T.C.

BATMAN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KRİYOJENİK ISIL İŞLEM UYGULANMIŞ ÖZEL TASARLANMIŞ MATKAP UÇLARI İLE FİBER TAKVİYELİ CAM-EPOKSİ KOMPOZİTİN DELME PERFORMANSI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mehmet Şükrü ADİN

DOKTORA TEZİ

Danışman: Prof.Dr. Bahattin İŞCAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs − 2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Şükrü ADİN tarafından hazırlanan **"Kriyojenik Isıl İşlem Uygulanmış Özel Tasarlanmış Matkap Uçları ile Fiber Takviyeli Cam-Epoksi Kompozitin Delme Performansı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi"** adlı tez çalışması 27/05/2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ	……..
Danışman Prof. Dr. Bahattin İŞCAN	……..
İkinci Danışman Dr.Öğr.Üyesi Şehmus BADAY	……...
Üye Doç.Dr. Şerif ÇİTİL	……..
Üye Doç.Dr. Mustafa OKUMUŞ	……..
Üye Dr.Öğr.Üyesi Hüseyin GÜRBÜZ	……..

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof.Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

*Bu tez çalışması Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BTÜBAP) tarafından 2021-DOKTORA-01 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Mehmet Şükrü ADİN

Tarih: 27 / 05 / 2022

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KRİYOJENİK ISIL İŞLEM UYGULANMIŞ ÖZEL TASARLANMIŞ MATKAP UÇLARI İLE FİBER TAKVİYELİ CAM-EPOKSİ KOMPOZİTİN DELME PERFORMANSI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mehmet Şükrü ADİN

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

2022, 232 Sayfa

Jüri
Danışman: Prof.Dr. Bahattin İŞCAN
İkinci Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Şehmus BADAY
Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ
Doç.Dr. Şerif ÇİTİL
Doç.Dr. Mustafa OKUMUŞ
Dr.Öğr.Üyesi Hüseyin GÜRBÜZ

Bu çalışmada, özel tasarlanarak imal edilen 8 mm çapında, farklı uç açılarına (118°, 128° ve 138°), helis açılarına (26°, 33° ve 40°) ve boşluk açılarına (8°, 10° ve 12°) sahip derin kriyojenik işlem (-196°C) uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplar ile farklı devir sayısı (800, 1200 ve 1800 dev/dk) ve ilerleme (0.01, 0.02 ve 0.03 mm/dev) parametrelerinde delinen fiber takviyeli cam-epoksi kompozitin kesme kuvvetleri, delaminasyon faktörleri, yüzey pürüzlülükleri, talaş şekilleri ve işlem süreleri incelenerek değerlendirilmiştir. Ayrıca, kesici takımlara XRD analizi yapılarak mikroyapılarındaki değişimler incelenmiş ve art arda delik delme işlemleri yapılarak takım aşınmaları, talaş sıcaklıkları, kesici takım sıcaklıkları ve ASTM standartlarına göre hazırlanan kompozit iş parçası numunelerinin çekme kuvvetleri bulunarak değerlendirilmiştir. Derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkabın karbür tanelerinin daha küçük ve homojen dağılması ve faz değişimi sayesinde sertlik değeri daha yüksek olan karbürlerin artışı, kesici takımın sertliğini artırmıştır. Delik delme işlemleri sırasında, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin azaldığı ve kesme kuvvetlerine (Fx) göre en uygun kesici takımın 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkap olduğu görülmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri incelendiğinde, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı ve ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre en uygun kesici takımın, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkap olduğu belirlenmiştir. Delaminasyon faktörlerine bakıldığında, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı ve delaminasyon faktörlerine göre en uygun kesici takımın, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkap olduğu bulunmuştur. Delme işlemleri sırasında oluşan talaşların, ilerleme oranı arttıkça hacimlerinin büyüdüğü, devir sayısı arttıkça küçüldükleri görülmüştür. Derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapların işleme sürelerinin genel olarak işlem uygulanmamış HSS matkaplardan daha kısa olduğu belirlenmiştir. Kesici takım ömrü deneylerinde, matkaplarda radyal ağız aşınması, dış köşe aşınması ve serbest yüzey aşınmasının meydana geldiği görülmüştür. Derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapların aşınma değerlerinin daha az olması nedeniyle takım ömürlerinin arttığı belirlenmiştir. İşlem uygulanmamış HSS matkapların çıkardığı talaşın sıcaklığının derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapların çıkardığı talaştan daha yüksek olduğu görülmüştür. Matkap sıcaklarının, işlem uygulanmamış HSS matkaplarda daha yüksek olduğu bulunmuştur. Düşük ilerlemelerde ve derin kriyojenik işlem uygulanmış matkaplar ile delinen kompozitlerdeki deformasyonların daha az olması nedeniyle çekme kuvvetleri daha yüksek çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çekme Kuvveti, Delaminasyon, Delik Delme, HSS Matkap, Kesici Takım Aşınması, Kompozit İşleme, Kriyojenik İşlem, Yüzey Pürüzlüğü

ABSTRACT

Ph.D THESIS

INVESTIGATION OF DRILLING PERFORMANCE AND MECHANICAL PROPERTIES OF FIBER REINFORCED GLASS-EPOXY COMPOSITE WITH CRYOGENICALLY TREATED SPECIAL DESIGN DRILL BITS

Mehmet Şükrü ADİN

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

2022, 232 Pages

Jury
Advisor: Prof. Dr. Bahattin İŞCAN
Second Advisor: Assist. Prof. Şehmus BADAY
Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ
Assoc. Prof. Şerif ÇİTİL
Assoc. Prof. Mustafa OKUMUŞ
Assist. Prof. Hüseyin GÜRBÜZ

In this study, the cutting forces, delamination factors, surface roughness, chip shapes and processing times of fiber reinforced glass-epoxy composite drilled with specially designed 8 mm diameter HSS drills with different point angles (118°, 128° and 138°), helix angles (26°, 33° and 40°) and clearance angles (8°, 10° and 12°), with and without deep cryogenic treatment (-196°C) application were investigated. Drilling operations were performed at three different spindle speeds (800, 1200 and 1800 rev/min) and feeds (0.01, 0.02 and 0.03 mm/rev). In addition, the changes in the microstructure of the cutting tools were examined by XRD analysis. The tool wear, chip temperatures and cutting tool temperatures were measured by performing consecutive drilling operations on the composite workpiece. Moreover, the tensile forces of composite workpiece samples prepared according to ASTM standards were investigated. The smaller and homogeneous distribution of the carbide grains of the deep cryogenically treated HSS drill and the increase of the carbides with higher hardness values due to the phase change increased the hardness of the cutting tool. During drilling operations, it was observed that the cutting forces decrease depending on the increase in the number of revolutions and feed, and the most suitable cutting tool according to the cutting forces (Fx) was the deep cryogenically treated HSS drill with 128° point angle, 33° helix angle and 12° clearance angle. Also, it was found that the average surface roughness (Ra) values increased depending on the increase in the number of revolutions and feed, and accordingly, the most suitable cutting tool was the deep cryogenically treated HSS drill with 128° point angle, 26° helix angle and 8° clearance angle. The delamination factors were negatively correlated to the number of revolutions, but positively correlated to the feed, and the most suitable cutting tool according to the delamination factors was the deep cryogenically treated HSS drill with 118° point angle, 26° helix angle and 8° clearance angle. The volume of chips formed during drilling operations increased as the feed rate increased and decreased as the number of revolutions increased. Processing times of deep cryogenically treated HSS drills were generally shorter than untreated HSS drills. Chisel wear, outer corner wear and flank wear occurred in drills during the cutting tool life experiments. The tool life of HSS drills with deep cryogenic treatment increased owing to lower wear values. The temperatures of the chip produced by the untreated HSS drills were higher than that of the deep cryogenically treated HSS drills. Drill temperatures were higher in untreated HSS drills. Tensile forces were higher due to less deformations in composites drilled at low feeds and with deep cryogenically treated drills.

Keywords: Cryogenic Treatment, Cutting Tool Wear, Delamination, Hole Drilling, HSS Drill, Machining Composite, Surface Roughness, Tensile Force

ÖNSÖZ

"**Kriyojenik Isıl İşlem Uygulanmış Özel Tasarlanmış Matkap Uçları ile Fiber Takviyeli Cam-Epoksi Kompozitin Delme Performansı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**" başlıklı doktora tezi çalışması, Giriş, Literatür Araştırması, Materyal ve Yöntem, Araştırma Sonuçları ve Tartışma ile Sonuçlar olmak üzere 5 (beş) bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde, kompozit malzemelerin özelliklerine ve sınıflandırmasına, işlenmesi sırasında oluşan hasarlara, delik delme işlemlerine, takım çeliklerine ve kriyojenik işlemler hakkında bilgilere yer verilmiştir. Literatür Araştırması bölümünde, kompozit malzemelerin öneminden, kullanım yerlerinden, kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemlerden, kompozit iş parçalarının işlenmesi için kullanılan kesici takımlardan ve oluşan sorunlardan, işleme parametrelerinden ve yapılan çalışmanın amacından bahsedilmiştir. Materyal ve Yöntem bölümünde, çalışmada kullanılan kompozit iş parçasına, kesici takımın imalatına, kriyojenik ve temperleme işlemlerine, çalışma için kullanılan tezgâh ve cihazlara, yazılımlara ve Taguchi deney tasarımına yer verilmiştir. Araştırma Sonuçları ve Tartışma bölümünde, derin kriyojenik işlem görmüş ve işlem görmemiş kesici takımların mikroyapı analizi, XRD analizi, sertlik analizi, kesici takımların kompozit iş parçasını işlemesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri, iş parçasındaki delik yüzeyi pürüzlülüğü, delaminasyon faktörü, çıkan talaşların ve matkapların sıcaklığı, kesici takımlar için ömür deneyleri ve ASTM standartlarına göre hazırlanan kompozit iş parçalarının çekme kuvvetleri incelenerek değerlendirilmiştir. Sonuç bölümünde ise, yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar belirtilmiştir.

Bu tez çalışmasının yapılması esnasında değerli katkılarını ve anlayışlarını esirgemeyen, her türlü zorluğa rağmen beni yalnız bırakmayan ve kendisi ile çalışabilme fırsatı veren saygıdeğer danışmanım Sayın Prof.Dr. Bahattin İŞCAN'a, gece ve gündüz ayrımı yapmadan her zaman kendilerine ulaşabilme fırsatı veren, sabırla dinleyen, yol gösteren, deneyimlerini paylaşan ikinci danışmanım Sayın Dr.Öğr.Üyesi Şehmus BADAY'a ve tez izleme komisyonu üyesi Dr.Öğr.Üyesi Hüseyin GÜRBÜZ'e, tez çalışmasına maddi destek sağlayan ve sürecin her aşamasında yardımcı olan Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Biriminin değerli yönetici ve çalışanlarına, çalışmalarım boyunca bana her türlü desteği veren başta annem ve babama, tüm akrabalarıma ve sevenlerime, lisansüstü öğrenimim boyunca bana destek olan, yol gösteren, fedakarlıkta bulunan, ufkumu genişleten, sabır gösteren, emek veren, kelimelerin ona olan şükranımı belirtmeye yetersiz olduğu saygıdeğer ağabeyime, kendisi küçük ama ufku sınır tanımayan, hayalleri büyük ama tüm mütevaziliği ile akademik çalışmalarıma destek olan çok değerli kardeşime, akademik çalışmalara başlamadan önce bile bana bu yolda gitmem için teşvik eden, geniş görüşlü, vizyon sahibi saygıdeğer ortanca ağabeyime, çalışmam boyunca onlardan esirgemek zorunda kaldığım ilgi, alaka ve zaman için beni affetmelerini umduğum değerli eşime ve çocuklarıma,

Sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Mehmet Şükrü ADİN
BATMAN – 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv
ABSTRACT v
ÖNSÖZ vi
İÇİNDEKİLER vii
ŞEKİLLER LİSTESİ x
TABLOLAR LİSTESİ xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR xv
1. GİRİŞ 1
1.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri 4
1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması 4
1.2.1. Matris malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırması 5
1.2.1.1. Metal matrisli kompozitler 5
1.2.1.2. Polimer matrisli kompozitler 6
1.2.1.3. Seramik matrisli kompozitler 6
1.2.2. Takviye elemanına göre kompozitlerin sınıflandırılması 6
1.2.2.1. Elyaf takviyeli kompozitler 7
1.2.2.2. Partikül takviyeli kompozitler 9
1.2.2.3. Yapı kompozitleri 9
1.3. Polimer Matrisli Kompozitlerin İşlenebilirliği 11
1.3.1. Kompozit malzemelerin frezelenmesi 13
1.3.2. Kompozit malzemelerin tornalanması 13
1.3.3. Kompozit malzemelerin delinmesi 13
1.3.3.1. Geleneksel delik delme yöntemi ile kompozitlerin delinmesi 15
1.3.3.2. Karot delme yöntemi ile kompozitlerin delinmesi 16
1.3.3.3. Lazer delme yöntemi ile kompozitlerin delinmesi 16
1.3.3.4. Su jeti yöntemi ile kompozitlerin delinmesi 17
1.3.3.5. Ultrasonik titreşim desteği yöntemi ile kompozitlerin delinmesi 18
1.3.3.6. Elektro-erozyon yöntemi ile kompozit malzemelerin delinmesi 19
1.4. Kompozitlerin Delinmesi Sırasında Oluşan Hasarlar 20
1.4.1. Delaminasyon 20
1.4.2. Elyaf kırılması 21
1.4.3. Matris yanması 22

1.5. Delik Delme 22
1.5.1. Delik delme işlemleri 23
1.5.2. Matkaplar 24
1.5.3. Matkap geometrisinin delme işlemine etkileri 26
1.5.3.1. Matkap öz kalınlığının delme işlemine etkisi 27
1.5.3.2. Boşluk açısının delme işlemine etkisi 27
1.5.3.3. Helis açısının delme işlemine etkisi 28
1.5.3.4. Uç açısının delme işlemine etkisi 29
1.6. Takım çelikleri 29
1.6.1. Soğuk iş takım çelikleri 30
1.6.2. Sıcak iş takım çelikleri 30
1.6.3. Yüksek hız çelikleri (HSS, High Speed Steel) 30
1.7. Kriyojenik İşlem 31
1.7.1. Kriyojenik işlem soğutma hızı 33
1.7.2. Kriyojenik işlem uygulama süresi 34
1.7.3. Kriyojenik işlem uygulama sıcaklığı 35
1.7.4. Kriyojenik işlem sonrası temperleme işlemi 36
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 38
3. MATERYAL VE YÖNTEM 49
3.1. İş Parçası Malzemesi 49
3.2. Özel İmal Edilen Kesici Takımların Malzemesi 50
3.3. Taguchi Yönteminin Tez Çalışmasında Kullanımı 52
3.4. Kesici Takım Parametrelerinin Belirlenmesi 57
3.4.1. Aşınma deneyleri için kesici takım parametrelerinin belirlenmesi 57
3.5. Kesici takımların İmalatı 58
3.6. Kesici Takımlara Kriyojenik İşlemin Uygulanması 58
3.7. İş Parçası ve Kesici Takımların Mikrosertliklerinin Ölçülmesi 60
3.8. Delme Deneylerinde Termal Kamera ile Sıcaklık Ölçümü 61
3.9. Delik Delme Deneyleri 62
3.10. Kesici Takım Aşınma Deneyleri 63
3.11. Kesme Kuvvetlerinin Ölçümü 63
3.12. Delik Yüzey Pürüzlülüklerinin Ölçülmesi 66
3.13. Delaminasyon Faktörünün Ölçülmesi 67
3.14. Kesici Takımların Hassas Kesimi 69
3.15. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Görüntüleme 69

3.16. Çekme Testi Deneyleri 70
3.17. Kesici Takımların XRD Analizi 71
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 72
4.1. Mikroyapı Analizi 72
4.1.1. XRD analizi 74
4.2. Sertlik Analizi 76
4.3. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi 77
4.3.1. Kesme Kuvvetleri için Taguchi Analiz Sonuçları 77
4.3.2. Kesme Kuvvetleri 79
4.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi 110
4.4.1. Yüzey pürüzlülüğü için Taguchi analiz sonuçları 110
4.4.2. Yüzey Pürüzlülüğü 112
4.5. Delaminasyon Faktörünün Değerlendirilmesi 145
4.5.1. Delaminasyon faktörü için Taguchi analiz sonuçları 145
4.5.2. Delaminasyon Faktörü 147
4.6. Kompozit İş Parçasının Delinmesi Esnasında Çıkan Talaşların İncelenmesi 182
4.7. Kompozit Malzemelerde Açılan Kör Deliklerin İşlem Süresi 189
4.8. Kesici Takımlar İçin Ömür Deneyleri 201
4.8.1. Kesici takımların aşınması 202
4.8.2. Takım ömrü 205
4.8.3. Talaş ve matkap sıcaklıkları 213
4.8.4. Ardı ardına delme işlemleri sonrası delaminasyonlar 217
4.9. Çekme Kuvveti Analizi 223
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 227
KAYNAKLAR 233
EKLER 244
ÖZGEÇMİŞ 249

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Boeing uçak firmasının 787 modelinde kullandığı malzemeler (Wanhill, 2017)....3
Şekil 1.2. Yolcu uçaklarında kullanılan kompozit malzemelerin yüzdelikleri (Safety, 2011) 3
Şekil 1.3. Kompozitlerin matris malzemesine göre sınıflandırması (Ibrahim ve ark., 2015)....5
Şekil 1.4. Kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırması (Güneş, 2010; Taya ve Arsenault, 2016)....7
Şekil 1.5. Kompozit malzemelerdeki elyaf takviye şekilleri (Buckley ve Edie, 1993; Sahin, 2006) 8
Şekil 1.6. Kompozit malzemelerde kullanılan elyaf dokumalarının çeşitleri (Buckley ve Edie, 1993) 9
Şekil 1.7. Sandviç kompozitin temel yapısı (Sheehan, 1987) 10
Şekil 1.8. Hibrit kompozitin temel yapısı (Botelho ve ark., 2006)....11
Şekil 1.9. Talaşlı üretimde işlenebilirlik verileri (Tinga, 2019) 12
Şekil 1.10. İşlem sayısı ve talaş kaldırma süresinin karşılaştırması (Tönshoff ve ark., 1994) 14
Şekil 1.11. Geleneksel delik delme işleminin mekanizması (Patel ve Verma, 2015) 15
Şekil 1.12. Karot delme işleminde kullanılan takım ucu (Liu ve ark., 2012)....16
Şekil 1.13. Lazer ile delik delme işleminin şeması (Sheikh-Ahmad, 2009)....17
Şekil 1.14. Su jeti ile delik delme yöntemi (Folkes, 2009; Ramulu ve Arola, 1993; Zeng ve ark., 2005) 18
Şekil 1.15. Ultrasonik titreşim desteği yöntemi ile delme (Patel ve Verma, 2015; Xu ve ark., 2009) 18
Şekil 1.16. Elektro-erozyon yöntemi ile delme işlemi şeması (Sheikh-Ahmad, 2009)....19
Şekil 1.17. Kompozit iş parçasında meydana gelen delaminasyonlar (Sheikh-Ahmad, 2009) 21
Şekil 1.18. Kompozit malzemelerde elyaf kopması (Davim, 2013)....21
Şekil 1.19. Kompozit malzemelerin delinmesinde matris yanması (Yenigün, 2018) 22
Şekil 1.20. Delik delme işleminde dönme ve ilerleme hareketi (Patel ve Verma, 2015) 23
Şekil 1.21. Delik boyu ve delik çapı gösterimi (Çakır, 2000)....24
Şekil 1.22. Matkapta bulunan kesici kenar ve yüzeyler (Çakır ve ark., 2014)....25
Şekil 1.23. Matkap öz kalınlığı (Kaynak, 2006) 27
Şekil 1.24. Kesici takım matkabın boşluk açısı (Şahin, 2008)....28
Şekil 1.25. Kesici takım matkabın helis açısı (Şahin, 2008) 28
Şekil 1.26. Kesici takım matkabın uç açısı (Okay, 2020) 29
Şekil 1.27. Kriyojenik işlem sürelerinin mikrosertlik değerine etkisi (Gu ve ark., 2014)....34
Şekil 1.28. Kriyojenik işlem sıcaklıklarının mikrosertlik değerine etkisi (Gu ve ark., 2014) 36
Şekil 1.29. Kriyojenik ve temperleme işlemlerinin takım ömrüne etkisi (Firouzdor ve ark., 2008) 37
Şekil 3.1. Kompozit iş parçası (a) ve dinamometre (b) ebatları 50
Şekil 3.2. HSS matkap malzemesinin muayene sertifikası 51
Şekil 3.3. HSS çeliklerin kesilmesi....51
Şekil 3.4. Lazer sayı yazım cihazı....52
Şekil 3.5. Taguchi dizaynının Minitab programındaki görüntüleri 53
Şekil 3.6. Kesici takım matkabın geometrik ölçülerinin isimleri 55
Şekil 3.7. Özel imal edilen matkaplar için kullanılan tezgâh, aparat ve yazılım....58
Şekil 3.8. Kriyojenik işlem süreçleri....59
Şekil 3.9. Kriyojenik işlem cihazı ve işlem şeması....60
Şekil 3.10. Mikrosertlik ölçüm cihazı ve ölçüm esnasındaki görüntüsü....61
Şekil 3.11. Termal kamera cihazı....62
Şekil 3.12. CNC dik işleme merkezi....63
Şekil 3.13. Matkabı etkileyen kuvvetler (Kıvak, 2007; Yenigün, 2018)....64
Şekil 3.14. İş parçasının dinamometreye bağlanmış hali 65
Şekil 3.15. Amplifier, DAQ sinyal düzenleyici ve CutPro yazılım programı 66
Şekil 3.16. Yüzey pürüzlüğü ölçme cihazı....67
Şekil 3.17. Mikroskop cihazı ve delaminasyon faktörü ölçümü 68
Şekil 3.18. Hassas kesme cihazı....69
Şekil 3.19. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) 70
Şekil 3.20. Çekme testi cihazı, ASTM standardına göre numune ve Trapezium Yazılımı 71
Şekil 3.21. XRD Cihazı 71
Şekil 4.1. HSS matkap (a) ile kriyojenik ve temperleme işlemli HSS matkap (b) SEM görüntüleri 73
Şekil 4.2. XRD analizi sonuçları....75
Şekil 4.3. HSS çeliklerde bulunan karbürlerin sertlikleri (Wells ve Lherbier, 1980)....76
Şekil 4.4. Faktörlerin kesme kuvvetleri (Fx) üzerindeki ana etkileri 78
Şekil 4.5. Kesme kuvvetleri (Fx) için normal olasılık grafiği....79
Şekil 4.6. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti....80

