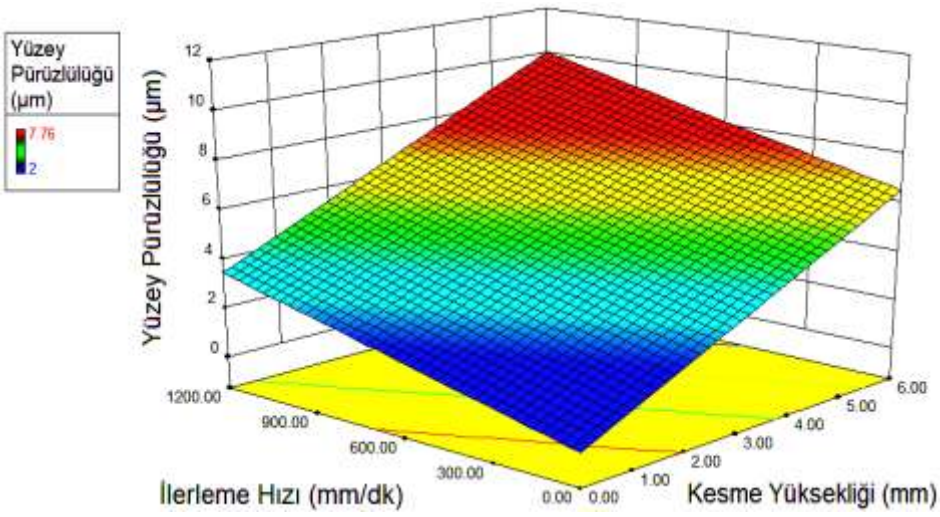
Şekil 4.6: İlerleme hızı ve aşındırıcı akış oranının koniklik oluşumuna etkisi (Kesme basıncı 3100 bar)

4.3. Kesme Yüksekliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne ve Koniklik Oluşumuna Etkisi

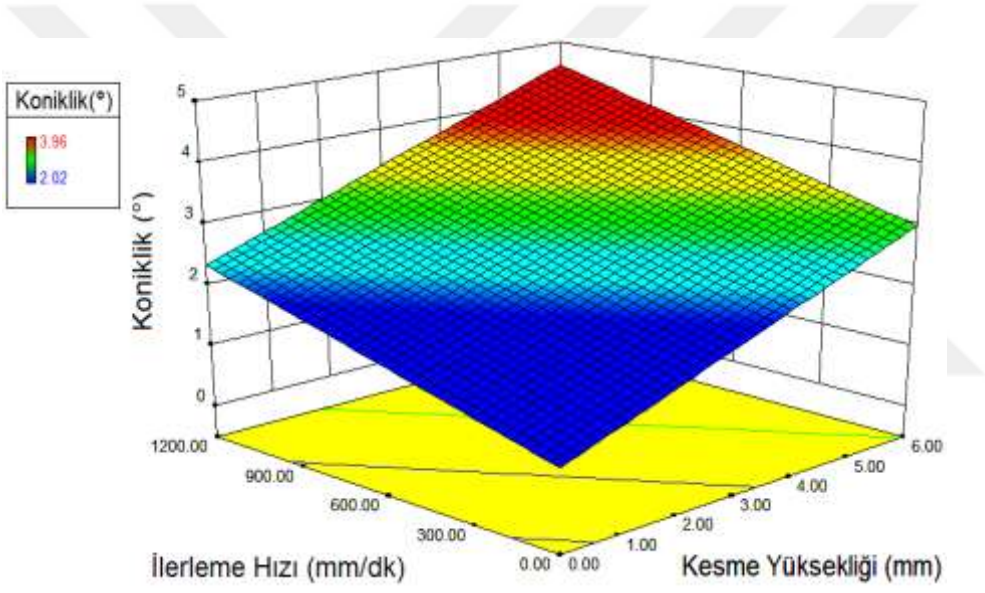
10. deney sonucunda kesme yüksekliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü ve koniklik değerlerinin arttığı görülmektedir.

Bu durumun sebebi; kesme yüksekliği arttıkça aşındırıcı malzemenin nüfuziyet etkisi azalır ve kesim yüzeyinde yeterli miktarda aşındırma yapamaz. Bu sebeple yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Şekil 4.7'de grafikte bu sonuca ulaşılmaktadır.

Aşındırıcı malzeme iş parçasından yeterli miktarda tanecik koparamadığı için malzeme üst yüzeyi ile alt yüzey arasındaki kesme genişliği farkı artmaktadır ve koniklik artmaktadır.



a)



b)

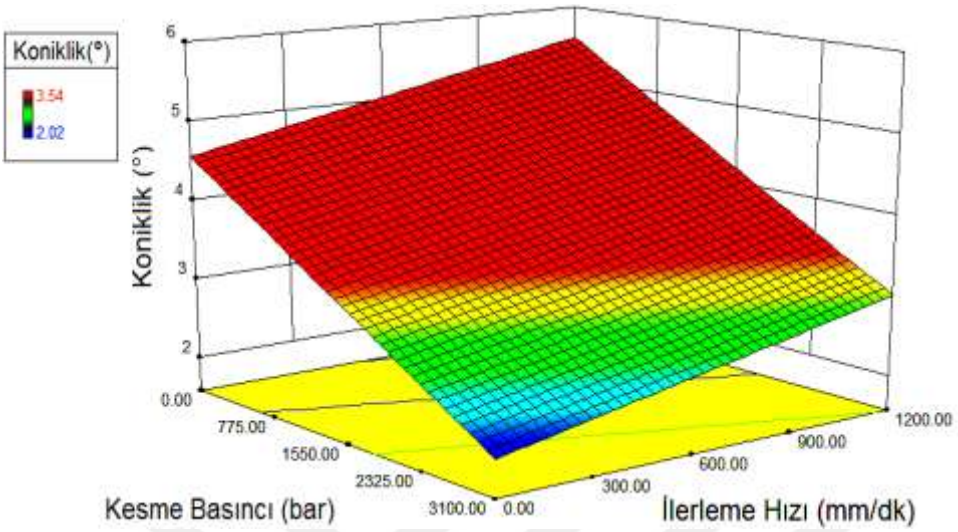
Şekil 4.7: İlerleme hızı ve kesme yüksekliğinin a) yüzey pürüzlülüğü oluşumuna ve b) konik oluşumuna etkisi (Aşındırıcı akış oranı 300 g/dk, kesme basıncı 3100 bar)

4.4. Kesme Basıncının Yüzey Pürüzlülüğüne ve Koniklik Oluşumuna Etkisi

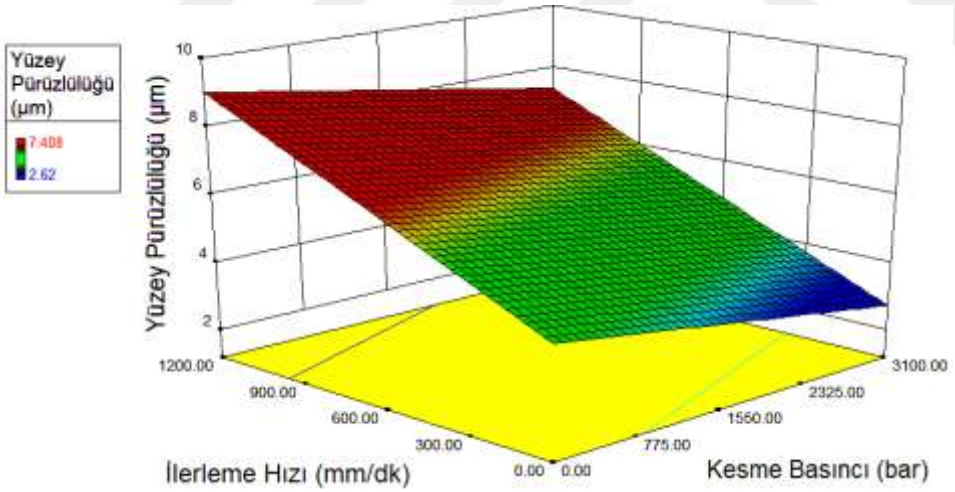
1, 8 ve 9. deney sonucunda kesme basıncının artması ile yüzey pürüzlülüğü ve koniklik değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Kesme basıncının artmasıyla aşındırıcı malzemenin kinetik enerjisi artmakta ve malzemeyi aşındırma kabiliyeti artmaktadır. Malzeme üst yüzeyindeki kesme genişliği ile alt yüzeyindeki kesme genişliği farkı azalmaktadır. Böylece koniklik oluşumu ve yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır **[2].**

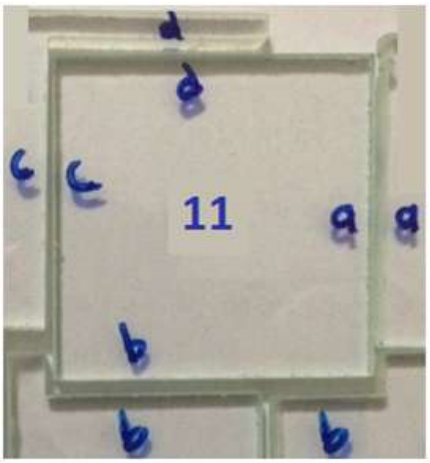
Bu durum Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Kesme basıncı ve ilerleme hızının koniklik oluşumuna etkisi (Aşındırıcı akış oranı 300 g/dk)



Şekil 4.9: İlerleme hızı ve kesme basıncının yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Aşındırıcı oranı 300 g/dk)



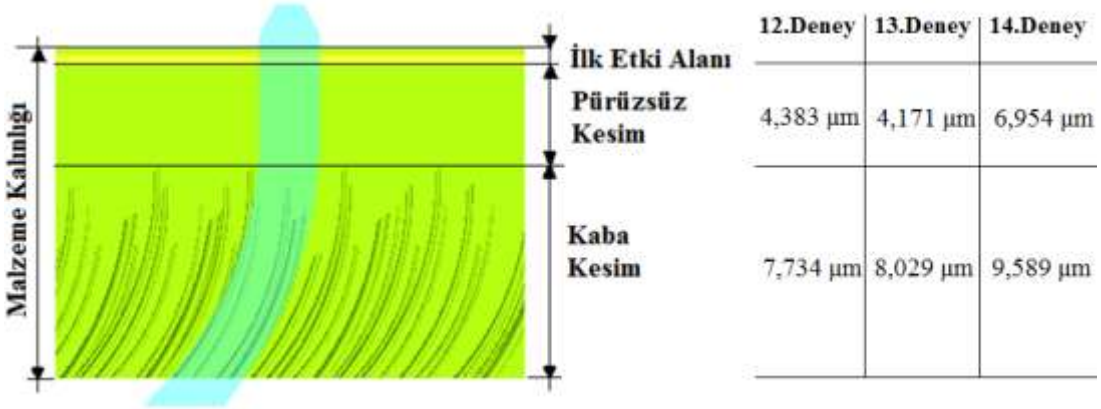
Şekil 4.10: 11. Deney kesim görüntüleri

Şekil 4.10'da 11. deneyde görüldüğü üzere camın dört köşesinden kesim yapılarak iç ve dışta kalan parçaların yüzey pürüzlülüğü ve koniklik değerleri ayrı ayrı ölçülerek kesim kaliteleri birbirleriyle mukayese edilmiştir. Deney sonucunda kenarlar arasında 0,55 µm yüzey pürüzlülüğü ve 0,5° koniklik değerinden fazla bir değer farkı olmadığı tespit edilmiştir.

11 numaralı deney sonucunda yüzey pürüzlülüğü değeri 5,468 µm ve koniklik değeri 2,65° kabul edilmiştir.

4.5. Malzeme Kalınlığının Yüzey Pürüzlülüğüne ve Koniklik Oluşumuna Etkisi

Aşağıda Şekil 4.11'de 12, 13 ve 14. deney sonucunda sırasıyla 6 mm, 8 mm ve 10 mm kalınlıktaki malzemelerin üst ve alt yüzeyinde ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri gösterilmiştir.



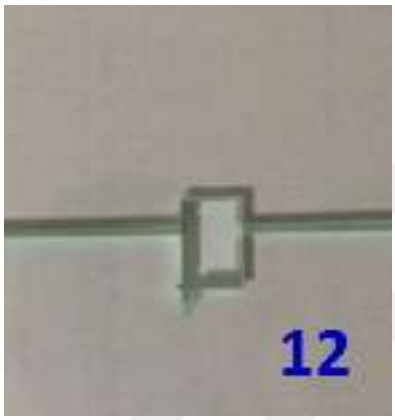
	12.Deney	13.Deney	14.Deney
Pürüzsüz Kesim	4,383 µm	4,171 µm	6,954 µm
Kaba Kesim	7,734 µm	8,029 µm	9,589 µm

Şekil 4.11: Su jeti kesim işleminde oluşan yüzey pürüzlülüğü görseli

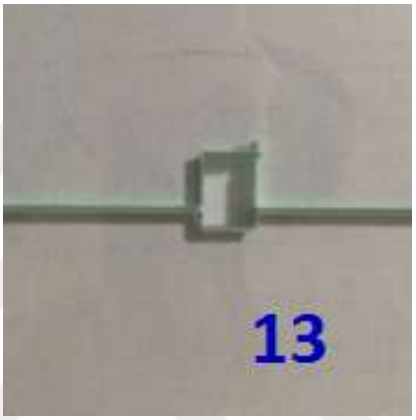
Malzeme kalınlığının artması Şekil 4.11'de ifade edilen aynı sebep ile yüzey pürüzlülüğü ve koniklik artışına sebep olmaktadır.

12, 13 ve 14. deney sonuçları Tablo 3.2' de incelendiğinde malzeme kalınlığının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü ve koniklik değerlerinin arttığı görülmektedir. Aşağıda Şekil 4.12'de ve Şekil 4.13'te bu deneylerin kesim görselleri, ölçülen koniklik değerleri ve topografi görselleri verilmiştir.

a)



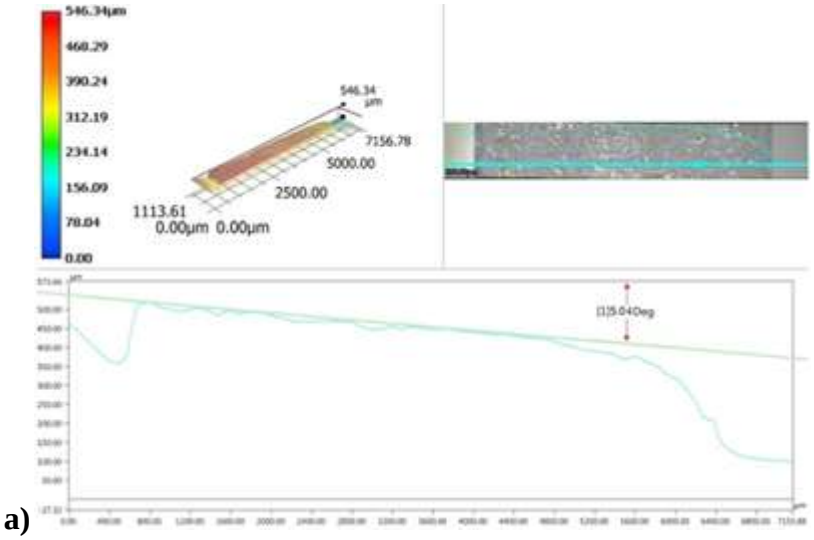
b)