Şekil 4.7. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 81
Şekil 4.8. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 82
Şekil 4.9. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 83
Şekil 4.10. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 84
Şekil 4.11. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 85
Şekil 4.12. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 86
Şekil 4.13. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 87
Şekil 4.14. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 88
Şekil 4.15. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 89
Şekil 4.16. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 90
Şekil 4.17. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 91
Şekil 4.18. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 92
Şekil 4.19. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 93
Şekil 4.20. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 94
Şekil 4.21. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 95
Şekil 4.22. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 96
Şekil 4.23. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 97
Şekil 4.24. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 98
Şekil 4.25. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 99
Şekil 4.26. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 100
Şekil 4.27. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 101
Şekil 4.28. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 102
Şekil 4.29. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 103
Şekil 4.30. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 104
Şekil 4.31. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 105
Şekil 4.32. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti 106
Şekil 4.33. Devir ve ilerleme artışına bağlı sıcaklık değişimleri 109
Şekil 4.34. Faktörlerin Yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerindeki ana etkileri 111
Şekil 4.35. Faktörlerin Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için normal olasılık grafiği 112
Şekil 4.36. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) (Demir ve Toktaş, 2014) 113
Şekil 4.37. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 114
Şekil 4.38. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 115
Şekil 4.39. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 116
Şekil 4.40. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 117
Şekil 4.41. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 118
Şekil 4.42. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 119
Şekil 4.43. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 120
Şekil 4.44. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 121
Şekil 4.45. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 122
Şekil 4.46. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 123
Şekil 4.47. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 124
Şekil 4.48. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 125
Şekil 4.49. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 126
Şekil 4.50. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 127
Şekil 4.51. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 128
Şekil 4.52. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 129
Şekil 4.53. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 130
Şekil 4.54. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 131
Şekil 4.55. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 132
Şekil 4.56. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 133
Şekil 4.57. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 134
Şekil 4.58. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 135
Şekil 4.59. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 136
Şekil 4.60. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 137
Şekil 4.61. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 138
Şekil 4.62. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 139
Şekil 4.63. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü 140
Şekil 4.64. Devir ve ilerleme artışına bağlı yüzey pürüzlülükleri değişimleri 143
Şekil 4.65. Farklı devir ve ilerlemelerde delinen kompozitlerin delik duvarı SEM görüntüleri 144

Şekil 4.66. Parametrelerin delaminasyon faktörü üzerindeki ana etkileri 146
Şekil 4.67. Parametrelerin delaminasyon faktörü için normal olasılık grafiği 147
Şekil 4.68. Literatürdeki devir sayısı ve ilerlemelere göre delaminasyon faktörleri (Yenigün, 2018) 148
Şekil 4.69. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 149
Şekil 4.70. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 150
Şekil 4.71. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 151
Şekil 4.72. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 152
Şekil 4.73. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 153
Şekil 4.74. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 154
Şekil 4.75. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 155
Şekil 4.76. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 156
Şekil 4.77. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 157
Şekil 4.78. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 158
Şekil 4.79. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 159
Şekil 4.80. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 160
Şekil 4.81. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 161
Şekil 4.82. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 162
Şekil 4.83. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 163
Şekil 4.84. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 164
Şekil 4.85. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 165
Şekil 4.86. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 166
Şekil 4.87. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 167
Şekil 4.88. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 168
Şekil 4.89. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 169
Şekil 4.90. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 170
Şekil 4.91. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 171
Şekil 4.92. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 172
Şekil 4.93. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 173
Şekil 4.94. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 174
Şekil 4.95. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü 175
Şekil 4.96. Farklı matkaplar ile açılan deliklerin kenarlarının makro ve mikro resimleri 177
Şekil 4.97. Farklı matkaplar ile açılan deliklerin kenarlarının makro ve mikro resimleri 178
Şekil 4.98. Delik bölgesinde meydana gelen kuvvetler (Ekici, 2009) 179
Şekil 4.99. Delik girişinde oluşan kuvvetler ve matkap uç açısının etkileri (Ekici, 2009) 180
Şekil 4.100. Farklı devir sayısı ve ilerlemelerde oluşan talaşların görüntüsü 183
Şekil 4.101. Devir ve ilerleme hızına bağlı olarak talaş hacmi değişimi 184
Şekil 4.102. Farklı parametrelerde açılmış deliklerden çıkan talaşların SEM görüntüleri 185
Şekil 4.103. Sabit devir sayısı ve farklı ilerlemelerde oluşan talaşların makro ve SEM görüntüleri 186
Şekil 4.104. Sabit devir sayısı ve farklı ilerlemelerde oluşan talaşların makro ve SEM görüntüleri 187
Şekil 4.105. Sabit devir sayısı ve farklı ilerlemelerde oluşan talaşların makro ve SEM görüntüleri 188
Şekil 4.106. HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperlenmiş HSS matkapların işlem süreleri 190
Şekil 4.107. HSS matkapların 800 dev/dk ve 0,01 ilerleme hızındaki işleme süreleri 192
Şekil 4.108. HSS matkapların 1200 dev/dk ve 0,02 ilerleme hızındaki işleme süreleri 193
Şekil 4.109. HSS matkapların 1800 dev/dk ve 0,02 ilerleme hızındaki işleme süreleri 194
Şekil 4.110. Kriyojenik HSS matkapların 800 dev/dk ve 0,03 ilerleme hızındaki işleme süreleri 195
Şekil 4.111. Kriyojenik HSS matkapların 1200 dev/dk ve 0,01 ilerleme hızındaki işleme süreleri 196
Şekil 4.112. Kriyojenik HSS matkapların 1800 dev/dk ve 0,02 ilerleme hızındaki işleme süreleri 197
Şekil 4.113. HSS ve kriyojenik HSS matkapların aynı devir ve ilerlemedeki işleme süreleri 198
Şekil 4.114. HSS ve kriyojenik HSS matkapların aynı devir ve ilerlemedeki işleme süreleri 199
Şekil 4.115. HSS ve kriyojenik HSS matkapların aynı devir ve ilerlemedeki işleme süreleri 200
Şekil 4.116. Takım ömrü deneyleri için kullanılan kesici takımlar ve kompozit iş parçası 202
Şekil 4.117. Aşınma evreleri (Ertunç ve Sevim, 2011; Liu ve Anantharaman, 1994) 203
Şekil 4.118. Kesici takım matkapta meydana gelen aşınmaların türleri (Abu-Mahfouz, 2003) 204
Şekil 4.119. Matkapta serbest yüzey aşınmasını ölçme şeması (Dolinšek ve ark., 2001) 205
Şekil 4.120. Imagej programı ile kesici takımlar üzerinde hesaplanan aşınma değerleri 207
Şekil 4.121. Kesici takımlardaki radyal ağız aşınmalarının (daire içinde) SEM görüntüleri 209
Şekil 4.122. Kesici takımlarda meydana gelen aşınmaların SEM görüntüleri 211
Şekil 4.123. Kesici takımların köşe uç kısımlarının SEM görüntüleri 212
Şekil 4. 124. Devir sayısı ve ilerlemeye bağlı değişimde talaş sıcaklıkları 213

Şekil 4.125. Aşınma testleri sırasında çıkan talaşların sıcaklıkları 214
Şekil 4. 126. Ardı ardına delik işlemleri bitimi matkapların uç kısımlarının sıcaklıkları 216
Şekil 4.127. HSS matkap ile delinen kompozit iş parçası 218
Şekil 4.128. Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkap ile delinen kompozit iş parçası 219
Şekil 4.129. HSS matkap ile delinen kompozit iş parçası 220
Şekil 4.130. Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkap ile delinen kompozit iş parçası 221
Şekil 4.131. İki matkap türünün ardı ardına delik delme görüntüleri 222
Şekil 4.132. Delik açılmayan numunenin çekme grafiği 224
Şekil 4.133. 0,01 mm/dev ilerleme ile delik açılan numunelerin çekme grafikleri 224
Şekil 4.134. 0,02 mm/dev ilerleme ile delik açılan numunelerin çekme grafikleri 225
Şekil 4.135. 0,03 mm/dev ilerleme ile delik açılan numunelerin çekme grafikleri 225

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Helis açılarına göre matkap türleri ve kullanım yerleri (Şahin, 2008)..... 26
Tablo 2.1. Cam elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesi ile ilgili bazı literatür özetleri 46
Tablo 3.1. Taguchi L54 ortogonal dizilime göre deney düzeni 54
Tablo 3.2. HSS matkapların bileme ölçüleri..... 56
Tablo 3.3. Kompozit iş parçasının delinmesinde uygulanan parametreler ve seviyeleri 56
Tablo 3.4. Aşınma deneyleri parametre ve seviyeleri..... 57
Tablo 4.1. Kompozit iş parçası ve kesici takımların sertlik değerleri..... 77
Tablo 4.2. Kesme kuvvetleri (Fx) için etki faktörleri 77
Tablo 4.3. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için etki faktörleri..... 110
Tablo 4.4. Delaminasyon faktörleri için etki faktörleri..... 145
Tablo 4.5. Imagej programı ile hesaplanan VB ve VBmax değerleri tablosu..... 208

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al_2O_3	Alüminyum Oksit
B_4C	Bor Karbür
C	Karbon
CO_2	Karbondioksit
Cr	Krom
d	Matkap Çapı (mm)
D_{max}	Delik Çevresinde Oluşan Maksimum Hasar Çapı (mm)
f	Devir Başına İlerleme (mm/dev)
F	Bileşke Kuvvet (N)
F_d	Delaminasyon Faktörü
Fe	Demir
Fx	X Yönündeki Kesme Kuvveti (N)
Fy	Y Yönündeki Kesme Kuvveti (Radyal Kuvvet, N)
Fz	Z Yönündeki Kesme Kuvveti (İlerleme Kuvveti, N)
h	Yükseklik
L	Delik Boyu (mm)
Mo	Molibden
N	Azot
n	Devir Sayısı (dev/dak)
Ra	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
SiC	Silisyum Karbür
TiC	Titanyum Karbür
V	Vanadyum
Vc	Kesme Hızı (m/dak)
W	Wolfram (Tungsten)

Kısaltmalar

ASTM	Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu (American Society for Testing and Materials)
bcc	Hacim Merkezli Kübik
BUE	Yığıntı Talaş (Built-Up Edge)
CNC	Bilgisayarlı Nümerik Kontrol (Computer Numeric Control)
DIN	Alman Endüstri Normu (Deutsche Industry Norm)
fcc	Yüzey Merkezli Kübik
HSS	Yüksek Hız Çeliği (High Speed Steel)
HV	Vickers Sertlik Değeri (Hardness Vickers)
LN_2	Sıvı Nitrojen (Liquid Nitrogen)
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme (Physical Vapor Deposition)

SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
TiN	Titayum Nitrür
V_B	Serbest Yüzey Aşınması (Flank Wear)
V_{Bmax}	Maksimum Yüzey Aşınması
WC	Tungsten Karbür
XRD	X-ışınları Difraksiyon Analizi (X-Ray Diffraction)
YETEM	Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi

1. GİRİŞ

Başta havacılık ve uzay endüstrisinin öncülüğünde ve hızla gelişen teknolojinin de yardımıyla kullanım alanları artarak devam eden kompozit malzemeler, sahip oldukları üstün özellikleri nedeniyle ilgi çekmektedirler. Kompozit malzemeler, kullanım amaçlarına göre birçok farklı türde imal edilmektedirler. Bu farklılıklarının sonucu olarak ise maliyetleri oldukça artabilmektedir. Bu maliyet farkının en belirgin şekilde görülen malzemelerinden karbon fiber takviyeli kompozitlerin, cam fiber takviyeli kompozitlere oranla oldukça pahalı malzemeler olması bu durumun bir örneği olmaktadır. Bu durum doğal olarak bu malzemelerin kullanım miktarlarını da etkilemektedir. Bu yüzden, uygun olan kullanım yerlerinde, karbon fiber takviyeli kompozitlerin yerine mümkün olduğu kadar daha az maliyetli olan cam fiber takviyeli kompozit malzemelerin kullanımları talep edilmektedir. Bu durumun sonucu olarak ise daha uygun maliyetli olan cam fiber takviyeli kompozitlerin kullanım alanları günden güne artmaktadır (Aydoğuş, 2019; Aydoğuş ve Demirci, 2019; Callister ve Rethwisch, 2014; Giasin, 2016; Lazar ve Xirouchakis, 2011; Sanjay ve ark., 2015). Bu malzemeler genel olarak son şekline yakın bir şekilde imal edilmelerine rağmen talaşlı işlenmeye ihtiyaç duymaktadırlar. Kompozit malzemelerin işlenmesi için en çok kullanılan yöntemlerden birisi delik delme işlemidir. Ancak, işlenecek olan bu malzemeye uygun kesici takımın kolay temin edilebilir ve ekonomik olanının seçilmesi, uygun işleme parametrelerinin belirlenmesi ve kesici takımın performansının iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu durumun göz ardı edilmesi, kesici takımın performansı ve kompozit iş parçası açısından, kesici takımın ömrü, delme işlemleri sırasında oluşan kesme kuvvetleri, açılan deliğin yüzey pürüzlülüğü, kompozit iş parçası üzerinde meydana gelen delaminasyonlar gibi birçok sonucu olumsuz etkileyebilmektedir. Kolay temin edilebilir ve maliyet etkin olan kesici takımların başında HSS matkaplar gelmektedir. Bu matkap türlerinin yüksek kullanılabilirliği nedeniyle farklı endüstri alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca, bu matkapların performansları geliştirmeye müsait yapıdadırlar (Akıncıoğlu, 2015; Callister ve Rethwisch, 2014; Giasin, 2016; Gill ve ark., 2011; Khashaba ve ark., 2013). Bu matkap türünün performansının iyileştirilmesi için yapılan işlemlerden birisi ise kriyojenik işlemdir. Kriyojenik işlem kalıcı bir işlem olduğundan dolayı takıma bir kere uygulanması yeterli olmaktadır. Bu gibi avantajları göz önünde bulundurulduğunda takım kaplama çeşitlerine göre daha üstün ve kalıcı özellikler göstermektedir. Kriyojenik işlem,

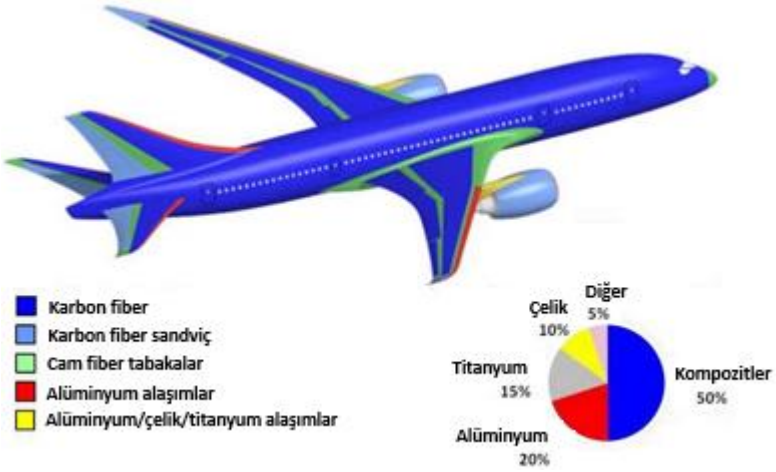
uygulanan kesici takımın malzemesi dikkate alınarak uygulanmaktadır. Bu işlemin ise en uygun şekilde belirlenerek uygulanması gerekmektedir (Akıncıoğlu, 2015; Firouzdor ve ark., 2008; Pereloma ve Edmonds, 2012; Singh, 2012).

Bu çalışmada, özel tasarlanarak imal edilen ve derin kriyojenik işlem (-196°C) uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplar ile farklı parametrelerde delinen fiber takviyeli cam-epoksi kompozitin kesme kuvvetleri, delaminasyon faktörleri, yüzey pürüzlülükleri, talaş şekilleri ve işlem süreleri incelenerek değerlendirilmiştir. Ayrıca, kesici takımlara XRD analizi yapılarak mikroyapılarındaki değişimler incelenmiş ve art arda delik delme işlemleri yapılarak takım aşınmaları, talaş sıcaklıkları, kesici takım sıcaklıkları ve ASTM standartlarına göre hazırlanan kompozit iş parçası numunelerinin çekme kuvvetleri bulunarak değerlendirilmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde, iş parçası olarak kullanılan kompozit malzemelerin özellikleri, sınıflandırması, işlenebilirliği, delik delme yöntemleri, kompozit iş parçasının delinmesi sırasında oluşan hasarlar, delik delme hakkındaki genel bilgiler, kesici takımların özellikleri, kesici takıma uygulanacak olan kriyojenik işlemi hakkında genel bilgiler verilmiştir.

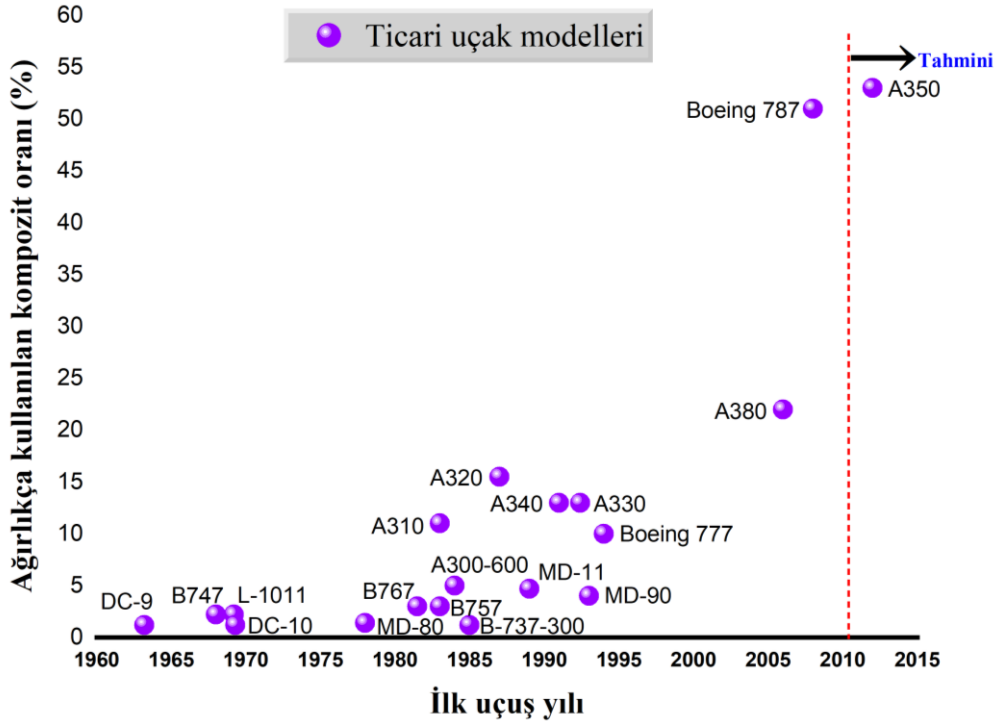
Günümüz teknolojisindeki ilerlemelere bağlı olarak, özellikle havacılık ve uzay alanlarındaki ihtiyaçlar için yeni malzemelerin geliştirilmesi sürekli olarak devam etmektedir. Bu ihtiyaçların karşılanması amacıyla geliştirilen malzemelerden birisi olan kompozitler, farklı alanlarda kullanılabilir olmaları nedeniyle ilgi çekmektedir. Kompozit malzemeler, boyutsal olarak şeklini koruyabilme, korozyon direnci ve hafiflik gibi özelliklerinin yanında, tribolojik özelliği, ağırlığı, elektrik direnci ve mukavemeti gibi önemli özelliklerinin de iyileştirilmesine imkân veren malzemelerdir (Lazar ve Xirouchakis, 2011; Palanikumar ve Davim, 2007; Tsao, 2012). Kompozitler, iki veya daha fazla farklı malzemenin, kimyasal etkileşim veya çözünme olmadan birleştirilmeleri sonucunda elde edilen malzemelerdir. Bu birleştirmeler, kullanılan farklı malzemelerin istenilen özelliklerini bir arada kullanmak amacıyla yapılmaktadır (Giasin, 2016; Yenigün, 2018). Kompozit malzemelerin kullanımları, özellikle havacılık ve uzay sanayisi başta olmak üzere savunma sanayi, otomotiv, tıp gibi birçok farklı alanda hızla artmaktadır. Günümüz havacılığında kullanılan yolcu uçaklarının ağırlıkça %50'si (Şekil 1.1) ve üretilen yer taşıtlarının neredeyse ağırlıkça %65 ile %80'i kompozit malzeme kullanılarak üretilmişlerdir (Marsh, 2015; Safety, 2011; Sheikh-Ahmad, 2009). Şekil

1.2'de görüldüğü gibi ticari uçaklarda kullanılan kompozitin ağırlıkça yüzdesinin 1960'lı yıllardan sonra yaklaşık olarak %1 seviyelerinden hızla %50 seviyelerini (2010'lu yıllarda) geçtiği görülebilmektedir. Bu durum, ilerleyen yıllarda havacılık ve diğer endüstri alanlarında kompozit malzemelerin kullanımının daha da artacağını göstermektedir (Marsh, 2015; Safety, 2011).



Şekil 1.1. Boeing uçak firmasının 787 modelinde kullandığı malzemeler (Wanhill, 2017)

Ticari olarak yolcu taşınması amacıyla üretilen yolcu uçaklarının yapımında kullanılan ağırlıkça kompozit oranının yıllara göre değişimi Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Yolcu uçaklarında kullanılan kompozit malzemelerin yüzdelikleri (Safety, 2011)

1.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

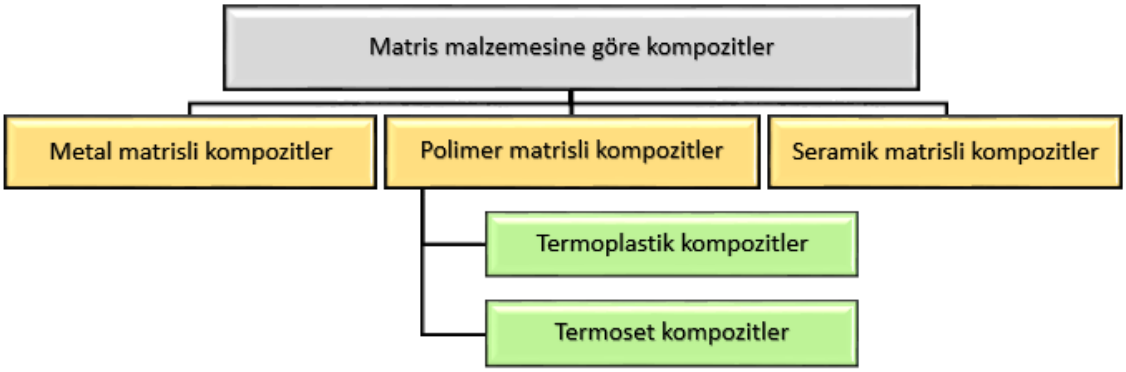
Kompozit malzemeler, en az iki veya daha fazla bileşenin bir araya gelmesi ile oluşmaktadırlar. Oluşan bu yeni malzeme (kompozit), bileşenlerinden ayrı ayrı olarak daha üstün özelliklere sahip olmaktadır (Herakovich, 1998; Teti, 2002). Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerden birisi genel olarak takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Sert, güçlü ve rijit bir yapıda olan bu takviye elemanı, matris fazı olarak isimlendirilen yumuşak bir yığının içinde bulunmaktadır (Callister ve Rethwisch, 2014). Takviye elemanı, elyaf (fiber), tel ve parçacık gibi şekillerde olmaktadır. Bu takviye elamanı genel olarak cam, metalik, karbon, kevlar (aramid) veya seramik gibi malzemelerden meydana gelmektedir. Matris elemanı olarak kullanılan malzeme ise metal, polimer veya seramikten oluşmaktadır (Callister ve Rethwisch, 2014; Teti, 2002). Gelişmiş kompozitlerin sunmuş olduğu başlıca avantajlar arasında, ağırlıkları göz önünde bulundurulduğunda, gösterdikleri yüksek mukavemet değeri, rijitlik, sertlik, sönümleme yeteneği ve özelleştirilebilinen özellikleri bulunmaktadır. Bu özelliklerin vermiş olduğu avantajlar nedeniyle havacılık, uzay, spor malzemeleri, tıp (medikal cihaz vb.), petrol ve gaz gibi birçok farklı endüstri alanında yoğun kullanımları bulunmaktadır (Callister ve Rethwisch, 2014; Herbeck ve ark., 2003; Kaddick ve ark., 1997).