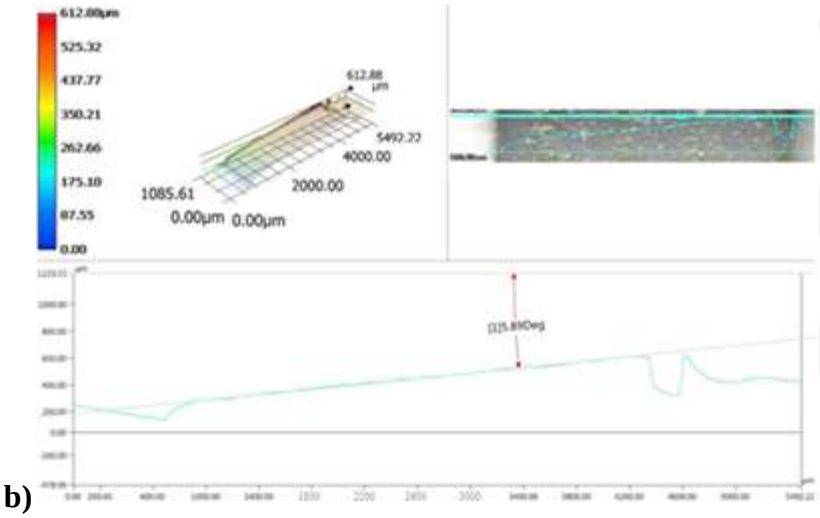
c)



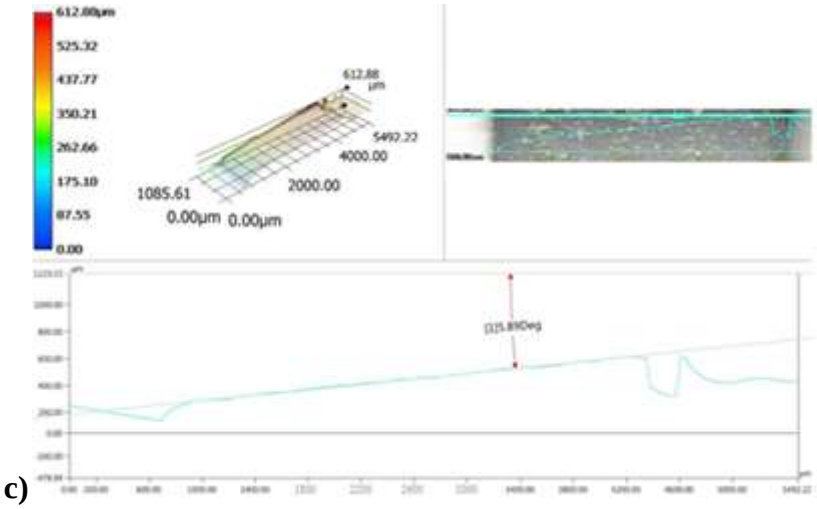
Şekil 4.12: a) 12. Deney b) 13. Deney ve c) 14. Deney kesim görüntüleri



a)



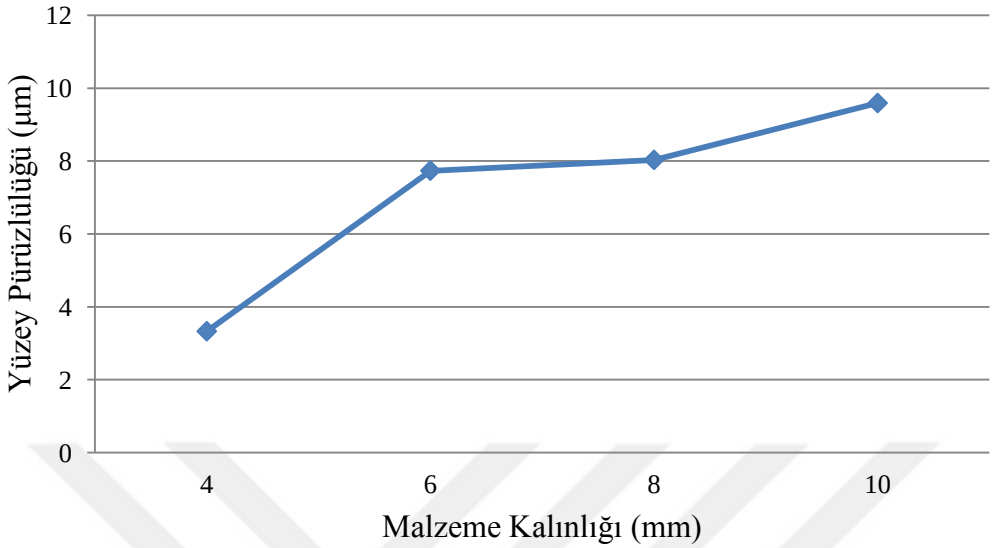
b)



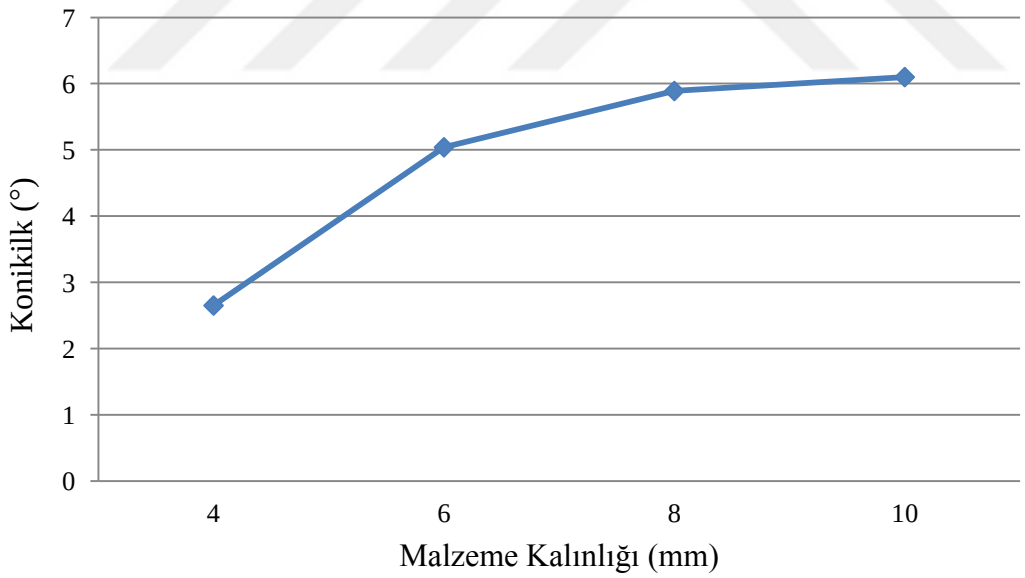
c)

Şekil 4.13: a) 12. Deney (6 mm kalınlık), b) 13. Deney (8 mm kalınlık) ve c) 14. Deney (10 mm kalınlık) sonucunda oluşan koniklik değerleri ve topografi görüntüleri (Kesme basıncı 3100 bar, aşındırıcı akış oranı 300 g/dk, ilerleme hızı 200 mm/dk)

Aşağıda Şekil 4.14'te malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve Şekil 4.15'de malzeme kalınlığının koniklik oluşumuna etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.14: Malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Kesme basıncı 3100 bar, aşındırıcı akış oranı 300 g/dk, ilerleme hızı 200 mm/dk)



Şekil 4.15: Malzeme kalınlığının koniklik oluşumuna etkisi (Kesme basıncı 3100 bar, aşındırıcı akış oranı 300 g/dk, ilerleme hızı 200 mm/dk)

4.6. Kesme Esnasında Malzeme Yüzeyinde Oluşan Yüzey Kusurları

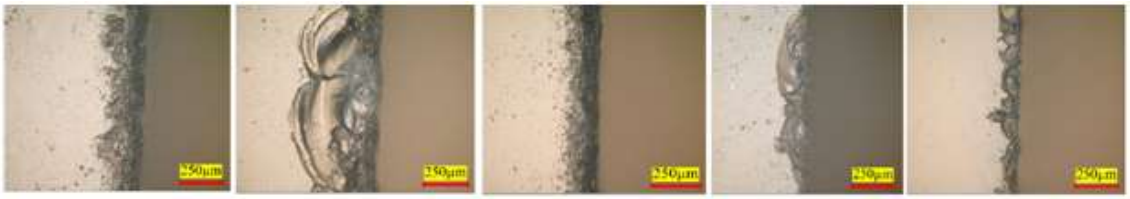
Deney sonuçlarından edinilen çıktılara göre yüzey pürüzlülüğünün ve koniklik oluşumunun yanı sıra malzeme girişinde oluşan yüzey kalitesi ile çıkışında oluşan

yüzey kalitesi arasında fark saptanmıştır. Malzeme çıkışındaki yüzey, girişindeki yüzeye göre iyi aşındırma işlemi yapılamayan, plastik deformasyona uğramış düşük yüzey kalitesine sahiptir. Bunun sebebi; aşındırıcı partiküllerin kinetik enerjisinin, derin mesafelere nüfus etmesi esnasında azalması ve birim alana nüfuz eden aşındırıcı partikül miktarının az olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun sonucu olarak aşındırma işlemi yeteri kadar yapılamamaktadır. Bu durum Şekil 4.11'de gösterilen yüzey kalitesi oluşumu ile aynı sebebe dayanmaktadır.

2, 4, 5, 6, 8 ve 9 numaralı deney sonuçlarında malzeme çıkış yüzeyinde oluşan düşük yüzey kalitesi Şekil 4.17'de görülmektedir. Aşındırıcı partiküllerin kinetik enerjisini arttırmak ve kesme derinliğini arttırmak için aşındırıcı malzeme akış oranını arttırmak, su basıncını arttırmak ve ilerleme hızını azaltmak gerekmektedir.

Malzeme giriş yüzey kalitesi ve çıkış yüzey kalitesi arasında en az farka sahip yüzey ve çıkış yüzeyinde oluşan en iyi yüzey kalitesi 3. deney sonucunda elde edilmiştir.

Aşağıda Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de ilk 10 deney sonucunda basınçlı akışkanın malzemeye ilk nüfuz ettiği malzeme giriş ve basınçlı akışkanın malzemeyi aşındırarak malzeme alt yüzeyinden çıkış yaptığı çıkış yüzeyindeki aşınma görüntüleri verilmiştir.



1. Deney 2. Deney 3. Deney 4. Deney 5. Deney



6. Deney 7. Deney 8. Deney 9. Deney 10. Deney

Şekil 4.16: Malzeme giriş yüzeyinde oluşan aşınma görüntüleri



1. Deney 2. Deney 3. Deney 4. Deney 5. Deney



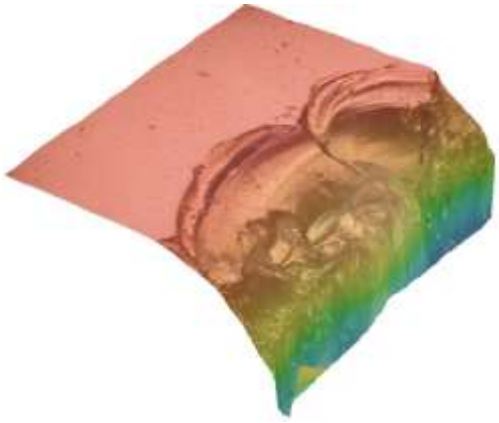
6. Deney 7. Deney 8. Deney 9. Deney 10. Deney

Şekil 4.17: Malzeme çıkış yüzeyinde oluşan aşınma görüntüleri

Deney sonuçlarına göre; 1, 3, 7, 8, ve 9 numaralı deneylerin sonucunda oluşan malzemelerin giriş yüzeyindeki yüzey kalitesi birbirleriyle benzerlik göstermektedir ve ortalama bir yüzey kalitesindedir. Bu durumun sebebi; birim alana düşen aşındırıcı malzeme miktarının malzeme üzerinden parçacık aşındırma işlemini yeterli oranda yapabilecek miktarda olmasıdır.

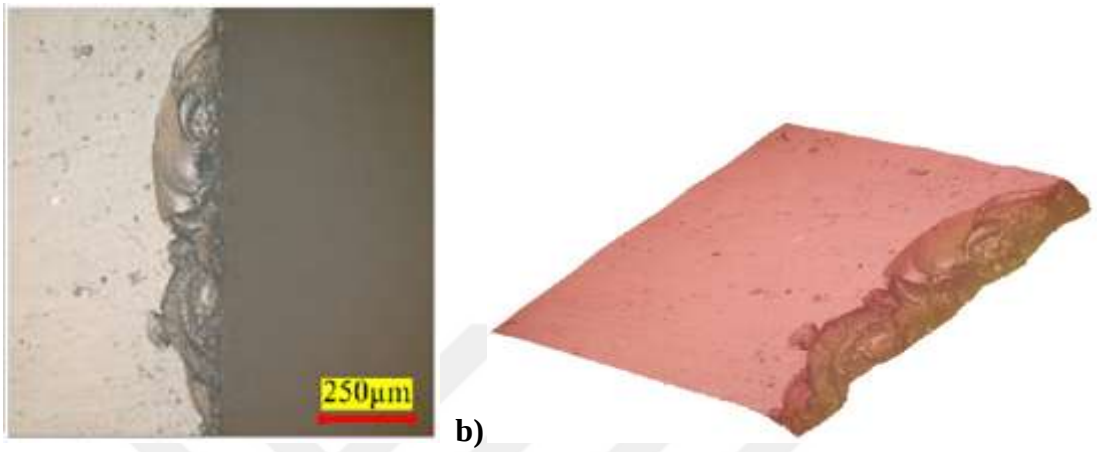
Diğer deney sonuçları ile karşılaştırıldığında 2, 4, 5, 6 ve 10 numaralı deneylerde malzeme girişinde yüzey kalitesi bozulması görülmektedir. Bu durum 2, 4 ve 10 numaralı deney sonuçları üzerinden aşağıda açıklanmıştır.

a) 

b) 

Şekil 4.18: 2. deney sonucunda oluşan a) malzeme girişindeki yüzey görseli ve b) Topografi görseli (300 g/dk aşındırıcı akış oranı, 1200 mm/dk ilerleme hızı)

Düşük aşındırıcı akış oranında (300 g/dk) ilerleme hızının yüksek olması (1200 mm/dk) sebebi ile birim alana nüfus eden partikül miktarı az olmaktadır ve birim alanda yeteri kadar aşındırma sağlanamamaktadır. Malzeme giriş yüzeyinde Şekil 4.18'de oluşan yüzey kusuru meydana gelmektedir.

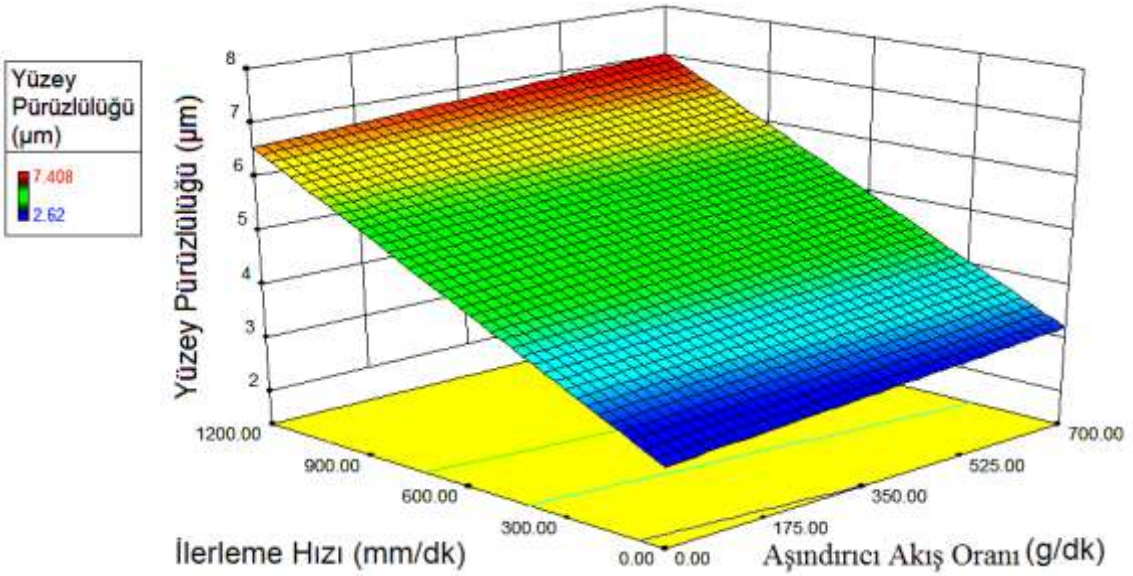


a) **b)**

Şekil 4.19: 4. deney sonucunda oluşan a) malzeme girişindeki yüzey görseli ve b) topografi görseli (700 g/dk aşındırıcı akış oranı, 1200 mm/dk ilerleme hızı)

Aşındırıcı akış oranının artmasıyla Şekil 4.18'de gösterilen malzeme girişindeki yüzeyde oluşan yüzey kusurunu minimize etmek mümkündür. Ancak yüksek ilerleme hızlarında (1200 mm/dk) aşındırıcı akış oranının yüksek olması birim alana nüfus eden partiküllerin odak noktasının kayması sebebiyle malzemenin aşındırılan yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülüğünü arttırmaktadır Şekil 4.19.