1.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

İki ana bileşen olan matris ve takviye elemanlarından meydana gelen kompozitlerde, matris malzemesi genellikle miktar (hacimce) olarak daha fazla olan, takviye elemanlarının bütünlüğünü sağlayan ve malzeme üzerine gelen yükleri takviye elemanlarına iletme görevini yerine getirendir. Takviye elemanlarının ana görevi ise kompozit malzeme üzerine uygulanan yükleri taşımadır (Callister ve Rethwisch, 2014; Herbeck ve ark., 2003). Farklı endüstri alanlarında kullanılan kompozitler, kullanım yerlerine göre matris malzemeleri olarak polimerler, metaller ve seramiklerden, takviye elemanları olarak ise çeşitli geometrik şekillerdeki cam, karbon, kevlar (aramid), SiC ve B_4C gibi malzemelerden oluşmaktadır. Kompozit malzemeler hem matris malzemesine hem de takviye elemanının geometrisine veya takviye elemanının şekline göre sınıflandırılmaktadır (Callister ve Rethwisch, 2014; Elmarakbi, 2013; Ersoy, 2018).

1.2.1. Matris malzemesine göre kompozitlerin sınıflandırması

Kompozit malzemelerde bulunan matris malzemesi türüne göre sınıflandırma yapıldığında matris malzemesinin hangi cinste olduğu dikkate alınmaktadır. Kullanılan matris malzemesi metal malzeme ise metal matrisli kompozitler, kullanılan matris malzemesi polimer ise polimer matrisli kompozitler olarak ifade edilmektedir. Şekil 1.3'te, matris malzemesine göre yapılan sınıflandırma şekilsel olarak gösterilmiştir (Ibrahim ve ark., 2015).



Şekil 1.3. Kompozitlerin matris malzemesine göre sınıflandırması (Ibrahim ve ark., 2015)

1.2.1.1. Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozitler, bakır, magnezyum, alüminyum ve titanyum benzeri metal olan bir matrisin içerisine birbirinden farklı takviye elemanları eklenerek meydana gelen kompozitlere denilmektedir. Metal matrisli kompozitlerde, genel olarak, metalik elyaf, karbon elyafı, seramik elyafı ve seramik partikülleri kullanılmaktadır. En fazla tercih edilen takviye elemanları olarak TiC, B_4C, SiC, Al_2O_3 ve C kullanılmaktadır (Callister ve Rethwisch, 2014; Hiçyılmaz, 1997; Miracle, 2005). Metal matrisli kompozitler, yüksek kırılma tokluğuna, sıcaklık direncine, sertliğe ve dayanıma sahip kompozitlerdir. Kullanım alanları genellikle, kesici takımlar, otomotiv pistonları, silindir gömlekleri, turbo şarj pervaneleri, otomotiv pistonları ve pervane gibi uygulama yerleridir (Şahin, 2015).

1.2.1.2. Polimer matrisli kompozitler

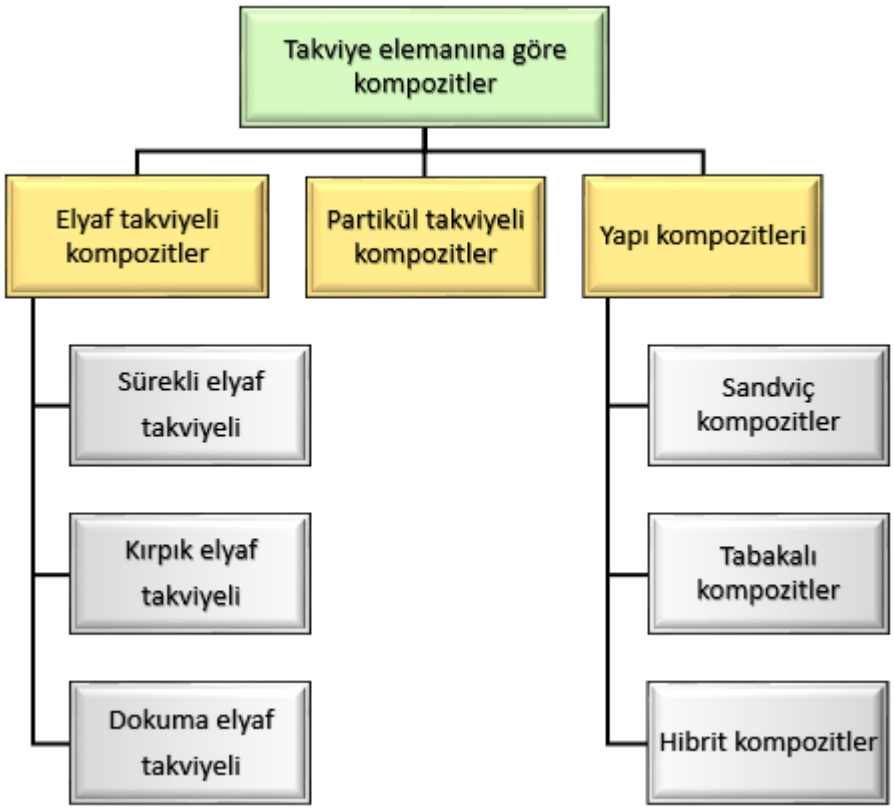
Polimer matrisli kompozitler, epoksi, polietilen ve polyester gibi polimer malzemelerin matris olarak kullanılması ile elde edilen kompozitlere denilmektedir. Malzemenin sertliğinin ve dayanımının artırılması amacıyla polimer matris içerisine aramid, karbon ve cam gibi takviye elemanları eklenmektedir. Uçak endüstrisinde, uçak kanatları ve gövdesi, döşeme kirişleri ve helikopter pervaneleri gibi alanlarda, otomotiv endüstrisinde, piston kolları, aks milleri, gövde parçaları ve tampon gibi alanlarda, diğer endüstri alanlarında ise motosiklet, bisiklet, raket, gemi teknesi, motor fırçaları, röntgen masları protezler ve türbinler gibi çok geniş bir kullanım alanları bulunmaktadır (Callister ve Rethwisch, 2014; Şahin, 2015; Teti, 2002). Polimer matrisli kompozitlerden termoplastikler, düşük sertlik ve düşük mukavemet özelliklerine sahiptirler. Termoset kompozitlerin ise yüksek sertlik ve yüksek mukavemet özellikleri bulunmaktadır (Baschek ve ark., 1999; Buckley ve ark., 2001; Chen ve ark., 2002).

1.2.1.3. Seramik matrisli kompozitler

Seramik matrisli kompozitler, sürekli elyaf, kırpık elyaf ve partiküllerin seramik matris içerisine takviye edilerek oluşturulan kompozitlerdir. SiC, TiC ve B_4C gibi seramik matrislerin içerisine karbon ve alüminyum oksit gibi takviye elemanlarının eklenmesi ile elde edilmektedirler. Seramik matrisli kompozitler, yüksek sıcaklık değerlerine, yüksek kırılma tokluğuna, düşük termal genleşmeye ve yüksek oksitlenme direncine sahip kompozitlerdir. Genel olarak, kesici uçlarda ve diğer makine elemanlarında yüksek sıcaklıkta çalışılan alanlarda kullanılmaktadır (Callister ve Rethwisch, 2014; Rana ve Fangueiro, 2016; Ruh ve ark., 1988).

1.2.2. Takviye elemanına göre kompozitlerin sınıflandırılması

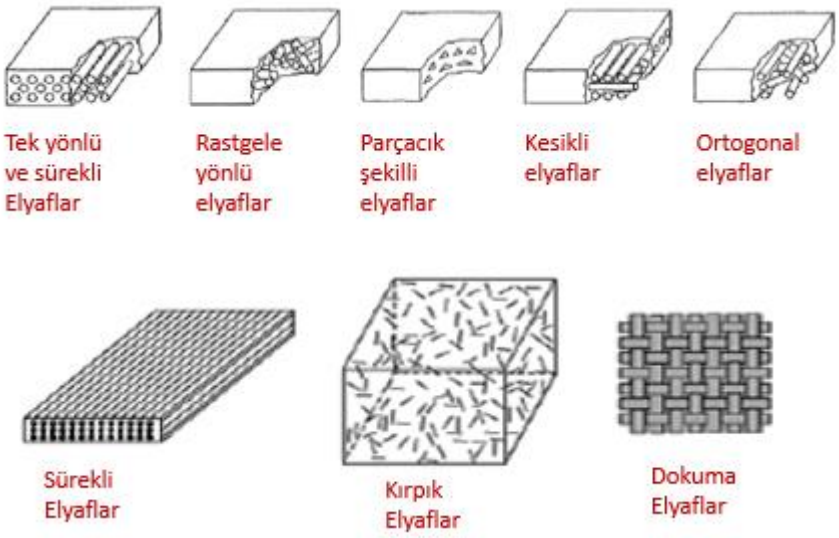
Kompozit malzemelerde takviye elemanına göre sınıflandırma yapıldığında, kullanılan takviye elemanının takviye ediliş şekline ya da geometrisine göre sınıflandırmalar yapılmaktadır. Takviye elemanı olarak kullanılan malzeme, elyaf şeklinde ise elyaf takviyeli veya partikül takviyeli ise partikül takviyeli şeklinde sınıflandırmalar yapılmaktadır. Şekil 1.4'te takviye elemanına göre sınıflandırmalar belirtilmiştir (Güneş, 2010; Taya ve Arsenault, 2016).



Şekil 1.4. Kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırması (Güneş, 2010; Taya ve Arsenault, 2016)

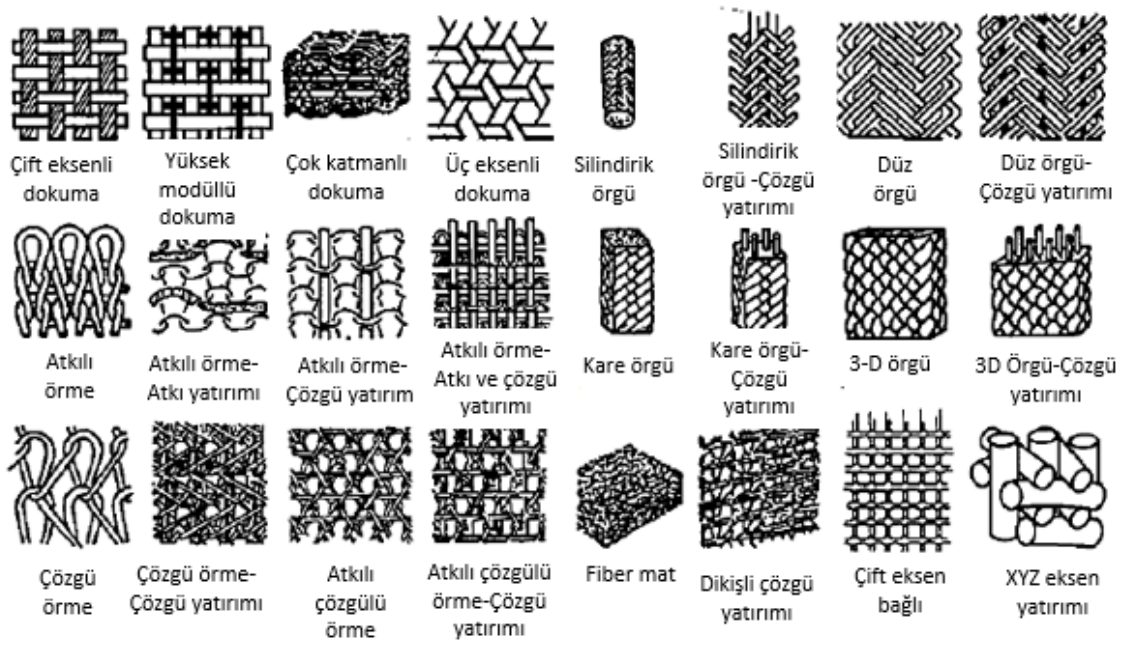
1.2.2.1. Elyaf takviyeli kompozitler

Elyaf takviyeli kompozitler, yumuşak ve sünek olan matrislerinin içerisine elastiği yüksek, dayanıklı ve sert elyaflar ile takviye edildiğinde mekanik özelliklerinde iyileştirmeler sağlanmış olmaktadır. Kullanılan bu elyaf takviyeler, sürekli, kırpık ve dokuma şeklinde olabilmektedir (Şekil 1.5). Sürekli elyaf takviyeli kompozitlerde, elyaf malzemesi matris içerisinde sürekli şekilde mevcut olmaktadır. Kırpık elyaf takviyeli kompozitlerde, elyaf malzemesi matris içerisinde belirli ölçülerde kırpılmış şekilde bulunmaktadır. Genel olarak cam, karbon, aramid ve bazalt gibi elyaflar kullanılmaktadır. Kırpık şekildeki elyaf takviyeler tek türde olabileceği gibi çoklu karışımlar yapılarak kullanılabilmektedir. Dokuma elyaf takviyeli kompozitlerde ise matrisin içerisine takviye malzemesi farklı şekillerde örülerek yerleştirilmektedir (Buckley ve Edie, 1993; Sahin, 2006).



Şekil 1.5. Kompozit malzemelerdeki elyaf takviye şekilleri (Buckley ve Edie, 1993; Sahin, 2006)

Şekil 1.6'da görüldüğü gibi, dokuma elyaf takviyeli kompozitlerin çeşitleri görülmektedir (Buckley ve Edie, 1993). Elyaflar örme veya şerit şeklinde olabileceği gibi tabakalar halinde veya yönlü elyaflar şeklinde olabilmektedirler. Genellikle kullanılan elyaflar yönlendirildiğinden kompozit malzemenin mekanik özelliği anizotropik yapıda olmaktadır. Kompozit malzemelerde kullanılan sürekli elyaflar, yönlendirme özellikleri nedeniyle diğer elyaf takviye elemanlarına nispeten daha üstün özellikler sergilemektedirler. Kompozit malzemelerde kullanılan cam elyaflar en eski takviye elemanıdırlar. Günümüzde ise yeni geliştirilen aramid, karbon ve bor elyaflarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. İnce çaplı olarak üretilebilen elyafların imalatları büyük çaplı malzemelere göre hatasız olarak yapılabilmektedir. Bu özellikleri sayesinde yüksek mekanik özelliklere sahip olabilmektedirler (Buckley ve Edie, 1993; Callister ve Rethwisch, 2014).



Şekil 1.6. Kompozit malzemelerde kullanılan elyaf dokumalarının çeşitleri (Buckley ve Edie, 1993)

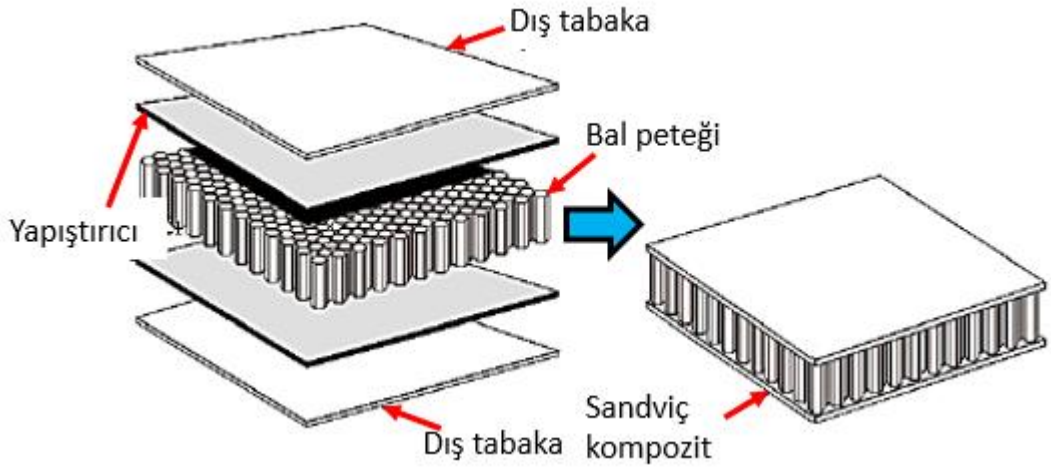
1.2.2.2. Partikül takviyeli kompozitler

Kompozit malzemelerin imalatı amacıyla kullanılan teknolojideki gelişmeler sayesinde partikül kompozitlerin üretimi kolaylaşmakta ve bu durum doğal olarak kullanım alanlarının artmasını sağlamaktadır. Yüksek performansları ve düşük maliyetleri sayesinde partikül takviyeli kompozitler önemli avantajlara sahiptirler. Takviye elemanı olarak kullanılan TiC, SiC, C, B_4C ve Al_2O_3 gibi malzemelerin yanında son zamanlarda hindistan cevizi, ceviz kabuğu ve fıstık kabuğu gibi doğal yollardan elde edilebilinen malzemeler de partikül haline getirilerek takviye elemanı olarak kullanılmaktadır (Yenigün, 2018).

1.2.2.3. Yapı kompozitleri

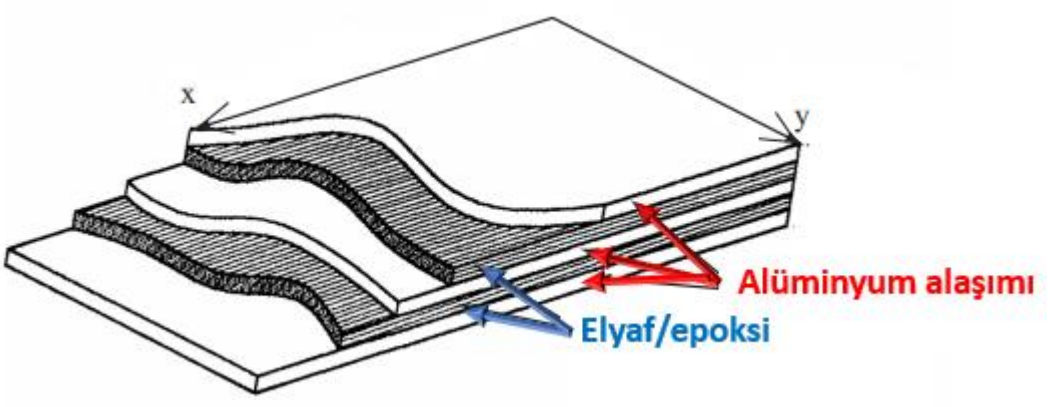
Farklı veya aynı özelliklere sahip malzemelerin yan yana veya üst üste konulmasıyla elde edilen kompozitlere yapı kompozitleri denilmektedir. Bu tür kompozitler ile birlikte seramik ve metal gibi malzemelerde kullanılmaktadır. Sandviç kompozitler, hibrit kompozitler ve tabakalı kompozitler olarak üç farklı gruba ayrılabilmektedirler. İnce dış tabaka, hafif ve kalın çekirdek malzemeden olan sandviç kompozitlerdeki tabakalar, yüksek dayanıma sahip, aralarına bal peteği ve köpük gibi

malzemeler yapıştırılarak elde edilen kompozitlerdir. Şekil 1.7'de görüldüğü gibi, bir sandviç kompozitin (bal peteği) temel yapısı verilmiştir (Sheehan, 1987).



Şekil 1.7. Sandviç kompozitin temel yapısı (Sheehan, 1987)

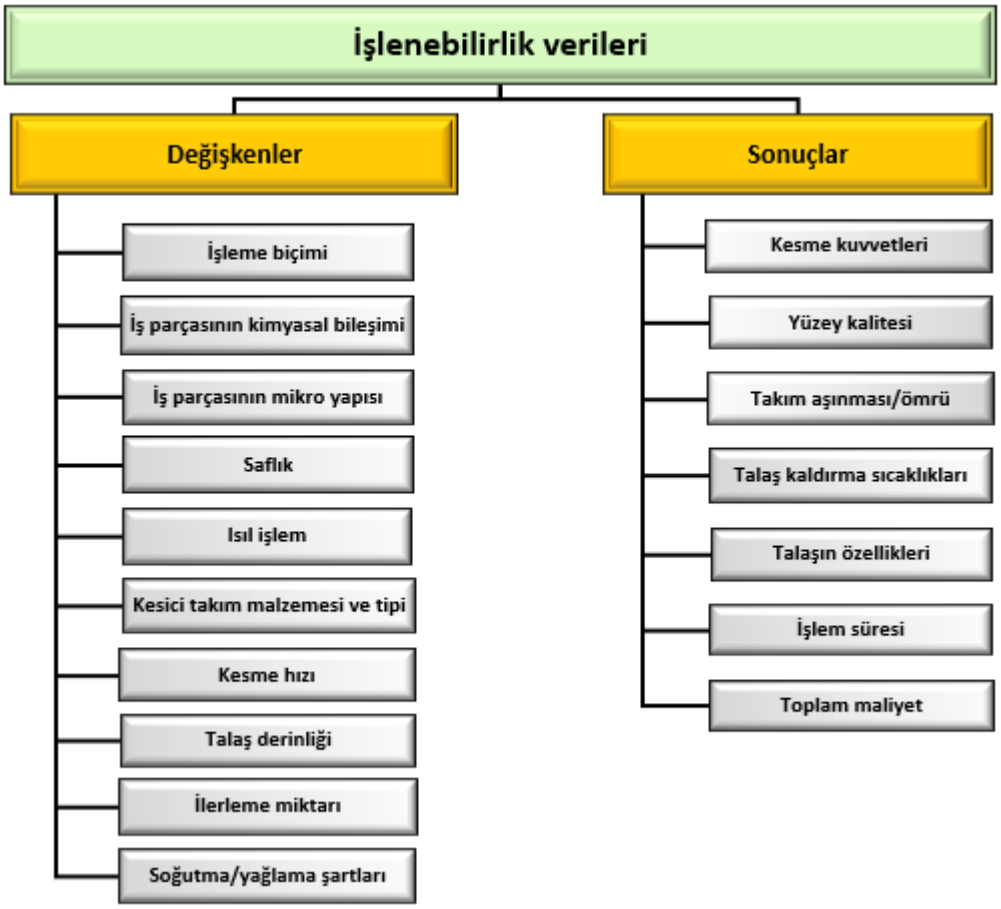
Farklı endüstri alanlarında en çok kullanılan kompozitler olan tabakalı kompozitler, takım olarak elyaflı katmanlardan oluşmaktadırlar. Bu tür kompozitlerde, istenilen yönlerden elyaflar tabakalar halinde dizilerek yerleştirilmektedirler. Farklı türlerden oluşan elyafın tek bir matris bünyesinde yer edinmesi veya birbirinden farklı malzemelerin yapıştırılmaları ile elde edilen kompozitlere hibrit kompozitler denilmektedir. Bu tür kompozitler, yolcu uçaklarının gövde ve kanat kaplamalarında olduğu gibi aramid ve grafit elyaflar epoksi matris içerisine yerleştirilerek üretilir ve kullanılırlar. Hibrit kompozitlerde ayrıca metalik malzemelerde kullanılmaktadır (Linganiso ve Anandjiwala, 2016). Şekil 1.8'de görüldüğü gibi, hibrit bir kompozitin temel yapısı gösterilmiştir (Botelho ve ark., 2006).