İlerleme hızı ve aşındırıcı akış oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi aşağıda Şekil 4.20'de verilmiştir.

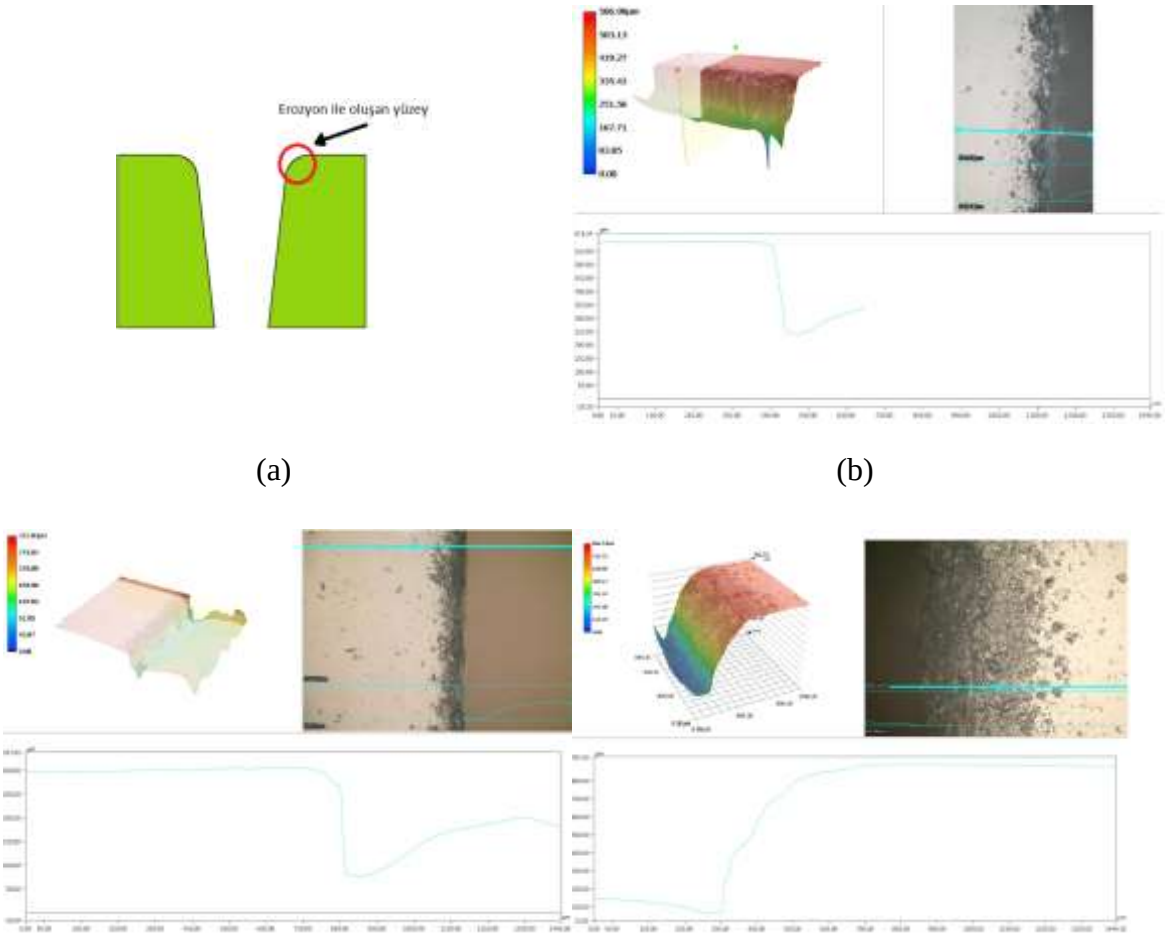


Şekil 4.20: İlerleme hızı ve aşındırıcı akış oranının yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Kesme basıncı 3100bar)

Şekil 4.20'de edinilen deney sonuçlarına göre aşındırıcı akış oranı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Düşük ilerleme hızlarında (400 mm/dk) aşındırıcı akış oranının artması ile yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. 10. deney sonucuna göre; kesme yüksekliğinin artması ile aşındırıcı malzemenin nüfuziyet alanı genişlemekte ve birim alana nüfus eden aşındırıcı malzeme oranı azalmaktadır. Bunun sonucu olarak yüzeyde iyi aşındırma işlemi yapılamamaktadır ve malzeme giriş ve çıkış yüzey kalitesi azalmaktadır. Bu durum Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de malzeme giriş ve çıkış yüzey görsellerinde görülmektedir.

4.7. Malzeme Yüzeyinde Erezyon ile Oluşan Yüzey

Gevrek malzemelerin aşındırıcılı su jeti ile işlenmesinde malzeme üst yüzeyinde aşındırıcılı suyun ilk temas ettiği bölgede erezyonun oluşturduğu radyüs şeklinde aşınmalar meydana geldiği görülmüştür. Bu durum Şekil 4.21'de 2., 7. ve 10. deney sonucunda oluşan yüzey görselinde verilmiştir.



Şekil 4.21: Malzeme üst yüzeyinde erozyon ile oluşan radyüs görseli a) Erozyon ile oluşan yüzey tanımı b) 2. deney sonucunda oluşan malzeme üst yüzey görseli c) 7. deney d) 10. deney sonucunda oluşan malzeme üst yüzey görseli

Şekil 4.21'de 2. ve 7. deney sonuçlarında görüldüğü üzere ilerleme hızı artmasıyla, malzeme kesim yüzeyinde oluşan radyüs azalmaktadır. Bu durumun sebebi birim alana düşen aşındırıcı partikül miktarının az olmaması ve yeterli aşındırma işlemi yapılamamasından kaynaklanmaktadır.

7. ve 10. deney sonuçlarında görüldüğü üzere malzeme kesme yüksekliği artmasıyla malzeme kesim yüzeyinde oluşan radyüs artmaktadır. Bu durumun sebebi kesme yüksekliği artmasıyla aşındırıcılı akışkanın odak noktası genişlemektedir ve daha geniş alana nüfus etmektedir. Böylece oluşan radyüs artmaktadır.

4.8 Deneysel Tasarım

4.8.1. Anova Analizi

Anova Analizi ile kesim parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve koniklik oluşumuna katkı oranlarını ve önem derecelerini edinmemiz için 14 deney sonucuna göre yapılmıştır.