Şekil 1.8. Hibrit kompozitin temel yapısı (Botelho ve ark., 2006)

1.3. Polimer Matrisli Kompozitlerin İşlenebilirliği

İşlenebilirlik, genel olarak bir iş parçasının kesici bir takımla şekillendirilmesinin kolaylığı veya zorluğu (işlenebilme kabiliyeti) şeklinde ifade edilmektedir (Wonderly ve ark., 2005). Talaşlı üretim kapsamında işlenebilirlik, işlem safhaları ve malzeme seçimi ile ilgili olarak tüm bilgileri içeren ve tüm esas başlıklar altında uygun olacak şekilde ilişkiler ile sistemli olarak düzenlenen bir yaklaşımdır (Aydın, 2002). Belirtilen bu yaklaşım, Şekil 1.9'da görüldüğü gibi, talaşlı üretim sırasında elde edilen sonuçlar sayesinde oluşan işlenebilirlik verilerini göstermektedir (Tinga, 2019). Talaşlı üretim ile işlenecek olan malzemelerin işlenebilirliklerini, malzemenin kimyasal bileşimi, sünekliği, ısıl iletkenliği, sertliği gibi özellikler etkilemektedir. Malzemenin sertliğinin düşüklüğü ve dayanımı genel olarak iyi işlenebilirlik anlamına gelmektedir. Ancak, çok düşük sertlik değerleri ise talaşlı üretimin performansını kötü olarak etkileyebilmektedir. Talaşlı üretimde, iş parçasının dayanımın yüksekliği, yüksek kesme kuvvetlerini ve bunun sonucunda kesme sıcaklığında artış ile birlikte işlenebilirliğin olumsuz etkilenmesi görülmektedir. Bununla birlikte, işlenen malzemenin yüksek ısıl iletkenliğe sahip olması genel olarak faydalı görülmektedir. Çünkü, kesme bölgesinde oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırabilmesi ya da yayılabilmesi anlamına gelmektedir (Kopač ve Bahor, 1999).



Şekil 1.9. Talaşlı üretimde işlenebilirlik verileri (Tinga, 2019)

Günümüzde, farklı endüstri alanlarında bulunan kompozit malzemelerin kullanımının hızlı bir şekilde yayılması neticesinde bu malzemeleri talaşlı olarak işlenebilme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Kompozit malzemeler genel olarak kullanılacak yer için son forma yakın şekilde imal edilirler. Ancak, kompozit malzemelerin toleransının sağlanması ve birleştirmelerinin yapılabilmesi için delme, frezeleme, kesme gibi talaşlı işlemlere gereksinim duymaktadırlar (Krishnaraj ve ark., 2013). Kompozit malzemelerin işlenmesi için kullanılan delme, kesme, frezeleme ve tornalama gibi konvansiyonel işleme şekilleri dışında, teknolojinin gelişmesine bağlı olarak ortaya çıkan yeni işleme şekillerinden su jeti ve lazer ile işleme yöntemleri de bulunmaktadır. Kompozit malzemelerin işlenmeleri bilinen metal işlemelerinden oldukça farklı olmaktadır. Kompozit malzemeler, makro düzeyde homojen gibi görünen ancak mikro düzeyde ise heterojen yapıda olan farklı malzemelerdir. Kompozit malzemeler, cam elyaf ve aramid elyafında olduğu gibi güçlü yapısı ve aşındırıcı olma özelliği ayrıca, zayıf bir ısıl iletkenliğe sahip olmaları nedeniyle veya bünyesinde bulunan polimer matrisinin termal

iletkenliğinin çok düşük olması, metallere göre daha zor işlenmelerine sebep olmaktadır. Bu tür kompozitlerin işlenebilmesi amacıyla, kullanılacak olan kesici takımın çapı, geometrisi, malzemesi, talaş açısı, kesme derinliği ayrıca ilerleme hızı gibi birçok parametreden oldukça etkilenmektedir. Bunların yanında, kompozit iş parçasının türü de işlenebilirlik açısından büyük önem kazanmaktadır. Kullanılacak olan kompozitlerin polimer matris özelliklerine göre, termosetlerin gevrek davranışlar, termoplastiklerin ise sünek davranış göstermeleri bunlara örnek gösterilebilmektedir (Baschek ve ark., 1999; Buckley ve ark., 2001; Callister ve Rethwisch, 2014; Chen ve ark., 2002; Yenigün, 2018).

1.3.1. Kompozit malzemelerin frezelenmesi

Kompozit malzemelerin frezelenerek işlenmesi, delik delme işlemlerinin ardından en çok yapılan işleme yöntemlerindendir. Kompozit malzemeler, kullanılacak yerdeki şekline yakın olarak imal edildiklerinden metal malzemeler gibi kaba yapılacak işleme ihtiyaç duymamaktadırlar. Kompozit malzemelerin frezelenme işlemi sırasındaki işlenebilirliği, takım aşınması, delaminasyon faktörü ve yüzey pürüzlülüğü gibi sonuçlar yönünden belirlenmektedirler (Sheikh-Ahmad, 2009; Yenigün, 2018).

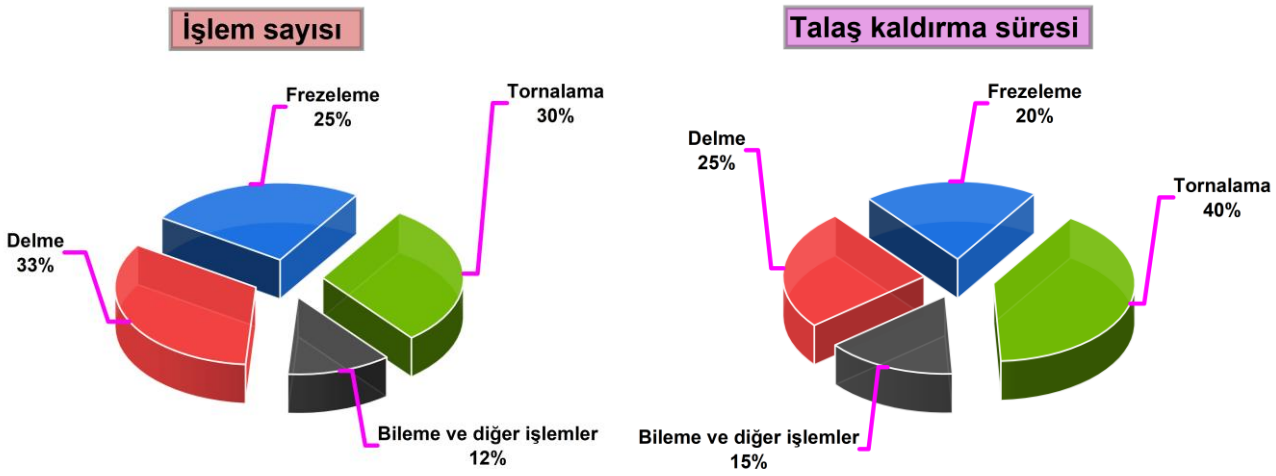
1.3.2. Kompozit malzemelerin tornalanması

Kompozit malzemelerin tornalanarak işlenmesi sırasındaki işlenebilirlik, kesme kuvveti, kesme sıcaklığı, kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü gibi parametreler gözetilerek belirlenmektedir. Bununla birlikte, kompozit malzemede kullanılan elyafın türü, elyaf yoğunluğu, elyaf sarımının açısı gibi parametrelerde tornalamanın işlenebilirliği üzerinde önemli etkilere sahiptir. Kompozit malzemelerden üretilen aks, rulo, şaft ve rulman benzeri eksenel olarak simetrik olan malzemelere, tornalama işlemi uygulanarak kullanıma hazır ürün haline getirilmektedirler (Sheikh-Ahmad, 2009).

1.3.3. Kompozit malzemelerin delinmesi

Talaş kaldırma işlemleri arasında bulunan delik delme işlemi günümüz endüstri alanlarında uygulama yönünden önemli bir yer tutmaktadır. Delik delme işlemi, takımın kendi ekseni etrafında dönmesi esnasında hareket ekseni yönünde ilerleme yaparak iş parçası üzerinden talaş kaldırma operasyonudur (Yağmur, 2011). Talaşlı imalatta, delik delme, frezeleme ve tornalama gibi işlemler en çok kullanılan yöntemlerdendirler. Belirtilen bu talaşlı imalat yöntemleri arasından delik delme işlemi en çok uygulanan talaşlı imalat yöntemidir. Şekil 1.10'da görüldüğü gibi, talaş kaldırma işlemleri

yöntemlerinin talaş kaldırma süreleri ve işlem sayıları farklı grafiklerde gösterilmiştir. Belirtilen grafiklerde, işlem sayısı yönünden delme işleminin %33'lük bir paya, talaş kaldırma süresi yönünden ise delme işleminin %25'lik bir paya sahip olduğu görülebilmektedir (Tönshoff ve ark., 1994).



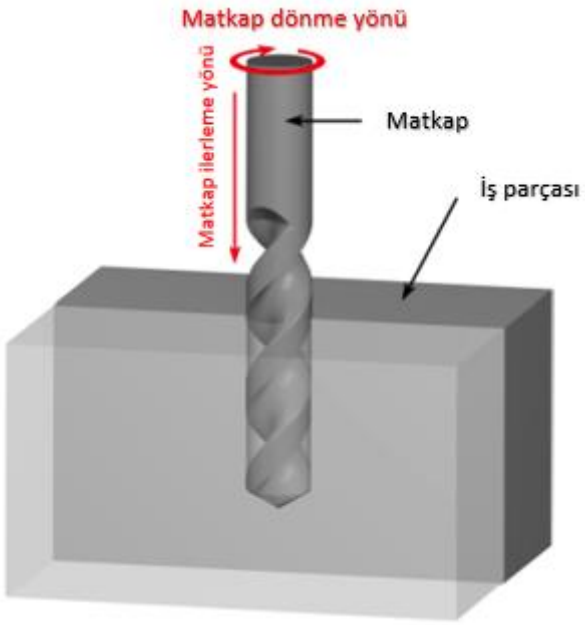
Şekil 1.10. İşlem sayısı ve talaş kaldırma süresinin karşılaştırması (Tönshoff ve ark., 1994)

Talaşlı imalatta delik delme işlemi genel olarak yapılan son işlemdir. Delik delme işlemi, frezeleme ve tornalama işlemleri ile kıyaslandığında yapılan işlemin dinamiği ve kinematiğinin benzer bir yapıda olduğu ve ayrıca talaş akışı ile kesme sıcaklığı dağılımlarının aynı olduğu bilinmektedir. Diğer yandan, delik delme işlemlerinin bazı olumsuz özellikleri bulunmaktadır. Bu özelliklerden birisi, delik delme işlemi sırasında talaşın kapalı bir ortam içerisinde meydana gelmesi ve gözle görülememesidir. Kapalı bir ortam içerisinde gerçekleşen talaş kaldırma işlemi esnasında, oluşan talaşın akışını zorlaştıran matkapta, biriken talaşın kalınlığının etkisi ile kesici takım ve iş parçası arasında sürtünmeye neden olmakta ve bunun sonucu olarak ısının artmasına neden olmaktadır. İş parçası ile kesici takım arasında meydana gelen sürtünme, yüzeyden akan sıcaklığın az olması ve dönme ekseninde kesici ağzın uç noktasına doğru kesme hızının sıfır olması nedeniyle önemli bir problemdir. Bu yüzden, iyi bir delik kalitesinin elde edilmesi için, kesici takım, delme işlemi tezgâhı ve iş parçası özelliklerine dikkat edilmesi ve gerekli yöntemin doğruluğunun sağlanması gerekmektedir (Giasin, 2016; Sheikh-Ahmad, 2009; Tönshoff ve ark., 1994).

Farklı endüstri alanlarında kullanılan kompozit malzemelerin işlenmesi için en çok kullanılan talaşlı işleme yöntemi delik delme yöntemidir. Ancak, kompozit malzemelerin işlenmesinde yoğun kullanıma rağmen en zor işleme yöntemi delik delme işlemidir. Kompozit malzemenin ana yapısını oluşturan elyaf ve matris malzemelerinin birbirinden farklı ısı iletim katsayıları yüzünden delik toleranslarının istenilen kalitede olması zorlaşmaktadır. Ayrıca, kompozit malzemede kullanılan takviye elemanlarının yüksek aşındırma özellikleri nedeniyle kesici takım aşınmakta ve bunun sonucu olarak ta deformasyonlar meydana gelmektedir. Kompozit malzemelerin delinmesinde kullanılan konvansiyonel yöntemler ile birlikte gelişen teknoloji paralelinde kullanılan karot delme, elektro-erozyon ile delme, lazer destekli delme, titreşim destekli delme ve su jeti ile delme gibi farklı delik delme yöntemleri de kullanılmaktadır (Liu ve ark., 2012; Mishra ve ark., 2022; Yenigün, 2018).

1.3.3.1. Geleneksel delik delme yöntemi ile kompozitlerin delinmesi

Geleneksel delik delme yönteminde, kesici takım olan matkap ucu, belirlenene iş mili devri ve ilerleme oranına bağlı olarak iş parçası üzerinden talaş kaldırmaktadır. Şekil 1.11.'de geleneksel delik delme işleminin mekanizması gösterilmiştir (Patel ve Verma, 2015).



Şekil 1.11. Geleneksel delik delme işleminin mekanizması (Patel ve Verma, 2015)

Kompozit iş parçalarına geleneksel delik delme işleminin uygulanması durumunda, delaminasyon, matris yanması, fiber kırılması gibi birçok sorun meydana gelmektedir.

1.3.3.2. Karot delme yöntemi ile kompozitlerin delinmesi

Betonların delinmesi işleminde kullanılmakta olan yönteme benzer şekilde yapılan bu yöntemin ilk deneysel uygulayanları olan Park ve arkadaşları tarafından 1995 yılında kompozit iş parçalarının delinmesi amacıyla kullanılmıştır (Park ve ark., 1995). Karot delme yöntemi, abrasif talaş kaldırma şeklinde işlem yapan bir yöntemdir. Kesici takımın iç kısmı boş durumdu olması nedeniyle, kesme kuvveti geleneksel delik delme yöntemleri ile kıyaslandığında çok düşük değerlerde olmaktadır (Tsao ve Hocheng, 2007). Oluşan bu düşük kesme kuvvetleri sayesinde kompozit iş parçasında meydana gelen delaminasyonlar daha düşük olmaktadır (Hocheng ve Tsao, 2006).

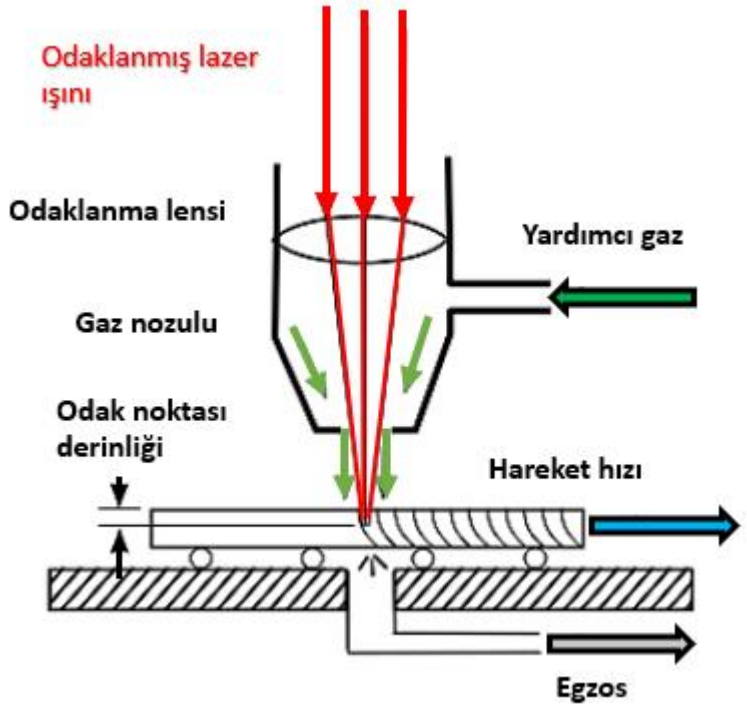


Şekil 1.12. Karot delme işleminde kullanılan takım ucu (Liu ve ark., 2012)

1.3.3.3. Lazer delme yöntemi ile kompozitlerin delinmesi

Geleneksel delme yöntemine göre lazer ile delmenin birçok avantajı bulunmaktadır. Bu yöntemde kesici takım ile işlenen iş parçası arasında doğrudan bir temas olmaması nedeniyle daha küçük değerlerde kesme kuvvetleri oluştuğundan kompozit iş parçasında deformasyon meydana gelmemektedir. Ayrıca, sıcaklığın etkisi ile yapılan bir delik delme yöntemi olduğundan, kompozit iş parçasının mukavemetinden veya sertliğinden etkilenmemektedir. Ancak, birçok avantajına rağmen, kompozit iş parçasında sıcaklığın etkisi nedeniyle etkilenen bölgeler oluştuğundan, delinecek olan iş parçasının kalınlığı arttıkça kesme verimliliği düşmektedir. Oluşan bu olumsuzluk nedeniyle kompozit iş parçasının dayanımı olumsuz etkilenmektedir. Lazer ile delik

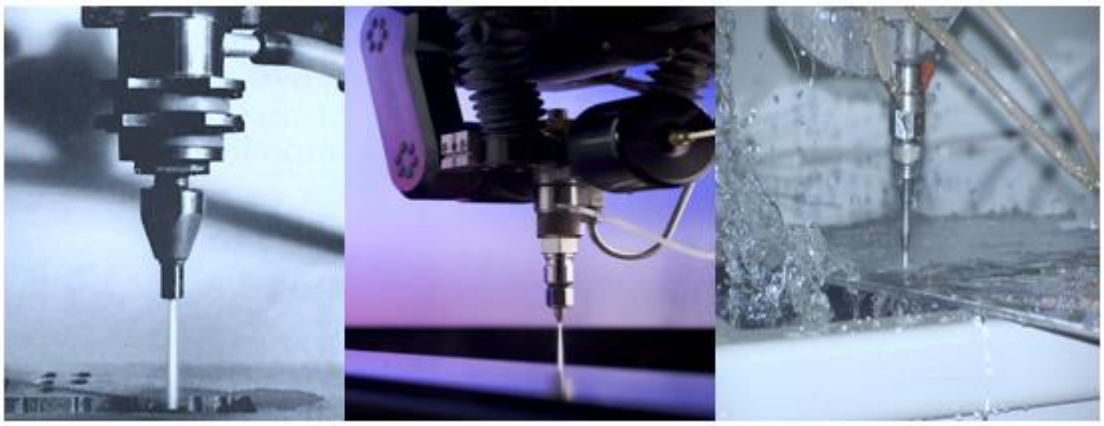
delme işlemi esnasında sıcaklığın etkisiyle ortaya çıkan zehirli gazlarda başka bir olumsuz yönüdür (Dahotre ve Harimkar, 2008; Sheikh-Ahmad, 2009; Yenigün, 2018).



Şekil 1.13. Lazer ile delik delme işleminin şeması (Sheikh-Ahmad, 2009)

1.3.3.4. Su jeti yöntemi ile kompozitlerin delinmesi

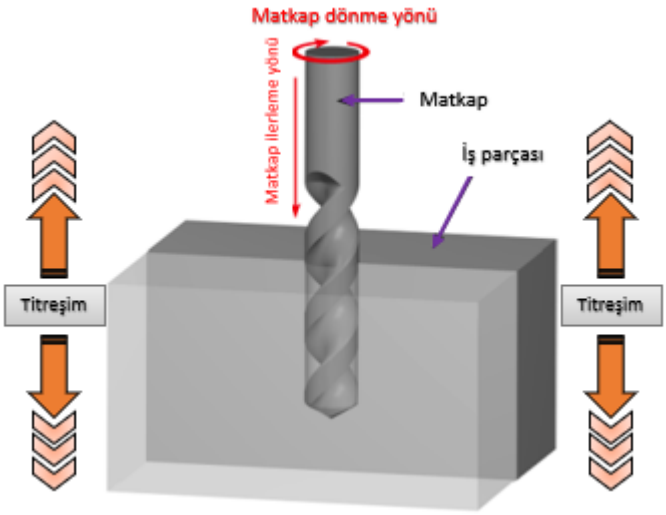
Su jeti yöntemi ile delme işleminde, su, kompozit iş parçasına doğru oldukça yüksek hızlarda püskürtülerek delik delme işlemi yapılmaktadır. Su jeti yönteminde kullanılan suyun içerisine çok küçük boyutlarda olan aşındırıcı partiküller eklenerek te delik delme işlemi yapılabilmektedir. Bu delik delme yönteminde, kullanılan saf veya partikül ekli su yüksek bir basınç değerine kadar sıkıştırıldıktan sonra nozul aracılığıyla edinilen yüksek hızlarda kompozit iş parçasına çarptırılarak işlem yapılmaktadır. Nozul aracılığıyla kompozit iş parçasına püskürtülen çok ince su jeti sayesinde hassas delik delme işlemleri yapılabilmektedir (Akkurt, 2004). Bu yöntemin kompozit iş parçası üzerindeki en olumsuz özelliği, kompozit iş parçasının nem alma ihtimali ile suya eklenen aşındırıcı partiküllerin iş parçası yüzeyinde kalmasıdır (Herzog ve ark., 2008; Ming Ming ve ark., 2018). Şekil 1.14'te, su jeti ile iş parçası üzerinde delik delme yöntemi uygulanırken görülmektedir.



Şekil 1.14. Su jeti ile delik delme yöntemi (Folkes, 2009; Ramulu ve Arola, 1993; Zeng ve ark., 2005)

1.3.3.5. Ultrasonik titreşim desteği yöntemi ile kompozitlerin delinmesi

Ultrasonik titreşim destekli delik delme yöntemi, işlenecek olan iş parçasına veya kesici takıma ilerleme yönünde olacak şekilde ultrasonik titreşimlerin uygulanmasıdır. Bu yöntemin kullanıldığı yerlerde genel olarak iş parçasına ultrasonik titreşimler uygulanmaktadır. Delik delinecek olan iş parçasının dönmesi durumunda ultrasonik titreşimin uygulanması çok zor olmaktadır. Ayrıca, işlem yapılacak olan iş parçası boyut olarak büyük ve ağır olması durumunda ultrasonik titreşimlerin uygulanması daha uygun görülmektedir. Ultrasonik titreşim destekli delik delme yönteminde, konvansiyonel delik delme yöntemlerine göre tork ve kesme kuvvetleri daha düşük olduğundan dolayı açılan deliğin kalitesi de daha yüksek olmaktadır (Ishikawa ve ark., 1998; Xu ve ark., 2009; Yenigün, 2018).

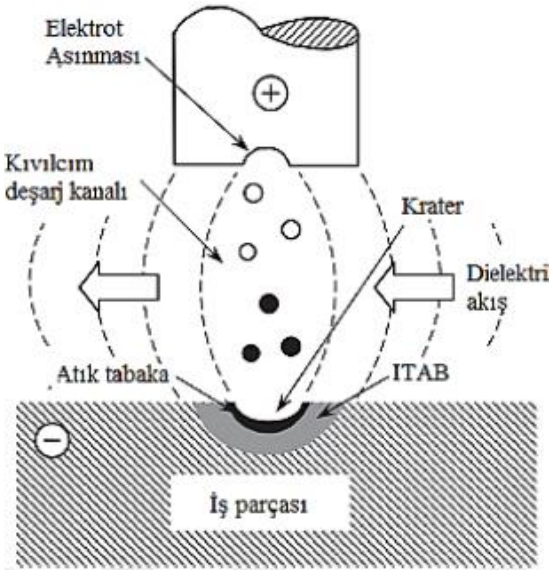


Şekil 1.15. Ultrasonik titreşim desteği yöntemi ile delme (Patel ve Verma, 2015; Xu ve ark., 2009)

Şekil 1.15'te, ultrasonik titreşim desteği yöntemi ile delme işleminin görüntüsü verilmiştir.

1.3.3.6. Elektro-erozyon yöntemi ile kompozit malzemelerin delinmesi

Elektro-erozyon yöntemi, iş parçası üzerine dalma veya tel şeklinde iki farklı yolla yapılabilen yöntemdir. Belirtilen bu yolların her ikisinde de iş parçası üzerinden talaş kaldırma için işlenecek olan iş parçası ile kullanılan elektrot arasında kıvılcım oluşturularak yapılmaktadır. Kullanılan bu yolların en önemli farkı ise elektrotun şekli ile ilgilidir. Dalma yapılarak yapılan işlemde, kullanılan elektrot yavaş yavaş ilerleme yönüne doğru hareket ettirilir ve oluşan kıvılcımlar sayesinde iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir. Ancak, bu yöntem ile yapılan iş parçası işlemelerinde kullanılan tel zamanla aşındığından değiştirilmesi gerekmektedir. Kullanılan elektrik yönünden ise her iki yolda doğru akım ile çalışmaktadır. Kullanılan bu istem, doğru akım güç kaynağı, elektrot, dielektrik sitem ve servodan oluşmaktadır. Bu yöntem genel olarak elektrik iletkenliği iyi olan iş parçaları (karmaşık şekildeki kompozitler, alaşımlar ve metaller) üzerinde kullanılmaktadır. Bu yöntem ile aramid veya cam elyaf gibi elektrik iletkenlikleri düşük olan kompozit iş parçaları işlenememektedir. Diğer yandan, karbon elyafı kullanılan kompozit iş parçalarında, karbon elyafının elektriksel iletiminin nispeten daha iyi olmaları nedeniyle kullanılabilmektedir. Şekil 1.16'da, elektro-erozyon yöntemi ile delik delme işleminin şeması gösterilmiştir (Sheikh-Ahmad, 2009; Yenigün, 2018).



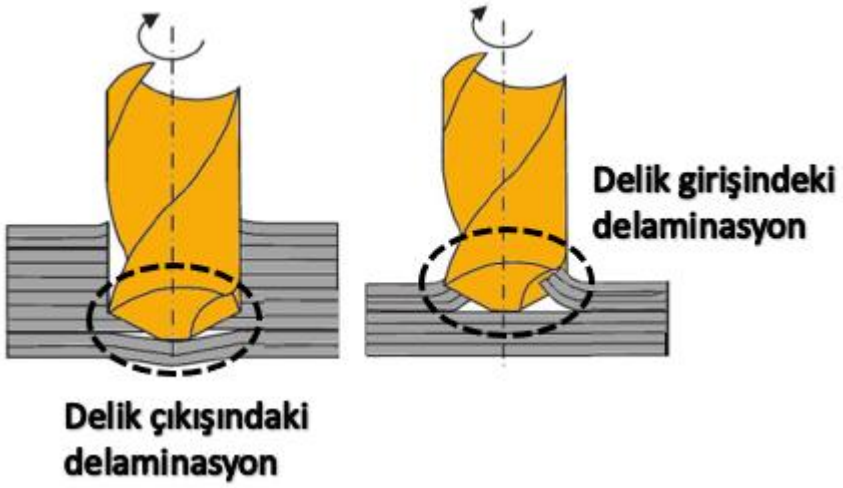
Şekil 1.16. Elektro-erozyon yöntemi ile delme işlemi şeması (Sheikh-Ahmad, 2009)

1.4. Kompozitlerin Delinmesi Sırasında Oluşan Hasarlar

Kompozit malzemeler üzerinde delme işlemleri yapılması esnasında, elyaf kırılmaları, matris çatlamaları, matris yanmaları ve delaminasyonlar gibi hasarlar oluşmaktadır (Barbero, 2013; Giasin, 2016). Delik delme işlemi esnasında meydana gelen bu hasarlar, kompozit malzemede kullanılan elyafın ve matrisin türüne, elyafın yönlendirme açılarına, kullanılan kesici takımın geometrisi ve malzemesine, iş milinin devrine, uygulanan ilerleme miktarına ve delme koşullarına göre farklılıklar gösterebilmektedir. Kompozit malzemeler üzerinde uygulanan parametrelerin yanlış olması durumunda iş parçasına önemli hasarlar verebilmektedir. Bu yüzden, kompozit malzemeler üzerinde yapılacak olan delik delme işlemlerinde kullanılan parametrelerin doğru seçilmesi oldukça önemlidir (Giasin, 2016; Yenigün, 2018).

1.4.1. Delaminasyon

Delaminasyon, kompozit iş parçalarına delik delme işlemi uygulanması sırasında en çok meydana gelen hasar türüdür. Kompozit iş parçasındaki tabaka ayrılması olarak ta bilinmektedir. Delaminasyonlar, genel olarak delik delme işleminin uygulandığı kompozit iş parçalarının delik delme girişlerinde, delik çıkışlarında ve delik yüzeyinde oluşmaktadırlar. Delaminasyonlar, kesici takımın uç kısmının kompozit iş parçasına uyguladığı basma kuvveti ile talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan çekme kuvvetinin etkisiyle oluşmaktadır. Kompozit iş parçası üzerinde meydana gelen delaminasyonlar nedeniyle işlenen kompozit malzemenin dayanımı önemli miktarda düşmektedir. Bu yüzden, delaminasyonlar oluşması istenmeyen bir durumdur ve mümkün olduğunca düşük seviyede tutulmaya özen gösterilmektedir. Farklı endüstri alanlarında kullanılan kompozit iş parçalarının delinmesi sırasında meydana gelen delaminasyonlar nedeniyle bu iş parçalarının %60 gibi yüksek bir oranı kullanılmadan atıl duruma gelmektedir (Liu ve ark., 2012; Sheikh-Ahmad, 2009; Yenigün, 2018).

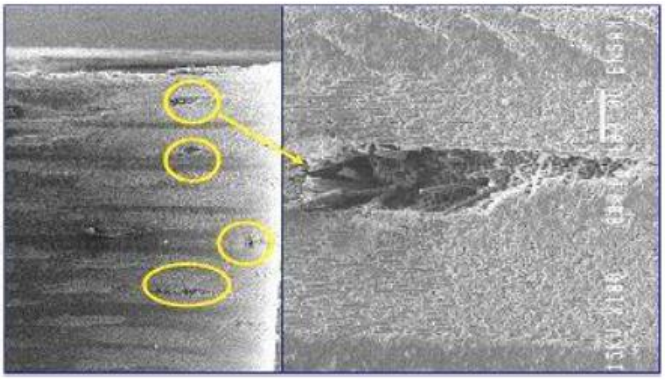


Şekil 1.17. Kompozit iş parçasında meydana gelen delaminasyonlar (Sheikh-Ahmad, 2009)

Şekil 1.17'de kompozit iş parçası üzerinde açılan deliklerin giriş ve çıkışlarında meydana gelen delaminasyonlar gösterilmiştir (Sheikh-Ahmad, 2009).

1.4.2. Elyaf kırılması

Kompozit iş parçaları üzerinde yapılan delik delme işlemleri sırasında uygulanan yüksek ilerleme oranı ve düşük devir sayısı nedeniyle kompozit iş parçasında bulunan elyaflar, malzemeden kesilmeden ayrılmaya maruz kalmaktadırlar. Bu durum nedeniyle, elyaf kompozit iş parçasından koparak ayrılmakta ve bu yüzden de matris içerisinde boşlukların oluşmasına sebep olmaktadır. Matris içerinde oluşan bu boşluklar kötü yüzey kalitesine, kesici takımın çabuk aşınmasına ve bunun sonucu olarak ta kompozit iş parçasının dayanımı olumsuz (azalması) yönde etkilenmektedir (Azmi, 2013; Davim, 2013; Giasin, 2016; Yenigün, 2018).

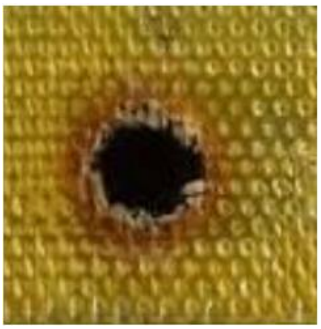


Şekil 1.18. Kompozit malzemelerde elyaf kopması (Davim, 2013)

Şekil 1.18'de, kompozit iş parçası üzerinde yapılan delik delme işlemi sırasında meydana gelen elyaf kopmasının SEM görüntüsü verilmiştir (Davim, 2013).

1.4.3. Matris yanması

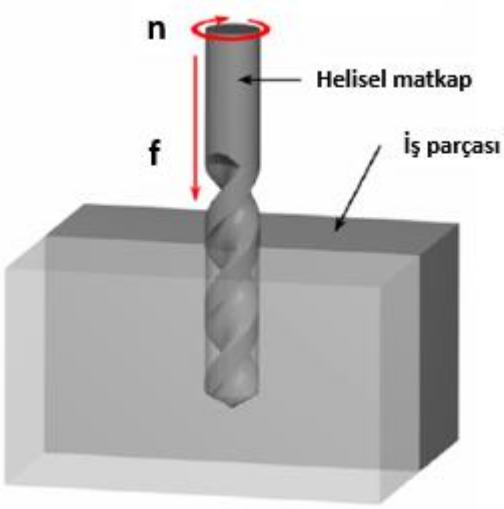
Kompozit malzemeler üzerinde delik delme işlemi için yanlış kesici takımın seçilmesi veya yüksek iş mili devri gibi yanlış parametrelerin seçilmesi durumunda delik açılan iş parçası bölgesinde, oluşan yüksek sıcaklıklar nedeniyle matris yanması meydana gelmektedir (Davim, 2013; Sheikh-Ahmad, 2009; Yenigün, 2018). Şekil 1.19'da, delik açılan bölgede meydana gelen matris yanması gösterilmiştir (Yenigün, 2018).



Şekil 1.19. Kompozit malzemelerin delinmesinde matris yanması (Yenigün, 2018)

1.5. Delik Delme

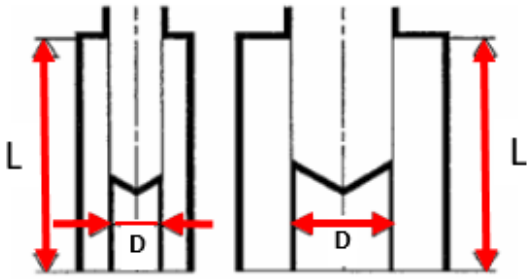
İş parçası üzerinden, dönme ve ilerleme hareketine sahip silindirik bir kesici takımla talaş kaldırılarak açılan dairesel boşlukların yapılması işlemine delme denilmektedir. Delme ifadesi, kısa delik delme, normal delik delme ve derin delik delme işlemleri için kullanılmasına rağmen delik büyütme, parlatma (ovalama), havşa başı açma şeklinde yapılan son işlemler içinde kullanılmaktadır. Yapılan tüm bu işlemlerde, kendi ekseni etrafında dönme ve ilerleme hareketini beraber yapan kesici takımın iş parçası üzerinden talaş kaldırarak işlem yapmasıdır (Çakır, 2000; Kıvak, 2007). Delik delme işleminin en önemli parametreleri iş mili devri ve ilerlemedir. Bu parametreler, iş parçası üzerinde kesici takım ile kesme işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetlerini ve sıcaklığı doğrudan etkilediği gibi kesici takımın performansını da etkilemektedir (Kalidas ve ark., 2001). Şekil 1.20'de, kesici bir takımın iş parçası üzerinden talaş kaldırmak amacıyla uygulanan dönme ve ilerleme hareketleri gösterilmiştir (Patel ve Verma, 2015).



Şekil 1.20. Delik delme işleminde dönme ve ilerleme hareketi (Patel ve Verma, 2015)

1.5.1. Delik delme işlemleri

İş parçası üzerinde yapılan delik delme işleminin kontrol edilmesi ve oluşan talaşın kesme alanından boşaltılması delik derinleştikçe daha da zorlaşmaktadır. Yapılan derin delik işlemlerinde delik ve deliğin yüzey kalitesi dikkate alınırken, kısa delik işlemlerinde ise ekonomik yönü dikkate alınarak yüksek talaş debilerinde çalışma büyük bir öneme sahip olmaktadır. Kısa delik delme işlemi ile derin delik delme işlemi arasında delik çapı ile delik derinliği arasındaki ilişki haricinde kalite, talaş boşaltma, talaş debisi gibi parametrelerde temel özelliklerdendir (Kıvak, 2007). İş parçası üzerinde yapılan delik delme işlemlerinde, en uygun sonuçlara sahip olmak için açılan deliğin boyunun delik çapına oranının 3 (üç) katından daha az olması gerektiği bilinmektedir (Kıvak ve ark., 2010). Ayrıca, delinen deliğin boyunun delik çapına oranı (boy/çap) 10 (on) kattan fazla ise uzun delik, boy/çap oranı 4(dört) ile 10 (on) kat arasında ise normal delik ve boy/çap oranı 3(üç) kat veya daha düşük oranda ise kısa delik olarak isimlendirilmektedir (Çakır, 2000). Delik delme işlemlerindeki boy/çap oranının artışı ile birlikte deliklerin yüzey pürüzlülükleri de artmaktadır (El-Khabeery ve ark., 1991). Şekil 1.21'de görüldüğü gibi delik çapı ve delik boyu gösterilmiştir.



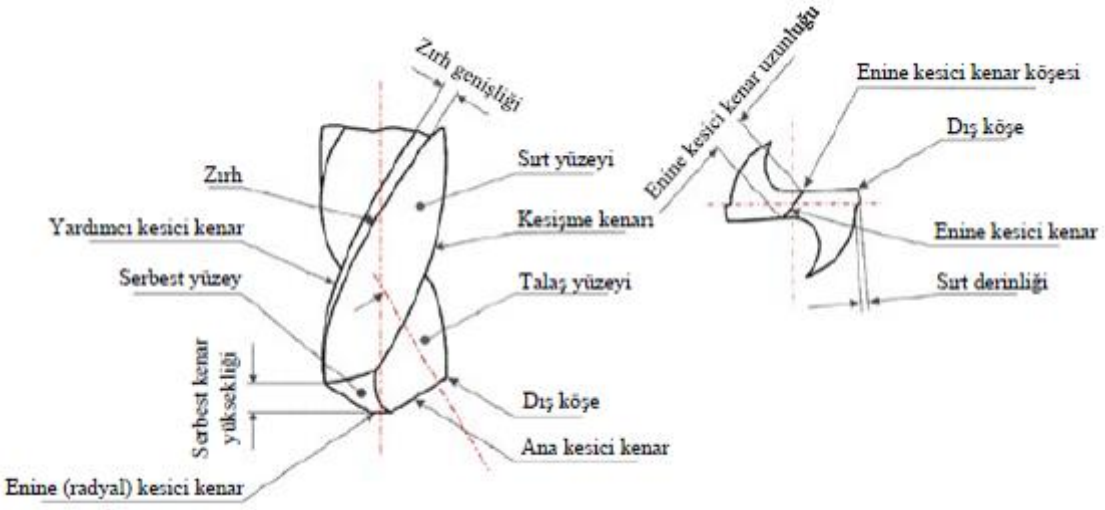
Şekil 1.21. Delik boyu ve delik çapı gösterimi (Çakır, 2000)

Genellikle tek bir operasyon ile iş parçası üzerinde yapılan delik delme işlemleri, belirli bir çap değerinde ve yekpare olan bir kesici takım kullanılarak dolu haldeki iş parçası delinmektedir. Ayrıca, büyük çaptaki delikler delinmeden önce ön delik açılarak işlem yapılmaktadır (Çakır, 2000).

1.5.2. Matkaplar

Matkap, konik olan bir çekirdek çevresine helisel şekilde sarılmış olan iki veya daha fazla kesici ağızlı bir takımdır. Farklı endüstri alanlarında, ihtiyaç duyulan amaca göre farklı malzemelerden ve farklı geometrilerde olacak şekilde üretilirler. Yekpare veya kanallı kısmı ayrı olacak şekilde kaynak edilerek imal edilirler. Günümüzde, gelişen teknoloji ile birlikte kesici ağızlarına farklı türdeki malzemelerden parça ağızlar takılarak (takma uçlu) matkap çeşitleri de bulunmaktadır. İş parçalarının işlenmesi amacıyla en çok tercih edilen kesici takımdır (Çakır ve ark., 2014; Çakır, 2000). Matkaplar, kesici uç, gövde ve sap olmak üzere 3 (üç) kısımdan oluşmaktadır. *Kesici uç*, matkabın kesme işlemi yapan kısmına denilmektedir. İş parçası üzerinden talaş kaldırma ve deliklerin açılmasını sağlamaktadır. Genel olarak 2 (iki) veya daha fazla kesici ağıza sahip olacak şekilde üretilmektedirler. Matkap kesici uçları, uç açısı ve helisel kanalların yapılmasıyla oluşmaktadır (Yağmur, 2011). *Gövde,* kesici takım olan matkabın helisel oluklarının olduğu kısımdır. Gövde, kesici uçtan başlayarak helisel kanalların bittiği yere kadar olan kısımdan meydana gelmektedir. Helisel kanallar arasında kalan kısma ise kesici takımın özü denmektedir. Kesici takım olan matkabın özü uç kısımda ince, gövde kısmının bitiminde ise daha kalın olmaktadır (sapa doğru konik). *Sap*, matkabın iş parçasını işlemesi amacıyla tezgâha bağlanmasını sağlayan kısımdır. Matkap sapları genel olarak belirli çaplardaki matkaplara kadar silindirik olacak şekilde yapılmaktadırlar. Özellikle çapları büyük olan matkaplarda ise tezgâha bağlanmasının kolaylığı için konik olarak yapılmaktadırlar (Çakır, 2000; Yağmur, 2011).

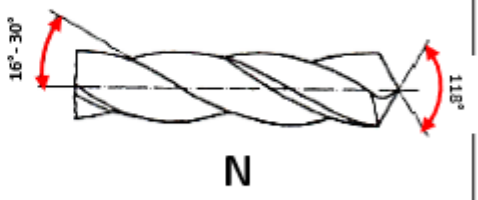
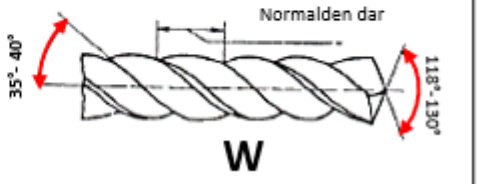
Kesici takım olan matkabın uç kısmında, ağız sayısına bağlı olarak 2 (iki) veya 3 (üç) ana kesici kenar ile birlikte her bir kesici ağzın sahip olduğu birer serbest yüzey ve de talaş yüzeyi bulunmaktadır. Ana ağızların oluşturduğu koni tam olarak sivri yapıda olmamaktadır. Bu kısımlar arasında çekirdek denilen yassı şeklinde bir yer bulunmaktadır. Şekil 1.22'de, kesici takım matkapta bulunan kesici kenar ve yüzeyler gösterilmiştir (Çakır ve ark., 2014).



Şekil 1.22. Matkapta bulunan kesici kenar ve yüzeyler (Çakır ve ark., 2014)

İş parçasının özelliklerine ve kesme açılarına bağlı olarak N, H ve W olarak isimlendirilen üç farklı matkap çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan N tipi olarak isimlendirilen matkaplar ile çelik ve dökme demir malzemeler delinmektedir. H tipi olarak isimlendirilen matkaplar ile pirinç ve alaşımları, W tipi olarak isimlendirilen matkaplar ile alüminyum alaşımları benzeri yumuşak özelliklere sahip iş parçaları delinmektedir. Belirtilen bu her üç matkap tipinin kullanım yerlerinin bilinmesi iş parçalarının işlenmesi açından önemlidir. Tablo 1.1'de helis açılarına göre matkap türleri ve kullanım yerleri verilmiştir (Okay, 2020; Şahin, 2008).

Tablo 1.1. Helis açılarına göre matkap türleri ve kullanım yerleri (Şahin, 2008)

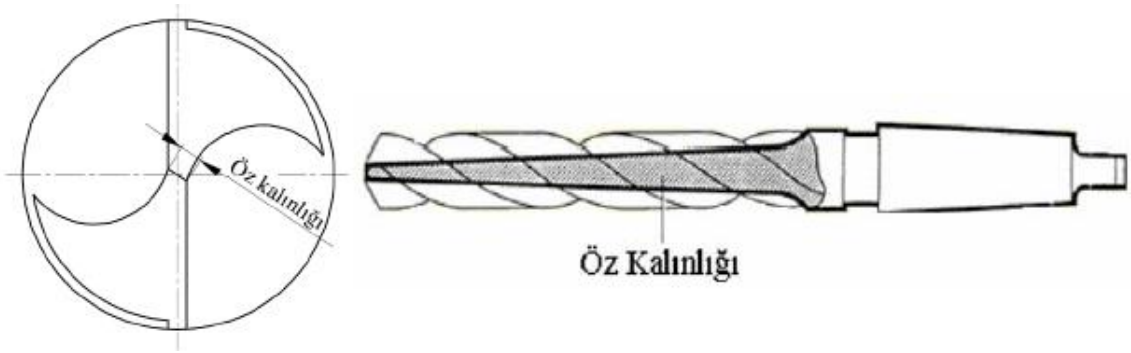
Malzeme Cinsi	Uç Açısı	Matkap Tipi (DIN 1414)
Çelik; çelik döküm; dökme demir, temper döküm, sert bakır ve çinko alaşımı malzemeler için.	118°	 N
700 N/mm² çekme dayanımı üzerindeki çelikler ve çelik döküm malzemeler için.	130°	
Sac parçaları ve paket haldeki sac demetleri için.	124° - 130°	
Paslanmaz çelikler; bakıra 30 mm çap üzerinde delik delerken, kısa talaş veren Al alaşımlarında.	130°	
Preslenmiş malzemeler, sert bakalit, sert kauçuk, mermer arduaz (taş), kömür vb. için;	80°	 H
Pirinç (sarı malzeme), bronz ve çeşitleri, sert çelikleri için.	130°	
Magnezyum alaşımları için.	140°	
Çinko alaşımları, kalay ve kurşun alaşımları (beyaz metal) için.	118°	 W
Bakır malzeme için.	120° -125°	
Alüminyum alaşımları için.	140°	
Bakıra 30 mm üzerindeki delik delerken ve uzun talaş veren alüminyum alaşımları.	140°	

1.5.3. Matkap geometrisinin delme işlemine etkileri

Kesici takım matkabın imalat ve bileme işleminde oluşan kesici ağız geometrisi, iş parçası üzerinde talaş kaldırma sırasında önemli olmaktadır. Çünkü, kesici takımın uç açısı, matkap öz kalınlığı, kesici takımın arka kısmına doğru verilen boşluk açısı ve helis açısının kesme işlemine doğrudan etkileri bulunmaktadır. Bu yüzden, bu etkilerin bilinmesi gerekmektedir (Çakır ve ark., 2014; Okay, 2020).

1.5.3.1. Matkap öz kalınlığının delme işlemine etkisi

Kesici takım matkabın öz kalınlığı, matkaptaki serbest yüzeyleri birleştiren ve dayanımını artırmak amacıyla konik şeklinde sap kısmına doğru kalınlaşmaktadır. Matkaplarda, boyun kısalmasına bağlı olarak öz kalınlığı da artmaktadır. Matkaplar ile iş parçası üzerinde delme işlemi yapılırken oluşan basıncın ve sürtünmenin etkisiyle matkabın sıcaklığı arttığından matkabın kullanım ömrü de buna bağlı olarak azalmaktadır. Bu yüzden matkap öz kalınlığının ince olması gerekmektedir. Matkap öz kalınlığının artışı durumunda kesme bölgesinde mevcut olan radyal ağzın uzunluğu da artmış olacaktır. Radyal ağzın uzunlu olması nedeniyle daha fazla miktarda kesme kuvvetine ihtiyaç duyulmuş olacaktır. Kesici takım matkaplarda, matkap öz kalınlığı değeri matkap çapı değerinin 0,1 ile 0,4 katı kadar olmaktadır. Genel olarak ise 0,2 ile 0,3 katı tercih edilir. Bunun sonucu olarak, yüksek iş mili devirlerinde daha kaliteli delikler elde edilir. Ancak, derin delik işlemlerinin yapıldığı durumlarda ise bu oran 0,4 katına kadar seçilmektedir (Çakır ve ark., 2014; Okay, 2020). Şekil 1.23'te, kesici takım matkabın öz kalınlığı gösterilmiştir (Kaynak, 2006).