Analizde kullanılan faktörler ve değerleri aşağıda Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2: Anova Analizi için kullanılan faktör ve seviye bilgileri

Faktör	Tipi	Seviye	Değerler
Malzeme Kalınlığı	Sabit	4	4; 6; 8; 10
Kesme Yüksekliği	Sabit	2	3; 6
Kesme Basıncı	Sabit	3	1750; 2500; 3100
Aşındırıcı Akış Oranı	Sabit	3	100; 300; 700
İlerleme Hızı	Sabit	5	50; 200; 400; 800; 1200

Tablo 4.3: Anova Analiz sonucu a) Yüzey pürüzlülüğü ve b) Koniklik oluşumu

a) Yüzey Pürüzlülüğü Anova Analizi Modeli

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,0115	100,00%	100,00%	*	*

Yüzey Pürüzlülüğü - Anova Analizi

Kontrol Parametreleri	DF	Seq SS	Katkı Oranı	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme kalınlığı (mm)	3	29,4231	53,23%	26,1654	8,7218	65949,43	0,003
Kesme Yüksekliği (mm)	1	8,1442	14,73%	11,2003	11,2003	84690,44	0,002
Kesme Basıncı (bar)	2	0,0301	0,05%	0,0524	0,0262	198,18	0,05
Aşındırıcı Akış Oranı (g/dk)	2	8,2344	14,90%	0,8042	0,4021	3040,55	0,013
İlerleme hızı (mm/dk)	4	9,4422	17,08%	9,4422	2,3605	17849,1	0,006
Error	1	0,0001	0,00%	0,0001	0,0001		
Total	13	55,2742	100,00%				

b) Koniklik Anova Analizi Modeli

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,015	100,00%	99,99%	*	*

Koniklik - Anova Analizi

Kontrol Parametreleri	DF	Seq SS	Katkı Oranı	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme kalınlığı (mm)	3	20,7447	84,05%	12,1923	4,06408	18062,60	0,005
Kesme Yüksekliği (mm)	1	0,30266	1,23%	0,74589	0,745889	3315,06	0,011
Kesme Basıncı (bar)	2	0,78752	3,19%	0,92741	0,463703	2060,90	0,016
Aşındırıcı Akış Oranı (g/dk)	2	0,32781	1,33%	0,43507	0,217537	966,83	0,023
İlerleme hızı (mm/dk)	4	2,51845	10,20%	2,51845	0,629614	2798,28	0,014
Error	1	0,0002	0,00%	0,0002	0,00023		
Total	13	24,6814	100,00%				

Tablo 4.3'te gösterilen Anova analizinden edinilen çıktılara göre kullanılan parametrelerden yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametre % 53,23 katkı oranı ile malzeme kalınlığıdır. İkinci önemli parametre % 17,08 ile ilerleme hızıdır. 3. önemli parametre % 14,90 katkı oranı ile aşındırıcı akış oranıdır. 4. önemli parametre % 14,73 katkı oranı ile kesme yüksekliğidir. Son etki eden parametre % 0,05 katkı oranı ile kesme basıncıdır.

Koniklik oluşumu için etki eden en önemli parametre % 84,05 katkı oranı ile malzeme kalınlığıdır. İkinci önemli parametre % 10,20 katkı oranı ile ilerleme hızıdır. Üçüncü önemli parametre % 3,19 katkı oranı ile kesme basıncıdır. Dördüncü önemli parametre % 1,33 katkı oranı ile aşındırıcı akış oranıdır. Son etki eden parametre % 1,23 katkı oranı ile kesme yüksekliğidir.

Edinilen çıktıların modele uyumluluğu R^2 değerinin yüzey pürüzlülüğü için % 100 ve koniklik için % 100 olmasından anlaşılmaktadır.

Bu analiz % 95 güven seviyesinde gerçekleştirilmiştir.

Kesme parametrelerinin tümünün P değeri 0,05'e eşit veya altında bir değer olduğu için bütün parametreler anlamlıdır.

4.8.2. Regresyon Analizi

4.8.2.1. Lineer Regresyon Modeli - Tahmini Yüzey Pürüzlülüğü ve Koniklik

Bu çalışmada tahmini yüzey pürüzlülüğü ve koniklik değerlerinin hesaplanabilmesi için regresyon analizi yapılan 14 deney sonucuna göre analiz edilmiştir. Lineer ve kuadratik regresyon modeli ile denklem tahminleri yapılmıştır. Lineer regresyon modeli ile hesaplanan denklemler aşağıda Tablo 4.4 ve Tablo 4.5te verilmiştir:

Tablo 4.4: Tahmini yüzey pürüzlülüğü lineer regresyon modeli ve denklemi

a) Yüzey Pürüzlülüğü Lineer Regresyon Modeli

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,805803	90,60%	84,73%	*	*

Yüzey Pürüzlülüğü (μ) = -3,84 + 1,036 * Malzeme kalınlığı (mm) + 1,278 * Kesme yüksekliği (mm) - 0,000373 * Kesme basıncı (bar) + 0,00134 * Aşındırıcı akış oranı (g/dk) + 0,002718 * İlerleme Hızı (mm/dk)

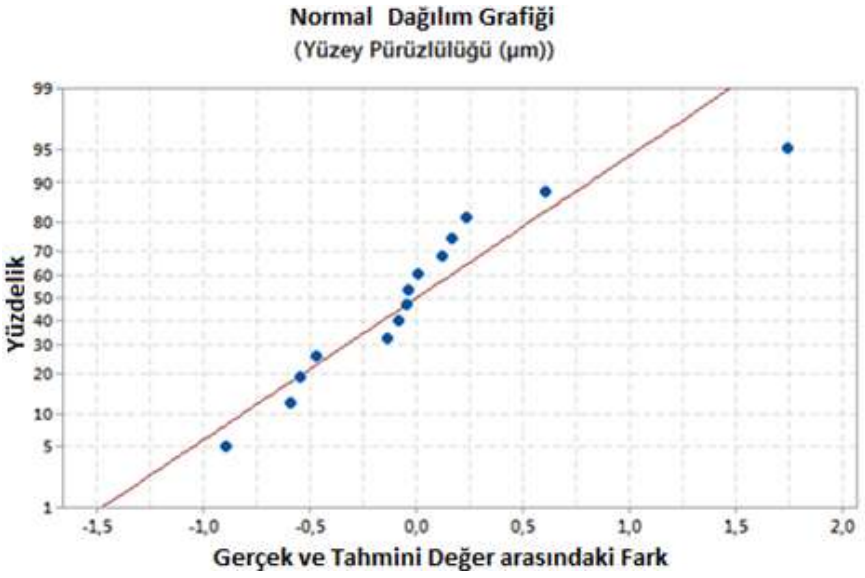
Tablo 4.5: Tahmini koniklik lineer regresyon modeli ve koniklik değeri denklemi

Koniklik Lineer Regresyon Modeli

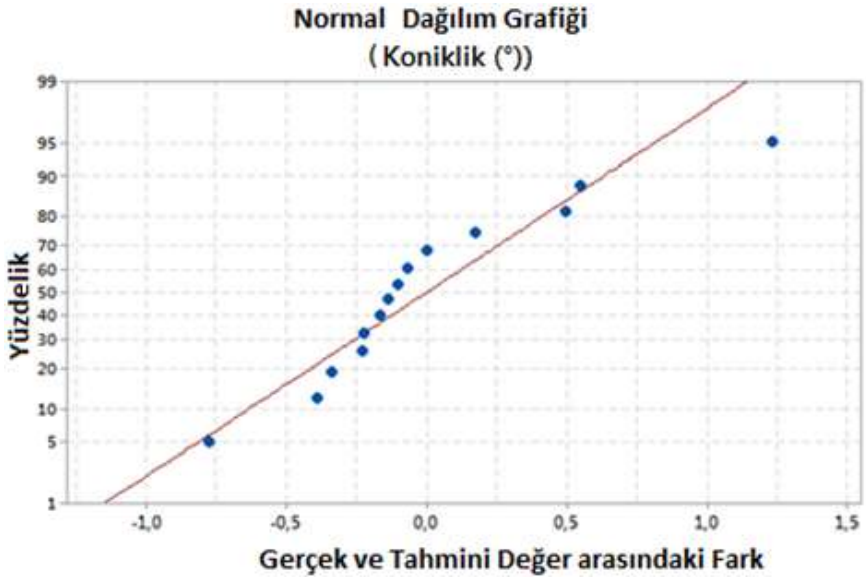
S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,613453	87,80%	80,18%	*	*

Koniklik (°) = 0,28 + 0,764 * Malzeme kalınlığı (mm) + 0,331 * Kesme yüksekliği (mm) - 0,000678 * Kesme basıncı (bar) - 0,00061 * Aşındırıcı akış oranı (g/dk) + 0,001182 * İlerleme Hızı (mm/dk)

Lineer regresyon modeli ile edinilen denklemlerin model için uygunluk değeri (R^2) yüzey pürüzlülüğü ve koniklik için sırasıyla %90,60 ve %87,80 olarak edinilmiştir.



a)



b)

Şekil 4.22: a) Yüzey pürüzlülüğü ve b) Koniklik için normal dağılım grafikleri

Normal dağılım grafiklerinde lineer regresyon modelinden edinilen tahmini değerler ile deneyde edinilen gerçek değerler arasındaki farklar yaklaşık olarak lineer bir dağılım göstermiştir. Yani lineer regresyon modeli ile tutarlı ve uyumlu değerler elde edildiğini göstermektedir.