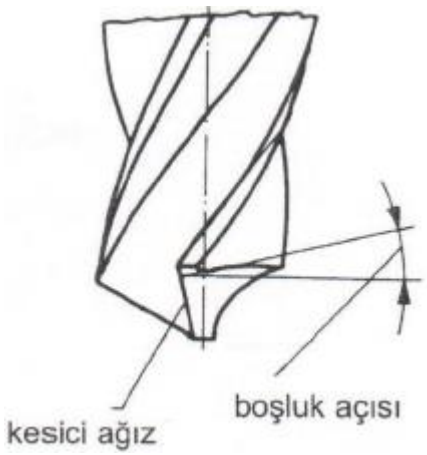


Şekil 1.23. Matkap öz kalınlığı (Kaynak, 2006)

1.5.3.2. Boşluk açısının delme işlemine etkisi

Matkapta bulunan boşluk açısı, kesme işlemini yapan kesici ağzın arka yüzeyinin kesim yapılan bölgeye sürtünmemesi amacıyla verilen açıdır. Bu açı sayesinde kesici takımın sürtünmesi önlenerek daha iyi bir şekilde kesme işleminin yapılması sağlanmaktadır. Boşluk açısı genel olarak 8°-12° arasında olmaktadır. Matkapta bulunan kesici takımlara aynı boşluk açısının verilmesi gerekmektedir. Matkapta bulunan kesici ağızların boşluk açıları eşit olmamaları durumunda kesici ağızların yükseklik değerli aynı olmayacağından delik çapının istenen değerden daha yüksek olmasına sebep olacaktır.

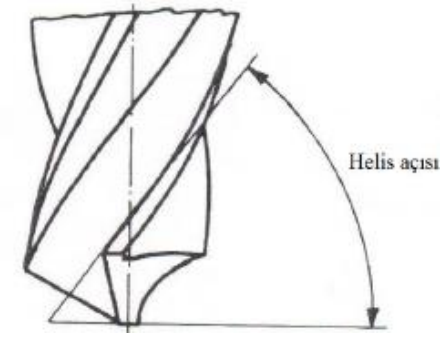
Bu yüzden matkap bilemelerinin dikkatli yapılması gerekmektedir (Okay, 2020). Şekil 1.24'te matkabın boşluk açısı gösterilmiştir (Şahin, 2008).



Şekil 1.24. Kesici takım matkabın boşluk açısı (Şahin, 2008)

1.5.3.3. Helis açısının delme işlemine etkisi

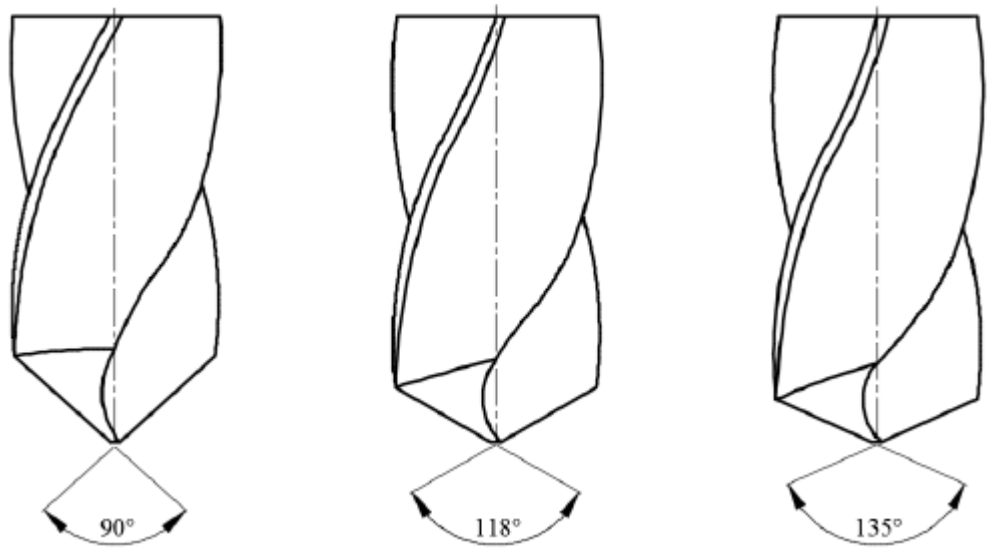
Matkapta bulunan helis açısı, matkap üzerinde açılan helis kanallarının oluşturduğu açıdır. Kesici takım matkap ile iş parçası üzerinde delme işlemi yaparken oluşan talaşları helis kanalı aracılığıyla dışarı attığından talaş açısı olarak ta ifade edilmektedir. Matkaplarda bulunan helis açıları genel olarak 20°-30° olmaktadırlar. Ancak, işlenen iş parçasının özelliklerine göre bu açı değişkenlik göstermektedir. Düşük helis açısına sahip matkaplar kesici ağzın mukavemetini artırdığından sert özellikteki iş parçalarının işlenmesinde tercih edilmektedirler. Helis açısının yüksek olması durumunda ise kesme kuvvetini azaltacağından, daha çok alüminyum benzeri yumuşak özellikteki iş parçalarının işlenmesinde kullanılmaktadır (Okay, 2020; Şahin, 2008). Şekil 1.25'te, kesici takım matkabın helis açısı gösterilmiştir (Şahin, 2008).



Şekil 1.25. Kesici takım matkabın helis açısı (Şahin, 2008)

1.5.3.4. Uç açısının delme işlemine etkisi

Matkapta bulunan uç açısı, iş parçası üzerinde yapılan delme işlemini etkileyen en önemli açıdır. Bu açı ayrıca kesici ağız uzunluğunu, itme kuvvetini, torku ve itme kuvvetini de etkilemektedir. Standart üretim matkapların uç açıları 118° olmaktadır. Ancak, işleme yapılacak olan iş parçasının özelliklerine göre uç açıları değişmektedir. Dar uç açısına (90°) sahip matkaplar genel olarak yüksek değerde aşınma etkisi olan plastik malzemelerde yani yumuşak malzemelerin delinmesi amacıyla kullanılmaktadır. Geniş uç açısına (135°-140°) sahip matkaplar ise genel olarak sert özelliğe sahip iş parçaları ile işleme esnasında uzun talaş çıkaran lifli malzemelerin delinmesinde kullanılmaktadır (Okay, 2020; Şahin, 2008). Şekil 1.26'da kesici takım matkabın farklı uç açıları gösterilmiştir (Okay, 2020).



Şekil 1.26. Kesici takım matkabın uç açısı (Okay, 2020)

1.6. Takım çelikleri

Takım çelikleri, talaşlı ya da talaşsız olarak imalat işlemlerinde kullanılan soğuk veya sıcak haldeki iş parçasının sıkıştırma, dövme veya kesme metotlarından birisi veya birden fazlası ile biçimlendirme özelliğine sahip nitelikli çeliklere denilmektedir. Bu çelikler, şekil verme ve kesme işlemlerinde, yüksek sıcaklılarda aşınma dirençlerinin iyi olmaları amacıyla geliştirilmişlerdir. Bunlardan soğuk iş takım çelikleri, yüksek aşınma dayanımları ve ekonomik olmaları nedeniyle oldukça tercih edilmektedirler (Bozkurt, 2006; Budinski ve Budinski, 1992). Takım çelikleri, kimyasal yapılarında bulunan %0,8-

%1,5 oranındaki karbon elementi nedeniyle karbon çelikleri olarak sınıflandırılırlar ve üretim yöntemleri oldukça zordur. Takım çeliklerinin çoğu temperleme ve su verme işlemi ile sertlik değerleri artırılabilen karbon çelikleridir. Talaşlı üretimde sık olarak kullanılan çeliklerdir (Akkurt, 2000; Smith, 2001).

1.6.1. Soğuk iş takım çelikleri

Soğuk iş takım çelikleri, aşınma dayanımları ve sertleşme kabiliyetleri üstün olan çeliklerdir. Sertlik değerleri genel olarak, nikel, molibden, mangan ve krom gibi elementlerle artırılabilen çeliklerdir. Soğuk iş takım çeliklerinin alaşımlı olanları alaşımsız olanlara göre farklılıklar göstermektedir. Alaşımlı olan soğuk iş takım çeliklerine Mo, W, V ve Cr elementlerinin eklenmesi ve uygun ısıl işlem ile aşınma ve sertlik değerlerinde önemli oranda iyileşmeler olmaktadır. Kesme takımları olarak kullanılan soğuk iş takım çeliklerine çoğunlukla volfram, vanadyum ve molibden eklenerek aşınma dirençleri arttırılmaktadır (Akıncıoğlu, 2011; Avner, 1974).

1.6.2. Sıcak iş takım çelikleri

Sıcak iş takım çelikleri, 200°C'nin üzerlerindeki sıcaklarda devamlı olarak çalışabilecek çeliklerdir. Yüksek sıcaklık dayanımlarını, içerisinde bulunan vanadyum, volfram ve molibden elementleri sayesinde elde eden çeliklerdir. Temper karlılıklarını sağlayan mangan, molibden ve nikel birlikte sertlik yeteneğini de geliştirmektedirler. Yüksek sıcaklıklarda aşınmaya karşı dayanımları ise içerisinde bulunan özel karbürlere ve bunların miktarına bağlıdır. Alaşımlı olan sıcak iş takımları çelikleri, özel karbürlerinin aşınması için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyarlar (Akıncıoğlu, 2011; Avner, 1974).

1.6.3. Yüksek hız çelikleri (HSS, High Speed Steel)

Yüksek hız çelikleri (HSS), iş parçalarını yüksek hızlarda işleyebilme yetenekleri nedeniyle bu şekilde isimlendirilmişlerdir. Bu çelikler, karbon, vanadyum, tungsten, krom ve molibden içermektedirler. Yüksek dirençli kesme işlemlerinde ve sıcak işlemlerde kullanılmaktadırlar (Bayer ve ark., 1989). Belirtilen özelliklerin bu çeliklere kazandırılması için belirli alaşım elementlerinin eklenmesi, karbürlerin düzenli dağılımı için sıcak haddeleme gibi farklı işlemlerin uygulanması gerekmektedir. Yüksek

sıcaklıklarda çalışabilme yetenekleri, vanadyum, tungsten, krom ve molibden gibi elementlerin meydana getirdiği özel karbürlerden kaynaklanmaktadır. Bu çeliklerin imalatı sırasında çarpılma ve çatlamalarının engellenmesi amacıyla iki veya üç kademeli olarak tuz banyolarında ısıtılmaktadırlar. Sertleştirme işlemlerinden sonra HSS çeliklerinin iç yapılarında %10 oranında karbür, %20 oranında artık östenit ve %70 oranında ise martenzit bulunmaktadır. 550°C civarında uygulanan temperleme işlemi ile önceden çözülmüş halde olan özel karbürlerin tekrar oluşması ve ince dağılmış şekilde çökeltilmesi sayesinde bu çeliklerin sertlik değerlerinde artışlar sağlanabilmektedir. Temperleme işlemi gören martenzitin ferrit ve Fe_3C şeklinde karışık karbürlere ayrılması ise bu çeliklerin sertliklerinin düşmesine neden olmaktadır (Akça, 2006).

1.7. Kriyojenik İşlem

İş parçalarının işlenmesi amacıyla kullanılan kesici takımların performanslarını iyileştirme, endüstrideki imalat maliyetlerinin azaltılması için önemli bir konudur. Bu yüzden, kesici takımlara farklı kaplamalar ve ısıl işlemler uygulanarak performansları arttırılmaya çalışılmaktadır. Günümüzde ise kesici takımlara bu iki yöntem dışında kriyojenik ısıl işlem veya sıfır altı ısıl işlem olarak da isimlendirilen bu yöntem uygulanarak kesici takımın ömrü, aşınma direnci ve işlenen ürünün kalitesi önemli oranda arttırılmaktadır (Firouzdor ve ark., 2008; Lal ve ark., 2001). Kriyojenik ısıl işlemin kesici takımlara uygulanma biçimi performanslarını önemli şekilde etkilemektedir. Bu yüzden, kesici takımlara uygulanma şeklinin iyi bir şekilde belirlenmesi ve bilinmesi gerekmektedir (Akıncıoğlu, 2015; Gill ve ark., 2011b, 2012; Reitz ve Pendray, 2001).

Kriyojenik ifadesi, Yunanca soğuk anlamında olan “krys” kelimesinin kökünden ismini almaktadır (Das ve ark., 2009). Geleneksel olmayan ve düşük sıcaklıklar (eksi) uygulanarak yapılan bu ısıl işleme kriyojenik işlem denilmektedir. Günümüzde bu yöntem sayesinde kesici takımların mekanik özellikleri iyileştirilmektedir (Baldissera ve Delprete, 2008; Gu ve ark., 2014). Demir esaslı ve demir bulundurmayan alaşım metalleri, seramikler, bakırlar, plastikler ve sementit karbürler gibi malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla nitrojen gazı ile soğutma işlemi yapılarak kriyojenik işlem yapılmaktadır (Dhokey ve ark., 2014; Gill ve ark., 2010; Kalia, 2010; Kalsi ve ark., 2010). Literatürde, kriyojenik işlem yapılan kesici takımların tokluk, aşınma direnci, sertlik, takım ömrü, yorulma dayanımı gibi birçok özelliğinin iyileştirildiği ifade edilmektedir (Kalsi ve ark., 2014). Kesici takımlara uygulanan

kriyojenik işlemin en önemli parametreleri ise uygulanacak ısı değeri, kesici takımın türü, soğutma hızı ve kriyojenik işlem sonrasında yapılacak olan temperleme işlemidir (Gill ve ark., 2010; Kalsi ve ark., 2010). Belirtilen bu işlemlerin en uygun şekilde seçilmesi durumunda kesici takım performansının arttığı bilinmektedir (Çiçek ve ark., 2015; Vadivel ve Rudramoorthy, 2009).

Kriyojenik işlem sürecinde, işlemin uygulanacağı numune kapalı bir bölme içerisine konulduktan sonra bulunduğu ortama verilen nitrojen (azot), helyum, oksijen, neon gibi gazlar kullanılarak sıfırın altında -80°C ile -196°C arasında değişen sıcaklık değerlerinde belirlenen en uygun süre boyunca soğutulmaktadırlar. Bu işlemde, oda sıcaklığından belirlenen sıfır altı dereceye kadar belirli bir soğutma oranında ve işlem bitimi ise tekrar kademeli olarak oda sıcaklığına kadar ortamın sıcaklığı artırılmaktadır (Podgornik ve ark., 2009; Senthilkumar ve Rajendran, 2011). Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem sayesinde, kesici takımlarda soğuma işlemine bağlı olarak büzülme ve karbür tanelerinin küçülerek daha homojen yapıda dağılmaları sağlanmaktadır. Kesici takımda oluşan bu durum sayesinde, elektrik iletkenliği, aşınma direnci, sertliği ve tokluğu gibi özelliklerinde iyileşmeler olmaktadır (Podgornik ve ark., 2009; Senthilkumar ve Rajendran, 2011). Kriyojenik işlemin kesici takımlara sağlamış olduğu bu iyileştirmeler nedeniyle son yıllarda bu yöntemin kullanımı da giderek artmaktadır. Performans artışı için kesici takımlara yapılan kaplamalara göre daha uygun maliyetli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Kriyojenik işlem, uygulanan sıfır altı sıcaklığa bağlı olarak sığ (-80°C ile -140°C arasında) ve derin (-140°C ve -196°C arasında) kriyojenik işlem olarak 2 (iki) farklı şekilde sınıflandırılmaktadır (SreeramaReddy ve ark., 2009; Thakur ve ark., 2008). Kriyojenik işlem kesici takımlar haricinde yarış arabalarının motorlarında, alaşım çeliklerinde, takım çeliklerinde, kompozit malzemelerde ve plastikler gibi birçok farklı malzemeye de uygulanmaktadır (Gill ve Singh, 2013; Pande ve ark., 2012; Zhang ve ark., 2009).

Kriyojenik işlem için yaygın olarak kullanılan nitrojen (azot), dünyanın atmosferinde büyük oranda bulunan (%78) bir gazdır. Bu yüzden, kullanımı ve edinilmesi oldukça yaygındır. Nitrojen gazı renksiz, tatsız ve kokusuz bir gazdır. Erime noktası yaklaşık olarak -210°C ve kaynama noktası ise yaklaşık olarak -196°C olan bir gazdır (Candane ve ark., 2013a).

Kriyojenik işlem, bilgisayar yazılımı kontrollü cihazlar yardımı ile kapalı bir alan içerisine soğutma gazı olan nitrojenin verilmesi şeklinde ya da sıvı nitrojen (LN2)

havuzunun içerisine doğrudan daldırılarak yapılmaktadır. Kriyojenik işlem uygulanacak olan kesici takımlarda meydana gelebilecek ani soğutma ve ısınma kaynaklı mikro yapıdaki çatlakların ve şokların önlenmesi amacıyla soğutma ve ısıtma işlemleri kademeli olarak (°C/dk) yapılmaktadır (Candane ve ark., 2013a, 2013b). Kriyojenik işlem uygulanacak olan kesici takımdan en yüksek performansın elde edilmesi için yapılacak olan kriyojenik işlem ısısının, soğutma hızının ve bekleme süresinin kesici takımın malzemesine göre seçilmesi gerekmektedir (Baldissera ve Delprete, 2008; Murthy ve Krishna, 2010).

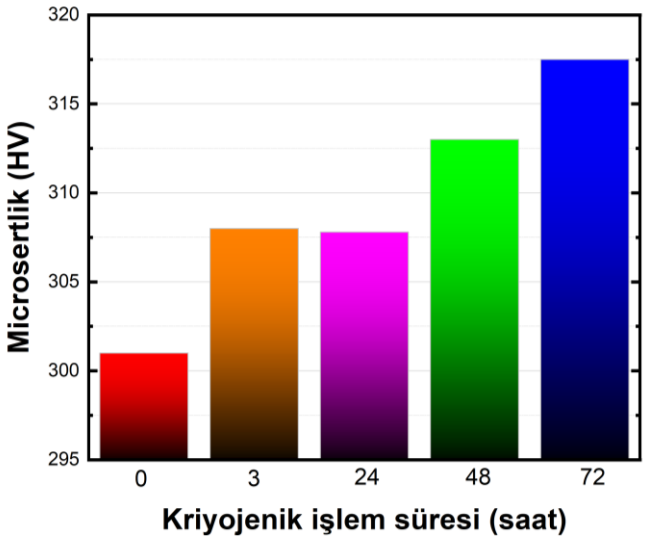
1.7.1. Kriyojenik işlem soğutma hızı

Kriyojenik işlem yapılacak olan kesici takımlara, uygulanacak olan soğutma hızı ile ilgili olarak iki farklı yaklaşım göz önünde bulundurularak işlem yapılmaktadır. Birinci yaklaşım, kesici takım malzemesinde meydana gelen termal şoktur. Bu yaklaşım ile yapılan kriyojenik işlemlerde, kesici takımlar belirlenen sıcaklık değerlerine hızlı bir şekilde getirilmektedir. Bu işlemde genel olarak kesici takımlar doğrudan sıvı azot dolu banyoya doğrudan daldırılarak işlem yapılmaktadır. İkinci yaklaşımda ise kesici takımlar kademeli olacak şekilde belirlenen sıcaklık değerlerine getirilmektedir (Akıncıoğlu, 2015; Singh ve Singh, 2012). Literatürde bulunan çalışmalardan, birinci yaklaşım kullanılarak yapılan kriyojenik işlemin kesici takımların yapılarında termal şoktan dolayı (ani ısı değişikliğine bağlı olarak) mikro çatlakların oluştuğu bilinmektedir (Kalsi ve ark., 2014). Kesici takımlarda meydana gelen bu mikro çatlakların ortadan kaldırılması amacıyla, soğutma ve ısıtma işleminin kademeli olacak şekilde yapılması gerektiği ifade edilmektedir (Gill ve ark., 2011b). HSS kesici takıma sığ ve derin kriyojenik işlem uygulayan Gill (2012), kesici takım mikro yapısında oluşabilecek mikro hasarları önlemek amacıyla 0,5°C/dk soğutma ve ısıtma işlemi uygulamıştır (Gill, 2012). Ayrıca, kriyojenik işlem uygulanan kaplamasız ve PVD kaplamalı olan tungsten karbür kesici takımlarda da 0,5°C/dk soğutma ve 1°C/dk ısıtma hızlarının uygulandığı bilinmektedir (Bal, 2012).

Birinci yaklaşıma göre kesici takımlara uygulanmakta olan termal şok kriyojenik işlemi, işlemin yapılma süresinin ve maliyetinin az olması nedeniyle tercih edilmektedir (Reitz ve Pendray, 2001). Kademeli olarak (ısıtma/soğutma) kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin maliyeti yüksek olmasına rağmen kesici takımlar çok daha iyi performans göstermektedir (Lal ve ark., 2001).

1.7.2. Kriyojenik işlem uygulama süresi

Literatürde bulunan kriyojenik işlem uygulama sürelerine (soaking period) bakıldığında, işlem yapılacak olan malzemenin özelliklerine bağlı olarak 1 (bir) saat ile 72 (yetmiş iki) saat arasında farklı bekletme süreleri bulunmaktadır (Dhokey ve ark., 2014; Gill ve ark., 2010; Kalsi ve ark., 2010). Uygulama süreleri, kriyojenik işlem gören kesici takım malzemelerinde östenitten martenzite dönüşüm, yeni karbürlerin oluşumu ve karbürlerin dağılımı için önemli bir faktördür (Baldissera ve Delprete, 2008). Ayrıca, kriyojenik işlem uygulanacak olan kesici takımlara yapılacak işlemin süresi, maliyetini de etkilediğinden gereken sürenin belirlenmesi oldukça önemlidir (Gill ve ark., 2010). HSS kesici takımlara uygulanan 8, 16 ve 24 saat bekletme sürelerinin bu kesici takım ile yapılan delik delme işlemlerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada, 24 saat bekletme yapılan kesici takımlar ile açılan deliklerin kesme kuvvetlerinin, yüzey pürüzlülüğünün ve aşınma dayanımlarının daha iyi olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışma sonucunda, kriyojenik işlem gören HSS matkap ile açılan deliklerin yüzey pürüzlülüğünün işlem görmeyen HSS matkap ile açılan deliklerin yüzey pürüzlülüğüne göre %35 daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir (Shirbhate ve ark., 2012). Farklı kriyojenik işlem sürelerinin uygulandığı Ti-6Al-4V alaşımında meydana gelen etkileri inceleyen başka bir çalışmada ise malzemenin sertlik değerleri incelenmiştir. Şekil 1.27'de görüldüğü gibi 72 saat bekletmede en yüksek sertlik değerine ulaşılmıştır (Gu ve ark., 2014).