4.8.2.2. Kuadratik Regresyon Modeli - Tahmini Yüzey Pürüzlülüğü ve Koniklik

Yüzey pürüzlülüğü ve koniklik için tahmini değerler ve deney sonuçlarından edinilen değerlerin mukayesesi kuadratik regresyon modeli ile açıklanmıştır. 14 deney sonucuna göre yapılmıştır.

Kuadratik regresyon modeli ile hesaplanan denklemler aşağıda Tablo 4.6'da verilmiştir:

Tablo 4.6: Kuadratik Regresyon Modeli a) Tahmini yüzey pürüzlülüğü ve b) Koniklik değerlerini hesaplamak için edinilen denklemler

a) Yüzey Pürüzlülüğü Kuadratik Regresyon Modeli

S	R-sq	R-sq(adj)
0,0595035	99,89%	99,87%

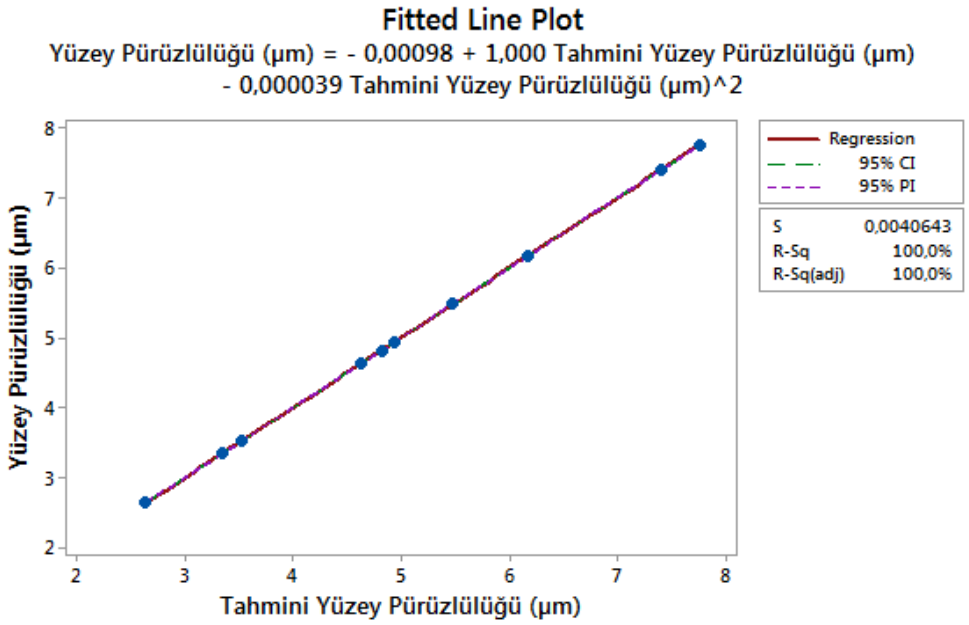
Yüzey Pürüzlülüğü (μ) = 0,0251 + 0,9896 * Tahmini Yüzey Pürüzlülüğü (μ) + 0,000989 * Tahmini Yüzey Pürüzlülüğü (μ)^2

b) Koniklik Kuadratik Regresyon Modeli

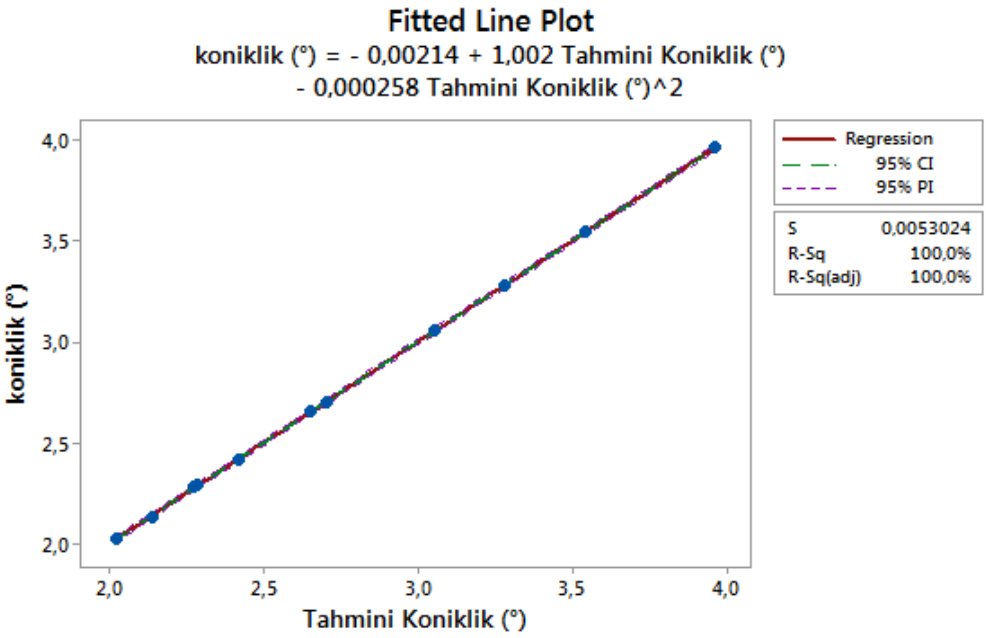
S	R-sq	R-sq(adj)
0,0053024	99,99%	99,99%

Koniklik (°) = - 0,00214 + 1,002 * Tahmini Koniklik (°) - 0,000258 * Tahmini Koniklik (°)^2

Kuadratik regresyon modeli ile edinilen denklemlerin model için uygunluk değeri (R^2) yüzey pürüzlülüğü ve koniklik için sırasıyla %99,89 ve %99,99 olarak edinilmiştir. Şekil 4.24'te grafik üzerinde bu durum gösterilmiştir.



a)



b)

Şekil 4.23: a) Yüzey pürüzlülüğü ve b) Koniklik için deneysel ve tahmini değerlerin kuadratik regresyon modeli ile mukayesesi

Koniklik ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini tahmin etmek için kuadratik regresyon modeli ile edinilen değerler, lineer regresyon modeli ile edinilen değerlere göre daha hassas ve daha tutarlı olduğu bilgisine varılmıştır.

5. SONUÇLAR

Deneyden edinilen çıktılara göre;

- Gevrek ve plastik malzemelerin su jeti ile kesilmesi esnasında yüksek basınçlara maruz kaldığı için malzemede esneme, titreşime ve tabla üzerinde ufak kaymalara yol açmaktadır. Bu sebeple deney malzemesi altına destekleyici bir malzeme olarak 6 mm kalınlığında mdf plaka yerleştirilmiştir.

  Mdf plakanın yüksek basınçta gelen yükü absorbe ettiği için ve iş parçası olan cam malzemeye iyi tutunması ile kesme anında ufak kaymalara müsaade etmediği için daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve koniklik değeri elde edildiği görülmüştür. Bu sebeple yapılan kesim deneylerinde mdf plaka kullanılmıştır.
- İş parçasına basınçlı suyun ilk temas ettiği belli bir mesafede yüzey kalitesi, daha derin mesafelerde aşındırılan yüzeye göre daha yüksektir.

  Bunun sebebi; basınçlı suyun ve aşındırıcı malzemenin iş parçasına ilk temas ettiği bölgede kinetik enerjisinin yüksek olmasındandır. Daha derin mesafelere nüfuziyet gerçekleştirildiğinde basınçlı suyun ve aşındırıcı malzemenin kinetik enerjisi azalmaktadır ve aşındırma kabiliyeti zayıflamaktadır. Bu durumun diğer bir sonucu olarak malzeme girişinde oluşan yüzey kusurları malzeme çıkışında oluşan yüzey kusurlarından çok daha az olmaktadır.

  Derin mesafelere nüfuziyet gerçekleştiğinde ve ayrıca malzeme kalınlığının artması ile koniklik oluşumu artmaktadır.

  Bu durumları minimize etmek için aşındırıcı partiküllerin kinetik enerjisini arttırmak ve iş parçası üzerinde birim alana düşen aşındırıcı partikül miktarını arttırmak gerekmektedir. Bunun için aşındırıcı malzeme akış oranını arttırmak, su basıncını arttırmak ve ilerleme hızını azaltmak gerekmektedir.
- 4 mm cam malzeme kesiminde elde edilen en düşük yüzey pürüzlülüğü 2,62 µm ve en düşük koniklik değeri 2,02° 'dir. Kullanılan parametreler: kesme yüksekliği 3 mm, kesme basıncı 3100 bar, aşındırıcı akış oranı 300 g/dk, ilerleme hızı 50 mm/dk.
- Aynı kesme parametreleri kullanılarak malzeme giriş yüzey kalitesi ve çıkış yüzey kalitesi arasında en az farka sahip yüzey ve çıkış yüzeyinde oluşan en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir.

- Anova analizinden edinilen çıktılara göre kullanılan parametrelerden yüzey pürüzlülüğü oluşumuna etki eden en önemli parametre % 53,23 katkı oranı ile malzeme kalınlığıdır. İkinci önemli parametre % 17,08 ile ilerleme hızıdır. 3. önemli parametre % 14,90 katkı oranı ile aşındırıcı akış oranıdır. 4. önemli parametre % 14,73 katkı oranı ile kesme yüksekliğidir. Son etki eden parametre % 0,05 katkı oranı ile kesme basıncıdır.

  Koniklik oluşumu için etki eden en önemli parametre % 84,05 katkı oranı ile malzeme kalınlığıdır. İkinci önemli parametre % 10,20 katkı oranı ile ilerleme hızıdır. Üçüncü önemli parametre % 3,19 katkı oranı ile kesme basıncıdır. Dördüncü önemli parametre % 1,33 katkı oranı ile aşındırıcı akış oranıdır. Son etki eden parametre % 1,23 katkı oranı ile kesme yüksekliğidir.
- Kuadratik regresyon modeli ile edinilen değerler, lineer regresyon modeli ile edinilen değerlere göre koniklik ve yüzey pürüzlülüğü oluşumu için daha hassas ve daha tutarlı olduğu bilgisine varılmıştır.
- Kesme yüksekliğinin artması ile aşındırıcı malzemenin nüfuziyet alanı genişlemekte ve iş parçası üzerinde birim alana nüfus eden aşındırıcı malzeme miktarı azalmaktadır. Bunun sonucu olarak iş parçası yüzeyinde iyi aşındırma işlemi yapılamamaktadır. Koniklik oluşumu ve yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Malzeme giriş ve çıkış yüzeyinde yüzey kalitesi azalmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Schwacha, Billie G., Liquid Cutting of Hard Metals Archived, *US Patented* 2 985 050, May 23 (1961).

2. Khan, A. A., & Haque, M. M. (2007), Performance of different abrasive materials during abrasive water jet machining of glass. *Journal of Materials Processing Technology, 191(1-3), 404–407.*

3. Ali, Y., Wang, J., (2011), Impact abrasive machining In Jackson, *M.J., Davim, J.P., Machining with Abrasives. Springer, US, 385–419.*

4. Schwartzentruber, J., & Papini, M. (2015), Abrasive waterjet micro-piercing of borosilicate glass, *Journal of Materials Processing Technology*, 219, 143–154. doi:10.1016/j.jmatprotec.2014.12.006

5. D.K. Shanmugam, S.H. Masood. (2009). An investigation on kerf characteristics in abrasive waterjet cutting of layered composites, *journal of materials processing technology*, 209: 3887–3893.

6. https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/waterjetcutting/removing - rubies-and-sapphires-from-the-waterjet-mix/, 5 Mayıs 2017.

7. https://www.southernfabsales.com/blog/waterjet-intensifier-vs-direct-drive - which-is-better/ 26 Şubat 2019.

8. https://wardjet.com/waterjet/university/nozzle-orifice/, tarih belirtilmemiş.

9. https://www.prime-tech.ca/accustreamabrasivewaterjetregulator.htm/, tarih belirtilmemiş.

10. Mohammad S. Alsoufi, State-of-the-art in abrasive water jet Cutting Technology and the Promise for Micro- and Nano-Machining, *International Journal of mechanical engineering and applications*, Vol. 5, No. 1, (2017), pp. 1-14. doi: 10.11648/j.ijmea.20170501.11

11. G.A. Mort, Results of abrasive water jet market survey, in: Proceedings of the 8th American Water Jet Conference, vol. 1, (1995), pp. 259–282.

12. https://www.youtube.com/watch?v=_iiD1kwjh8Q/, 13 Temmuz 2017.

13. https://www.bmssi.ca/waterjet-cutting/, tarih belirtilmemiş.

14. https://www.indiamart.com/proddetail/inconel-waterjet-cutting-service-363134391.html/, tarih belirtilmemiş.

15. https://www.majet.com.tr/, tarih belirtilmemiş.

16. https://i.ytimg.com/vi/T5x-5TH8YkQ/maxresdefault.jpg/, tarih belirtilmemiş.

17. https://www.sigma-tech.ru/en/waterjet-cutting/titanium/, tarih belirtilmemiş.

18. https://sdtsujeti.com/appointment_portfolio/cam-13/, tarih belirtilmemiş.

19. http://blightdesign.com/unfinished/?p=564/, 25 Ocak 2019.

20. http://pcswaterjet.com/project-gallery/wppaspec/oc1/lnen/cv0/ab5/pt17/, tarih belirtilmemiş.

21. R.R. Schreiber, Harnessing a Vulcano, Manufacturing Engineering, 1992, pp. 66-69

22. Chen WL, Geskin ES (1990), Measurements of the velocity of abrasive waterjet by the use of laser transit anemometer. Proceedings of the 10th International Symposium

23. J. Wang , T. Kuriyagawa & C. Z. Huang (2003), An Experimental Study to Enhance the Cutting Performance in Abrasive Waterjet Machining, *Machining Science and Technology*, 7:2, 191-207, DOI: 10.1081/MST-120022777.

24. Aich, Ushasta; Banerjee, Simul; Bandyopadhyay, Asish; Das, Probal Kumar (2014), Abrasive Water Jet Cutting of Borosilicate Glass, *Procedia Materials Science*, 6, 775–785. doi:10.1016/j.mspro.2014.07.094.

25. M. A. Azmir, A. K. Ahsan (2008), Investigation on Glass/Epoxy Composite Surfaces Machined by Abrasive Water jet Machining, *Journal of Materials Processing Technology* I98, I22-I28.

26. Ahmed, T. M., El Mesalamy, A. S., Youssef, A., & El Midany, T. T. (2018), Improving surface roughness of abrasive waterjet cutting process by using statistical modeling. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 22, 30–36. doi:10.1016/j.cirpj.2018.03.004.

27. D. K. Shanmugam, J. Wang, H. Liu (2008), Minimisation of kerf tapers in abrasive waterjet machining of alumina ceramics using a compensation technique, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 47, 1527-1534.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa Raşit TURGUT

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans : Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü (2019 - 2022)

Lisans : Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü (2013 - 2018)

İŞ TECRÜBELERİ

Galen Teknoloji San. ve Tic. A.Ş.

Görevi: AR-GE Mühendisi

Başlangınç yılı: 2020

Bitiş yılı: 2022

PROJELER

- "Sürtünme ve sesin mekanik yapılarda ilişkisinin incelenmesi", Destekleyen kuruluş: Cranfield Üniversitesi, İmalat anabilim dalı, Görev: Araştırma stajyeri

- "Aluminyum plaka üzerinde sıcaklık değişimi ile ultrasonic dalga testi ", Destekleyen kuruluş: Cranfield Üniversitesi, İmalat anabilim dalı, Görev: Araştırma stajyeri