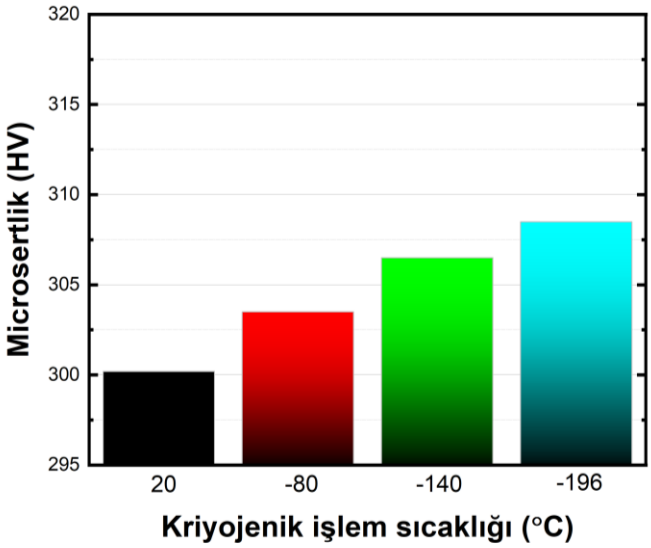


Şekil 1.27. Kriyojenik işlem sürelerinin mikrosertlik değerine etkisi (Gu ve ark., 2014)

Literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde, kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem sonuçları ile çeliklere uygulanan kriyojenik işlem sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu yüzden, kesici takımlara uygulanacak olan kriyojenik işlemlerin etkilerinin anlaşılması için çeliklere uygulanan kriyojenik işlemlerin sonuçlarının incelenerek kıyaslanması faydalı olacaktır. Ayrıca, literatürde bulunan çalışmalarda genel olarak 24 saat bekletme/uygulama süresinin olduğu fark edilmiştir. Kriyojenik işlem uygulanan kesici takımların özelliklerine, imalat türüne ve işlem sürelerine bağlı olarak farklı sonuçlar çıktığını göstermiştir (Candane ve ark., 2013a; Kalsi ve ark., 2014; Murthy ve Krishna, 2010).

1.7.3. Kriyojenik işlem uygulama sıcaklığı

Kriyojenik işlem uygulanan kesici takımların işlem sıcaklığı değerleri takımın özelliklerine göre farklı olmaktadır. Literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde, genel olarak bu sıcaklık değerlerinin -80°C ile -196 °C arasında olduğunu göstermektedir (Poomari ve ark., 2012; Yong ve ark., 2006). Kriyojenik işlem sıcaklığı, uygulanacak olan kesici takımların sertlik, tokluk ve takım aşınması dayanımı gibi özelliklerini etkilemesi nedeniyle dikkat edilmektedir (Shirbhate ve ark., 2012). Bu yüzden, literatürde bulunan birçok çalışmada uygulanan malzemeye göre farklı sıcaklıklarla optimizasyon yapılmıştır. Paslanmaz çelikler üzerindeki bir çalışmada, kriyojenik işlem sıcaklığının kesici takımın aşınma direncine oldukça etkisinin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, kullanılan paslanmaz çelik (SR34) malzemesi için en iyi kriyojenik işlem sıcaklığının -184°C olduğunu bildirmişlerdir (Darwin ve ark., 2008). Başka bir çalışmada, HSS kesici takımına uyguladıkları -196°C sıcaklığındaki derin kriyojenik işlemin kesici takım ömrünü %77 oranında arttırdığını ifade etmişlerdir (Firouzdor ve ark., 2008). Ti-6Ai-4V alaşımına uygulanan farklı kriyojenik işlem sıcaklığının malzemenin mikrosertlik değerine olan etkisini inceleyen başka bir çalışmada, -196°C sıcaklığındaki derin kriyojenik işlem uygulanmasının, Şekil 1.28'de görüldüğü gibi en iyi sertlik değerini sağladığını belirtmişlerdir (Gu ve ark., 2014).



Şekil 1.28. Kriyojenik işlem sıcaklıklarının mikrosertlik değerine etkisi (Gu ve ark., 2014)

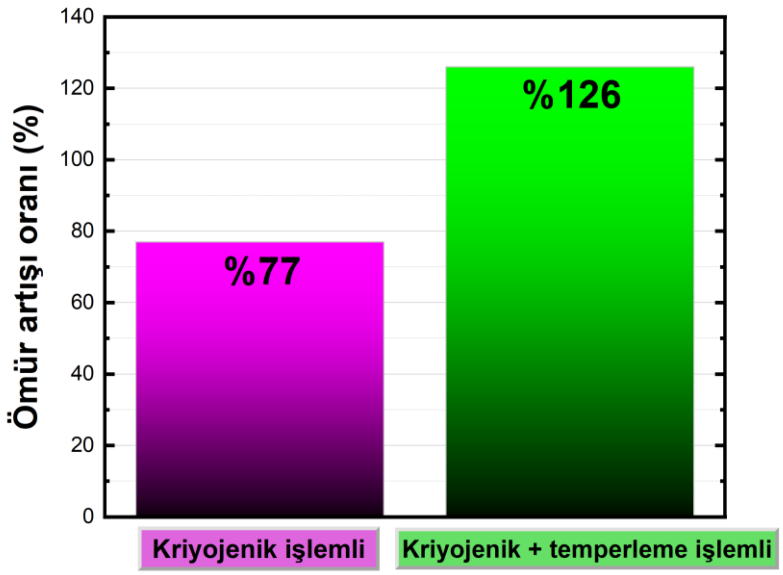
Yapılan çalışmalar, uygulanan kriyojenik işlem sıcaklarının uygulanan malzemeye göre farklı olduğunu göstermiştir. Bu yüzden, uygulanacak malzeme türene göre en uygun sıcaklığın belirlenmesi gerekmektedir (Akıncıoğlu, 2015).

1.7.4. Kriyojenik işlem sonrası temperleme işlemi

Kriyojenik işlem uygulanan kesici takımlara genellikle yapılan işlem sonrası temperleme işlemi uygulanmaktadır (Gill ve ark., 2011a). Kesici takıma uygulanan kriyojenik işlem sırasında meydana gelen iç gerilmelerin giderilebilmesi için temperleme işlemi uygulanmaktadır. Oluşan bu gerilmeler, aşırı soğumadan kaynaklanmaktadır (Gill ve ark., 2011b). Kriyojenik işlem uygulanan kesici takımlar genellikle 150°C ile 200°C sıcaklıklarda 1,5 saat ile 2 saat aralığında bekletilerek temperleme işlemi yapılmaktadır. Literatürde bulunan bazı araştırmalarda, temperleme işleminin ardı ardına birden fazla uygulandığı da görülmektedir (Da Silva ve ark., 2006). Kriyojenik ve temperleme işlemlerinin ilk amacı işlem uygulanan malzemelerde bulunan östenitin martenzite dönüşümünü sağlayarak sertlik artışını yapabilmektir. Diğer bir amaç ise malzeme bünyesinde bulunan karbürlerin hacimce küçük ve homojen dağılımını sağlayarak aşınma direncini yükseltmektir (Çiçek ve ark., 2015; Yong ve ark., 2006). Yapılan çalışmalar ile kriyojenik işlem ve temperleme işlemi döngüsünün takımın en iyi performansını

sağlayacak şekilde en uygun döngü parametrelerinin bulunması amaçlanmaktadır (Yong ve ark., 2006).

Literatürde bulunan bir çalışmada, kesici takıma (HSS) uygulanan kriyojenik işlem ile kesici takım ömrünün %77 oranında, kriyojenik ve temperleme işlemlerinin ardı ardına uygulanması sonrasında ise kesici takım ömrünün %126 oranında arttığını belirtmişlerdir. Şekil 1.29'da, HSS kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem ile kriyojenik ve temperleme işlemlerinin takım ömrüne etkisi gösterilmiştir (Firouzdor ve ark., 2008).



Şekil 1.29. Kriyojenik ve temperleme işlemlerinin takım ömrüne etkisi (Firouzdor ve ark., 2008)

AISI T42 HSS kesici takımlar ile yapılan bir çalışmada, kriyojenik işlem sonrası 2 (iki) defa temperleme işlemi uygulanarak kesici takımın mikroyapısında bulunan ince karbürlerin, daha iyi dağılım sergilediğini belirtmişlerdir (Candane ve ark., 2013c). Günümüzde, kriyojenik işlem uygulamalarının birçok farklı alanda yaygın kullanımı olduğu görülmektedir. Bu nedenle, işlem yapılacak olan kesici takımın türüne göre en uygun kriyojenik ve devamında yapılan temperleme işleminin seçilmesi önem arz etmektedir (Akıncıoğlu, 2015; Gill ve ark., 2012).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Havacılık ve uzay endüstrisi gibi birçok alanda gelişen teknoloji ile birlikte kullanımı artan malzemelerden birisi de kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler, sahip oldukları yüksek mukavemet, hafiflik ve korozyon direnci gibi birçok üstün özellikleri nedeniyle ilgi çekmektedirler. Kompozit malzemeler içerisinde cam elyaf takviyeli kompozitler, kolay ulaşılabilir ve ekonomik olmaları sebebiyle sıkça tercih edilmektedirler (Aydoğuş, 2019; Aydoğuş ve Demirci, 2019; Callister ve Rethwisch, 2014; Sanjay ve ark., 2015). Cam elyaf takviyeli kompozitlerin işlenerek kullanıma hazır hale getirilmesi için imalat yöntemleri arasında en çok tercih edilen ise talaşlı üretim yöntemidir (Callister ve Rethwisch, 2014; Mudhukrishnan ve ark., 2020). Talaşlı üretim yöntemi, düşük maliyeti, ihtiyaçlara uygun yüzey kalitesi ve ölçü hassasiyetinde parça imalatı yapılabilmesi gibi sebeplerden dolayı tercih edilmektedir. Ancak, bu malzemelerin talaşlı üretimi yapılırken dikkat edilmesi geren bazı hususlar bulunmaktadır. Bu hususlar arasında en önemlileri ise işlenecek olan bu malzemeye uygun kesici takımın kolay temin edilebilir ve ekonomik olanının seçilmesi, uygun işleme parametrelerinin belirlenmesi ve kesici takımın performansının iyileştirilmesidir (Akıncıoğlu, 2015; Callister ve Rethwisch, 2014; Khashaba ve El-Keran, 2017; Khashaba ve ark., 2013; Kishore ve ark., 2009). Birçok kesici takım türü bulunmaktadır. Ancak, kolay temin edilebilir ve ekonomik olan kesici takımların başında HSS matkaplar gelmektedir. Bu matkap türlerinin yüksek kullanılabilirliği nedeniyle farklı endüstri alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca, bu matkapların performansları geliştirmeye müsait yapıdadırlar. Bu matkap türünün performansının iyileştirilmesi için yapılan işlemlerden birisi de kriyojenik işlemdir (Erturk ve ark., 2021; Firouzdor ve ark., 2008; Reddy ve ark., 2013; Upputuri ve Nimmagadda, 2020). Bu yüzden, literatür taraması esnasında öncelikle bu matkap türüne uygulanan kriyojenik işlemin delik delme performansına etkileri ve daha sonra ise bu matkap türü ile farklı türdeki matkapların delme işlemi yapılan cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler üzerindeki performansı, işleme parametreleri ve ortaya çıkan sorunlar incelenmiştir.

Periyasamy ve ark. (2021), kriyojenik işlem uyguladıkları HSS matkaplar ve kriyojenik işlem uygulamadıkları HSS matkaplar ile AISI 310 çeliğine delikler açarak, yüzey pürüzlülüğünü, ortalama çap hatasını ve işleme süresini araştırmışlardır. Yapılan Kriyojenik işlemde, oda sıcaklığından -196 °C'ye kadar 2°C/dk hızında soğutma

yapıldığını, 24 saat bekletildiğini ve daha sonra ise oda sıcaklığına kadar yaklaşık 1,5 °C/dk hızında, termal şokları ve deformasyonları önlemek için yavaşça ısıtıldığını belirtmişlerdir. Yaptıkları araştırma sonucunda, kriyojenik işlem görmüş HSS matkap uçlarının, işlenmemiş HSS matkap uçlarına kıyasla yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiğini, çap hatasını en aza indirdiğini ve işleme süresini kısalttığını belirtmişlerdir.

Firouzdor ve ark. (2008), kuru şartlar altında delinecek olan CK40 karbon çeliğinin, derin kriyojenik işlem görmüş HSS matkabının aşınma direnci ve takım ömrüne etkisini araştırmışlardır. Araştırmalarında, HSS matkap takımlarını, -196 °C'ye kadar yavaş yavaş soğutarak 24 saat bekletildiğini, sonra oda sıcaklığına kadar kademeli olarak getirerek kriyojenik işlem uyguladıklarını belirtmişlerdir. Yapılan bu işlem sonrasında ise bir grup takıma 200°C'de 1 saat temperleme uyguladıklarını ifade etmişlerdir. Kriyojenik işlem uygulanan HSS matkaplarını mikroyapısal olarak incelediklerini, yaptıkları incelemede, mikro yapılarında meydana gelen ince ve homojen karbürün dağılımı sayesinde difüzyon aşınma direncinin arttığını belirtmişlerdir. Bu sayede takımın mikro yapısında, östenitin martenzite dönüşmesine imkân verdiğini ifade etmişlerdir. Uygulanan kriyojenik işlemin, takım ömründe %77 ve kriyojenik işlem sonrası bazı takımlara ayrıca uygulanan temperleme işleminin ise takım ömrünü %126 arttırdığını belirtmişlerdir.

Da Silva ve ark. (2006), HSS matkap takımına kriyojenik işlem öncesinde, geleneksel ısıl işlem uygulayarak etkilerini araştırmışlardır. Kriyojenik işlemde, takımı 4 saatte -196 °C'ye kadar getirdikten sonra 20 saat beklendiğini ve daha sonra ise 196 °C'ye kadar sıcaklığı getirerek temperleme yaptıklarını belirtmişlerdir. Kriyojenik ve temperleme işlemini 43 saatte tamamladıklarını, yapılan işlemler sonrasında ise matkapların AISI 8640 çeliğini delme performanslarının arttığını belirtmişlerdir. AISI 8640 çeliğinin delinmesi işleminde, matkap takımının ömrünün %65 ile %343 arasında iyileşme gösterdiğini bildirmişlerdir.

Çiçek, Kıvak, ve ark. (2012), kriyojenik işlem uygulanan HSS ve uygulanmayan HSS matkapları ile AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çeliklerini delerek delme performanslarını incelemişlerdir. Çalışmalarında, kesme kuvvetlerini, talaş oluşumunu, yüzey pürüzlülüğünü, takım aşınmasını ve takım ömrünü değerlendirmişlerdir. Kriyojenik işlem uygulaması için matkapların -196°C'de 24 saat bekletildiğini belirtmişlerdir. Matkaplarda, mikro çatlakların oluşmaması için soğutma ve oda

sıcaklığına getirmeyi kademeli şekilde yaptıklarını ifade etmişlerdir. Kriyojenik işlem sonrasında, mikro yapılarında karbür dağılımın homojen hale geldiği ve karbür oranının yoğunlaştığını belirtmişlerdir. Ayrıca, östenitten martenzite dönüşen mikro yapısının takım sertliğini arttırdığını ifade etmişlerdir. Yapılan delme işlemleri sonucunda, kriyojenik işlem görmüş matkapların, AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çeliklerde, kesme kuvveti, takım aşınması, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü yönünden daha iyi performans gösterdiklerini belirtmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, kriyojenik işlem görmüş matkapların, kriyojenik işlem görmemiş matkaplara göre AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çelikleri delmede, takım ömrü yönünden sırasıyla %32 ve %14 daha yüksek çıktığını bildirmişlerdir.

Ramji ve ark. (2010), kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkabının, gri dökme demirin delinmesi işlemindeki performansını değerlendirmek amacıyla çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada, kriyojenik işlem uygulanmış matkabın, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve tork üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kriyojenik işlemde, HSS matkabı, -178 °C'ye kadar 3 saatte indirilerek 24 saat bekletilmiş ve daha sonra oda sıcaklığına ise 5 saatte getirilmiştir. Ani soğumadan kaynaklı oluşabilecek mikro yapı çatlaklarını engellemek amacıyla yavaş soğuma ve ısıtmanın uygun olduğuna karar vermişlerdir. Yapılan araştırma sonucunda, kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapların, uygulanmamış olanlara göre daha iyi performans gösterdiklerini belirtmişlerdir.

Çiçek, Uygur, ve ark. (2012), HSS matkaplarının bazılarına kriyojenik işlem uygulayarak, AISI 316 paslanmaz çeliğine delme işlemi ile işlenebilirliğini, itme kuvvetlerini, yüzey pürüzlülüklerini ve takım ömürlerini, delik kalitesi bakımından değerlendirmişlerdir. Matkap takımına uygulanan kriyojenik işlemde, oda sıcaklığından -196 °C'ye kadar 1,5°C/dk olarak soğutmanın yapıldığı ve 24 saat beklendikten sonra düşülen sıcaklıktan yine oda sıcaklığına 1,5°C/dk olarak çıkartıldığı belirtilmiştir. Deneysel sonuçlarda, kriyojenik işlem gören matkapların ömürlerinin, işlem görmeyenlere göre %14'ten %218'e kadar daha yüksek çıktığını belirtmişlerdir. İtme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve delik kalitesinin, kriyojenik olarak işlenmemiş matkaplara kıyasla, işlenmiş matkaplarda daha iyi olduğu ifade edilmiştir. Bu iyileşmenin, mikrosertlik ve mikro yapı incelemelerinin de desteklediği gibi, homojen karbür partiküllerinin oluşumuna ve tutulan östenitin martenzite dönüşmesinden kaynaklandığı şeklinde belirtmişlerdir.

Ekici ve Işık (2009), farklı geometrideki matkaplar ile cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin delinmesi sırasında meydana gelen yüzeysel hasarları araştırmışlardır. Deneysel çalışmalarında, kesme ve ilerleme hızı ile takım uç geometrilerini değiştirmişlerdir. Delme işlemleri sonrasında ise deliğin yüzeyinde meydana gelen hasar faktörlerini ölçmüşlerdir. Çalışmaları sonucunda, yüksek kesme hızı ve düşük ilerlemenin hasar faktörünü azalttığını, kesici takımın uç açısının büyümesi ve ağız sayısının artmasıyla hasar faktöründe artışın olduğunu bildirmişlerdir.

Khashaba ve ark. (2010a), farklı çaplardaki karbür matkaplar, farklı ilerleme ve hız şartları ile cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemeye yapılan delme işlemlerinde itme kuvvetlerini ve delaminasyona olan etkisini araştırmışlardır. Araştırmaları sonucunda, cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemede oluşan delamisyonun seçilen farklı kesme şartlarına rağmen engellenemediğini ve itme kuvvetlerinin bu tür malzemeler üzerinde azaltılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Khashaba ve ark. (2010b), daha önce yaptıkları cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemeye yapılan delme işlemlerinin devamında ise matkapta meydana gelen aşınmayı araştırmışlardır. Araştırmaları sonucunda, delme işlemi sırasındaki itme kuvvetinin davranışının, matkap ön aşınmasından büyük ölçüde etkilendiğini ve bu etkinin yüksek kesme hızı ve ilerlemede aşırı hale geldiğini, bunun da delamisyonları ve yüzey pürüzlülüğünü artırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca, taramalı elektron mikroskobu ile yaptıkları delik yüzeylerinin mikro yapı incelemelerinde, cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerinde matris bozulması ve pürüzlülüklerin olduğunu ifade etmişlerdir.

Lin ve Shen (1999), karbür matkaplar ile yaptıkları çalışmada, cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler üzerinde, artan kesme hızının, itme kuvveti, tork, takım aşınması ve delik kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmaları sırasında yaptıkları delme işlemlerinde, kesme hızını 9550 ile 38650 dev/dk olarak literatüre göre daha yüksek tuttuklarını belirtmişlerdir. Araştırmaları sonucunda, takım aşınmasının, yüksek hızlarda, cam elyaf kompozit malzemeler için üstesinden gelinmesi gereken ana problem olduğunu ifade etmişlerdir.

El-Sonbaty ve ark. (2004), cam elyaf takviyeli epoksi kompozitler üzerinde HSS matkaplar ile uyguladıkları delme işlemlerinde, kesme hızı, ilerleme oranı, matkap çapı ve elyaf hacmi oranı parametrelerinin, itme kuvveti, tork ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki

etkilerini araştırmışlardır. Araştırmaları sonucunda, kesme hızının, itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisinin az olduğunu, kesme hızı arttıkça itme kuvveti ve torkun azaldığını, artan ilerleme, matkap boyutu ve elyaf hacminin, itme kuvveti ve torku artırdığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında ayrıca, ilerleme ve matkap çapının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Upputuri ve Nimmagadda (2020), cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelere HSS matkaplar ile delme işlemleri gerçekleştirerek araştırma yapmışlardır. Delme işlemlerinde, itme kuvveti, delaminasyon faktörü ve tork değerlerinin optimizasyonu için Taguchi yöntemini kullandıklarını belirtmişlerdir. Çalışmalarında, tork, itme kuvveti ve delaminasyon faktörü için optimum işlem parametrelerini, ortalama etkili grafikler kullanarak tanımladıklarını ifade etmişlerdir. Varyans analizi sonuçlarının, matkap çapı ve hızının delaminasyon faktöründe daha önemli olduğunu ve matkap çapı ve ilerlemenin tork ve itme kuvveti üzerinde daha fazla katkıda bulunan parametreler olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir.

Ramesh ve ark. (2016), cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemeler üzerinde farklı soğutma metotları (kuru, iç ve dış) kullanarak delme işlemleri uyguladıklarını belirtmişlerdir. Delme işlemleri için kullandıkları matkapların, TiN/TiAlN kaplı tungsten karbür burgulu matkaplar olduklarını ve yapılan delme deneylerinde yüzey yanıt metodunu kullandıklarını belirtmişlerdir. Yaptıkları araştırma sonucunda, cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin matkap ile delinmesinde yüksek delik kalitesi elde etmek için iç soğutma yönteminin önemli olduğunu ifade etmişlerdir.

Wern ve ark. (1993), epoksi kompozit üzerinde delme işlemleri uygulayarak araştırma yaptıklarını belirtmişlerdir. Araştırmalarında, değişen ilerleme oranları ile iki farklı PCD matkap kullanarak delme işlemleri yaptıklarını ve delme işlemi uygulanmış yüzeylerin yüzey pürüzlülüklerini incelediklerini ifade etmişlerdir. Kompozit malzeme üzerinde iki farklı PCD matkap kullanarak yaptıkları delme işlemleri sonucunda, matkap geometrisinin çok önemli bir etken olduğunu ve ilerleme oranının azalması ile birlikte yüzey pürüzlülüğün azaldığını belirtmişlerdir.

Tosun ve Muratoglu (2004), kompozitler üzerinde yaptıkları delik delme işlemlerinde delme performansına matkap tipinin, matkap uç açılarının ve yaşlandırmanın etkisini araştırdıklarını belirtmişlerdir. Araştırmalarında, farklı devir, ilerleme hızları ve uç açıları ile delme işlemleri yaptıklarını, HSS matkapların TiN kaplı ve yekpare karbür

matkaplar olduklarını ifade etmişlerdir. Kompozitler üzerinde yaptıkları delme işlemleri sonucunda, delme işleminin neden olduğu alt yüzey hasarına matkap uç açılarının etkisinin matkap tipine göre değiştiğini belirtmişlerdir.

Monaghan ve O'reilly (1992), metal matrisli kompozitler üzerinde, kaplanmış HSS matkaplar, PCD uçlu matkaplar ve karbür matkaplar ile delme işlemleri gerçekleştirerek, matkap takımı üzerinde meydana gelen kesme kenar aşınmasını, delme torkunu ve kesme kuvvetleri üzerinde matkap takımlarının malzemesinin sertliklerinin etkilerini incelediklerini ifade etmişlerdir. Kompozit malzeme üzerinde yaptıkları delme işlemleri sonucunda, kullanılan takımların sertliklerinin, kesme kenarı aşınması, kesme kuvvetleri ve delme torku üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Mubaraki ve ark. (1995), kompozit malzemeler üzerinde, HSS, PCD ve WC matkaplarını delme işlemi yapmak için kullandıklarını ve kullanılan matkaplar üzerindeki aşınmayı inceledikleri bir araştırma yaptıklarını belirtmişlerdir. Kompozit malzeme üzerinde yaptıkları delme işlemleri sonucunda, WC matkaplarda uç aşınması ve kenar aşınması olduğunu, HSS matkaplarda hem uç hem de yan kenar aşınması oluştuğunu, PCD matkaplarında ise ilk aşamada ufalanmalar oluştuğunu, delme işleminin devamında ise herhangi bir durumun oluşmadığını belirtmişlerdir.

S. Arul ve ark. (2006), elyaf destekli kompozitler üzerinde yaptıkları araştırmayla delik kalitesi üzerinde titreşimli olarak yapılan delme işleminin etkilerini incelediklerini belirtmişlerdir. Bu çalışma sayesinde, kompozitlerin matkap ile delinmesi sırasında en az yan etki meydana getiren ve takım ömrü uzun olan bir teknoloji bulmayı amaçladıklarını ifade etmişlerdir. Araştırmaları sırasında, delme işlemi boyunca besleme istikametindeki malzemeye düşük frekans ve yüksek gerilim vererek yeni bir delme yöntemi üzerinde durduklarını ifade etmişlerdir. Yüksek hız çeliği olan HSS matkaplar kullanarak bir dizi titreşimli delme ve geleneksel delme deneyleri yaparak, delme gücü ile dizilim faktörünü değerlendirdiklerini belirtmişlerdir. Araştırmaları sonucunda, titreşimli delme yönteminin talaş kırmayı kolaylaştırdığını ve itme kuvvetini azaltmakta umut verici bir işleme tekniği olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Barnes ve ark. (1999), karbür matkaplar ile yaptıkları çalışmada, kompozit malzemelerin mikro yapısının delme performansı üzerinde meydana getirdiği etkilerini incelediklerini ve kompozit malzemedeki matrisin ısıl işlem şartlarının izlenebilirliği

üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve oluşan aşınma mekanizmasının ise abrazyon olduğunu ifade etmişlerdir.

Velayudham ve ark. (2005), cam elyaf kompozitler üzerinde karbür matkaplar ile yaptıkları delme deneylerinde, delme işleminin karakteristiğinin değerlendirilmesini ve yüksek hacimli cam elyaf kompozitlerin delinmesi esnasında meydana gelen dinamikleri anlamayı hedeflediklerini belirtmişlerdir. Yaptıkları bu çalışma sonucunda, yüksek hacimli cam elyaf kompozitlerde gevşemenin çok fazla oluşmadığını ve polimerik kompozitlerle ilişki olarak normal delik büzülmelerinin delme işlemi boyunca oluşan titreşimlerle bağlantılı olduklarını gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Ayrıca, tepe delme kuvveti, açılan deliklerin boyutu ve delme sırasında oluşan titreşimin birbiriyle korelasyon gösterdiğini de ifade etmişlerdir.

Khashaba (2004), cam elyaf takviyeli kompozitler üzerinde HSS matkaplar ile delme işlemleri yaparak, itme kuvveti, tork ve delaminasyona delme ve malzeme değişkenlerinin etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmasında, delme değişkenleri olarak kesme hızı ve ilerleme, malzeme değişkeni olarak ise matris tipi, dolgu maddesi ve elyaf şeklini kullanmıştır. Sonuçları, sürekli sargılı kompozitlerin kesme kuvvetleri ve dışarı itme delaminasyon değerlerini yükselttiğini, ayrıca artan kesme hızı ile delaminasyon değerlerinin de arttığını göstermiştir. Buna karşın, dokuma, çapraz sarım ve kıyılmış kompozitlerin delinmesinde kesme hızının arttırılması ve itme kuvvetinin azaltılması sonucunda dışarı itme delaminasyonunun azaldığını belirtmiştir. Sürekli sargılı kompozitin delinmesindeki itme kuvvetlerinin, çapraz sargılı kompozitlerdekinden üç kat daha fazla olduğunu ifade etmiştir. İlaveten, dokuma/polyester kompozitlerin torkunun dokuma/epoksi kompozitlere göre daha yüksek olduğunu bildirmiştir.

Khashaba ve ark. (2013), cam elyaf takviyeli epoksi kompozitler üzerinde karbür matkaplar ile delme işlemleri yaparak, işleme parametrelerinin dışarı atma ve sıyrılma delaminasyonları, yatak mukavemeti ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, yüksek ilerleme hızlarının, itme kuvvetinden bağımsız olarak kompozit laminatı delen bir zımba görevi gördüğünü göstermişlerdir. Kompozit malzemenin düşük termal özelliği ve ayrıca delme işlemi sırasında oluşan ısının matkap ön aşınmasını artırması nedeniyle yüzey pürüzlülüğünün arttığını belirtmişlerdir.

Babu ve Philip (2014), cam elyaf takviyeli kompozitler üzerinde HSS matkaplar ile delme işlemleri yaparak, iş mili hızı ve ilerleme hızının kompozit malzemenin delaminasyon davranışları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmaları, iş mili hızını artırmanın ve ilerleme hızını azaltmanın delaminasyonu azalttığını göstermiştir. Buna karşın, çok yüksek iş mili hızı ve çok düşük ilerleme hızının ise delaminasyonu artırdığını bildirmişlerdir. İlaveten, ilerleme hızının delaminasyon üzerindeki etkisinin iş mili hızından daha önemli bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Tian ve ark. (2019), cam elyaf takviyeli kompozitler üzerinde delme işlemleri yaparak, dış kesme kenarlarının boşluk açıları, iş mili hızı ve ilerleme hızı arasındaki bağlantılarını araştırmışlardır. Kompozit malzemenin delinmesi amacıyla, dış kesme kenarları farklı boşluk açılarına sahip kandil tipi matkaplar kullanmışlardır. Çıkış delaminasyonunun, kesme kuvveti, itme kuvveti ve sıcaklık parametrelerinin birleşimlerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ayrıca, dış kesici kenarın boşluk açısı artırıldığında, matkapların ısı üretme kabiliyetinin kademeli olarak azaldığını bildirmişlerdir.

Mudhukrishnan ve ark. (2020), özel olarak ürettikleri cam elyaf takviyeli kompozitler üzerinde delme işlemleri yaparak, talaşlı imalattaki performansını incelemişlerdir. Delme çalışmaları için, HSS matkaplar ile farklı tipteki karbür matkapları kullanmışlardır. Kompozit malzemenin delme işlemleri için ise farklı matkap mili hızlarını ve ilerleme hızlarını parametreler olarak uygulamışlardır. Çalışmaları, yüksek ilerleme hızının termal yumuşama meydana getirdiğini göstermiştir. Ayrıca, mil hızı ve itme kuvvetinin artmasına bağlı olarak matkap uçlarındaki aşınmanın arttığını bildirmişlerdir.

Giasin ve ark. (2021), cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemeler üzerinde, soğutmasız ve sıvı nitrojen banyosunda kriyojenik soğutmalı olarak delme işlemleri yapmışlardır. Çalışmalarında, delme parametrelerinin ve kriyojenik soğutmanın kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, sertlik ve delaminasyon faktörüne etkilerini araştırmışlardır. Kompozit malzemenin delme işlemleri esnasında, soğutmalı kesme işlemlerini kriyojenik bir banyo içinde yapmışlardır. Çalışmaları, kriyojenik soğutma ve iş mili hızının kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüklerini önemli değerlerde etkilediğini göstermiştir. Ayrıca, kriyojenik soğutmanın, deliklerin giriş ve çıkış taraflarındaki delaminasyonun boyutunu ve sertliğini arttırdığını bildirmişlerdir.

Khashaba ve ark. (2021), cam elyaf takviyeli kompozitler üzerinde karbür matkaplar ile yaptıkları delme işlemleri sırasında delme parametrelerinin delaminasyon ve termal-mekanik özelliklere etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, farklı matkap uç açıları, ilerleme hızları, mil hızları ve numune kalınlığı parametrelerini kullanmışlardır. İlaveten, matkabın dahili soğutma sıvısı delikleri bölgesine yerleştirilmiş iki K-termokupl ve ayrıca termal kızılötesi bir kamera ile delme sırasında oluşan ısıdan etkilenen bölgenin sıcaklıklarını ölçmüşlerdir. Çalışmalarının sonuçları, itme kuvvetinin en çok ilerleme hızından etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca, matkap uç açısının ve ilerleme hızının artışına bağlı olarak dışarı itme delaminasyonunun önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. Oluşan sıcaklıkları en çok etkileyen parametrelerin ise sırasıyla numune kalınlığı, iş mili hızı, ilerleme hızı ve uç açısı olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Erturk ve ark. (2021), cam elyaf takviyeli epoksi kompozitin delinmesine sıcaklığın etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, farklı ilerleme hızları, mil hızları ve matkap uçları parametrelerini kullanmışlardır. İlerleme hızının artışına bağlı olarak itme kuvveti ve torkun arttığını bildirmişlerdir. Artan mil hızı ile birlikte malzeme sıcaklığının da arttığını ve bu durumun kesici ağızları olumsuz etkilediğini ifade etmişlerdir. Delme işlemi için kullanılan farklı tür matkaplardan, kullanılan kompozit malzeme için en uygun matkap ucunun HSS-TiN olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 2.1 de, cam elyaf takviyeli kompozitler üzerinde farklı matkaplar ile farklı delme parametrelerinde yapılan delik delme işlemlerinin bazı literatür özetleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Cam elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesi ile ilgili bazı literatür özetleri

SN	Matkap ucu bilgisi	Delme Parametreleri	Sonuçlar
1	8 mm çapında HSS matkaplar	455, 875, 1850 (dev/dk) 0.03, 0.08, 0.15, 0.23, 0.3 (mm/dev)	Çalışmasında, artan kesme hızı ile delaminasyon değerlerinin arttığını, kesme hızının arttırılması ve itme kuvvetinin azaltılması sonucunda dışarı itme delaminasyonunun azaldığını, ayrıca dokuma/polyester kompozitlerin torkunun dokuma/epoksi kompozitlere göre daha yüksek olduğunu belirtmiştir (Khashaba, 2004).
2	8 mm çapında karbür matkaplar	1000, 1500, 2000, 2500 (dev/dk) 100, 200, 300, 400 (mm/dk)	Çalışmalarında, ilerleme hızının iş mili hızından daha etkili olduğunu, yüksek iş mili hızında ve düşük ilerleme hızında daha iyi sonuçlar elde edildiğini bildirmişlerdir (Palanikumar, 2011).
3	10 mm çapında karbür matkaplar	0.02, 0.03, 0.04, 0.05 (mm/dev) 500, 1000, 1500, 2000, 14000, 16500 19000 (dev/dk)	Çalışmaları, kaliteli delikler elde etmek için itme kuvveti ve torkun azaltılması gerektiğini göstermiştir. Ayrıca, yüksek iş mili hızında kesme kuvvetinin daha az olduğunu, ayrıca delaminasyon için çok yönlü matkabın daha iyi olduğunu bulmuşlardır (Krishnaraj, 2008).

4	6.5 mm çapında kobalt kaplı HSS matkap	16.3, 32.7, 65.3 (m/dk) 0.025, 0.05, 0.075, 0.1 (mm/dev)	Çalışmaları sonucunda, artan ilerleme hızı ile itme kuvveti, tork ve delaminasyon faktörünün arttığını, yüksek tork değerlerinin delaminasyon faktörünü artırdığını ve ayrıca düşük hızlarda delmenin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir (Khashaba ve El-Keran, 2017).
5	6, 8 ve 10 mm çapında karbür matkaplar	500, 1500, 2500 (dev/dk) 100, 300, 500 (mm/dk)	Çalışmada, iş mili hızının artmasının itme kuvvetini azalttığını, ilerleme hızının artmasının ise itme kuvvetini artırdığını, ilerleme hızı ve matkap çapının kompozitlerin delinmesinde itme kuvvetini etkileyen faktörler olduğunu bulmuşlardır (Latha ve ark., 2011).
6	4, 6 ve 8 mm çapında karbür matkaplar	750, 1500, 2250 (dev/dk) 10, 15, 20 (mm/dk)	Çalışmaları sonucunda, kesme hızının ilerlemeye oranının delinme kaynaklı hasarı etkileyen önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir (Singh ve Bhatnagar, 2006).
7	7 mm çapında HSS matkaplar	0.03, 0.05, 0.07 (mm/dev) 9550, 24100, 38650 (dev/dk)	Çalışmalarında, kesme hızı arttıkça matkabın çok daha hızlı aşındığını, ayrıca itme kuvvetinin, ilerleme hızı, kesme hızı, açılan delik sayısı ve matkap geometrisinden etkilendiğini bulmuşlardır (Lin ve Shen, 1999).
8	6 mm çapında HSS matkaplar	0.04 (mm/dev), 630 (dev/dk), F= 220 Hz	Yaptıkları titreşimli delme işlemleri sonucunda, itme kuvveti artışında hasarın da arttığını, delik sayısı arttıkça tork ve güç değerinin de arttığını belirtmişlerdir (Ramkumar ve ark., 2004).
9	8 mm çapında karbür matkaplar	50, 70, 90 (m/dk) 0.06, 0.12, 0.18 (mm/dev)	Çalışmaları sonucunda, kesme hızının artışıyla hem delik girişinde hem de çıkışında delaminasyon faktörünün azaldığını, ilerleme hızının artışıyla delik çıkışındaki delaminasyon faktörünün arttığını, delik girişinde ise delaminasyon faktörünün azaldığını, ayrıca özellikle takımlarda serbest yüzey aşınması meydana geldiğini bildirmişlerdir (Işık ve Ekici, 2010).
10	5 mm çapında HSS matkaplar	50, 80, 110 (mm/dk), 355, 710, 1000 (dev/dk) A= 5, 10, 15 µm	Çalışmalarında, artan titreşim genliğinin, itme kuvveti ve delaminasyon hasarına önemli ölçüde zarar verebileceğini, ultrasonik titreşimlerin uygulanmasının, itme kuvvetini ve delme kaynaklı delaminasyonu yüzde 50'ye kadar azaltabileceğini ifade etmişlerdir (Mehbudi ve ark., 2013).
11	6 mm çapında, TiN kaplı HSS, HSS ve karbür matkaplar	9.43, 18.85, 23.56, 30.16 (m/dk) 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 (mm/dev)	Çalışmalarında, itme kuvvetinin ilerleme hızının artışına bağlı olarak arttığını, itme kuvvetindeki herhangi bir değişikliğin, delaminasyon, matkap talaşı ve kesici takımın aşınmasını etkilediğini, delik sayısı arttıkça matkaptaki aşınmanın da arttığını bulmuşlardır (S Arul ve ark., 2006).
12	7 mm çapında HSS matkaplar	5, 10, 15, 20, 25 (m/dk) 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 (mm/dev)	Çalışmalarında, delaminasyonun artan kesme hızı ve ilerleme hızı ile arttığını, delaminasyon için en iyi sonuçların daha düşük kesme hızı ve ilerleme oranlarında elde edildiğini, açılan deliklerde minimum hasar için daha düşük bir ilerleme hızında delinmesi gerektiğini, matkabın uç açısının delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır (Kilickap, 2010).
13	3, 6, 10 ve 12 mm çapında karbür matkaplar	600, 900, 1200, 1500 (dev/dk) 50, 75, 100, 125, 150 (mm/dk)	Çalışmalarında, numune kalınlığı ve kesme hızının delaminasyon üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, numune kalınlığı ve ilerlemenin aşağı itme delaminasyonu üzerinde de dikkate değer etkileri olduğunu bulmuşlardır (Mohan ve ark., 2007).
14	6 mm çapında HSS matkaplar	375, 938, 1500 (dev/dk) 0.075, 0.188, 0.300 (mm/dev)	Çalışmalarında, itme kuvvetinin ilerleme hızına bağlı olduğunu, uç açısının, ilerleme hızının ve bunların etkileşimlerinin delme kuvvetlerini

			önemli ölçüde etkilediğini bildirmişlerdir (Singh ve ark., 2008).
15	12 mm çapında seramik kaplı matkaplar	600, 900, 1200, 1600 (dev/dk) 0.04, 0.08, 0.12, 0.16 (mm/dev)	Çalışmalarında, ilerleme hızının, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon üzerinde, kesme hızının etkisinin üç katından fazla olduğunu bulmuşlardır (Ranganathan ve ark., 2012).
16	5 mm çapında, karbür matkaplar	55, 71, 86 (m/dk) 0.05, 0.1, 0.2 (mm/dev)	Çalışmalarında, özel kesme basıncının, ilerleme hızı ve kesme hızıyla biraz azaldığını, itme kuvvetinin ilerleme hızıyla arttığını, kompozit malzemedeki delaminasyonların yüksek kesme hızı ve yüksek ilerleme hızında daha büyük olduğunu, yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızıyla arttığını ve kesme hızıyla azaldığını bildirmişlerdir (Davim, Reis, ve Antonio, 2004).

Yapılan literatür araştırması sonucunda, kesici takım olan matkaplara uygulanan kriyojenik ve temperleme işlemlerinin olumlu etkilerinin olduğu, delik açılması için işlenen farklı malzemeler üzerinde delik kalitesi bakımından faydaları olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, cam elyaf (fiber) takviyeli kompozit malzemeler üzerinde geleneksel matkaplar ile yapılan delik açma işlemlerinde, delik kalitesinin istenilen kaliteye ulaşamadığı anlaşılmıştır.

Bu tez çalışmasında, günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılan fiber takviyeli cam-epoksi kompozit malzemesi üzerinde, kriyojenik ve temperleme işlemi uygulanan ve uygulanmayan, özel olarak tasarlanan matkap uçları ile delme işlemleri yapılarak, kesici takımların performansı ile kompozit iş parçasında açılan deliklerin kalitesi ve kompozit iş parçasının mekanik özellikleri incelenmiştir.

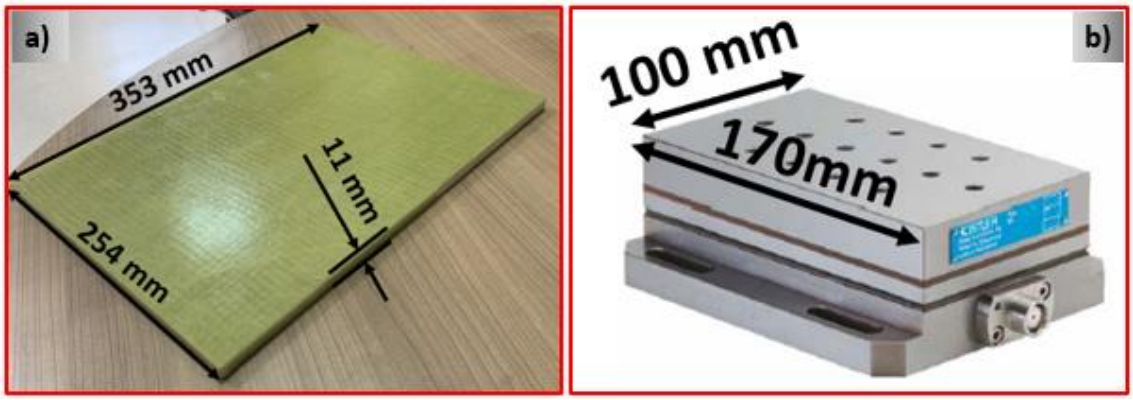
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasının bu bölümünde, deneylerde işlenecek olan kompozit iş parçası, matkapların bilenmesi öncesi numaralandırma işlemi için lazer yazıcı, sertlik ölçme cihazı, delik delme işlemleri için kullanılacak olan özel üretim kesici takım matkapların üretimi, iş parçasının işlenmesi için belirlenen parametreler, delik delme için deney düzeneği, kriyojenik ve temperleme işlemi yapan cihaz, CNC dik işleme merkezi, deneyler sırasındaki sıcaklık ölçümleri için termal kamera, kesme kuvvetlerini ölçüm cihazı, yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı, delaminasyon faktörü ölçümü için kullanılan cihaz ve yazılım, hassas kesme cihazı, matkapların kesici ağızları ile iş parçasındaki delikler ve çıkan talaşların incelenmesi için kullanılan görüntüleme cihazları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

3.1. İş Parçası Malzemesi

Yapılan bu tez çalışmasında, deney malzemesi olarak, günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılan Fiber (elyaf) Takviyeli Cam-Epoksi Kompozit (Hgw 2372^{DIN}-Grade G10- EP GC 201) malzemesi, İzoreel firmasından temin edilmiştir. İş parçası olarak kullanılan bu kompozit malzeme elle yayma (hand layup) yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Kompozit iş parçasının takviye açıları 0°/90° şeklindedir. Üretim aşamasında cam elyaf katmanların arasına epoksi reçine sürülerek imal edilmiştir. Birim m^2'de 100 gr olacak şekilde cam elyaflar kullanılmıştır. Kullanılan cam elyafların oranı yaklaşık olarak %65 ile %70 arasındadır. Matris malzemesi olarak epoksi CY225 ve sertleştirici olarak ise HY225 birbiri içine karıştırılarak kullanılmıştır. Karıştırma olarak ise 80 gr HY225 sertleştirici ile 100 gr CY225 reçine (80 gr /100 gr) oranı olacak şekildedir. Elde edilen bu karışım daha sonra cam elyaf katmanlarının aralarına sürülmüştür. Elle yayma yöntemi ile hazırlanan bu kompozitler daha sonra 150°C sıcaklık ve 15 MPa basınçtaki fırınlara konularak beklenilmiştir. 3 (üç) saatlik fırınlama (kürleşme) süresi sonrasında oda sıcaklığındaki başka bir yere alınarak soğuması için bekletilmiştir.

Tez çalışmasında kullanılacak olan kompozit iş parçası Şekil 3.1 a'da görüldüğü gibi 353 mm x 254 mm x 11 mm ebatlarında levhadır.



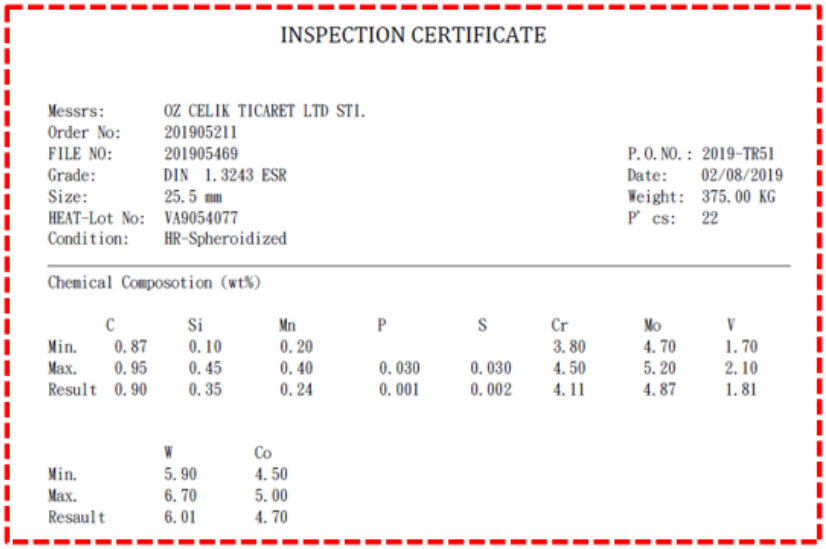
Şekil 3.1. Kompozit iş parçası (a) ve dinamometre (b) ebatları

Çalışmada kullanılan kompozit iş parçası, Şekil 3.1 b'de görüldüğü gibi, ölçümlerin sağlıklı yapılabilmesi amacıyla, dinamometreden dışarı sapmayacak şekilde dinamometrenin ölçüleri olan 170 mm **x** 100 mm ebatlarında testere ile hassas bir şekilde kesildikten sonra 4 (dört) sabitleme deliği açılarak işlenmeye hazır hale getirilmiştir.

3.2. Özel İmal Edilen Kesici Takımların Malzemesi

İş parçası olan kompozit malzemenin delinmesinde kullanılacak olan kesici takımların geometrisi ve kesici takım malzemesinin özellikleri, delaminasyon faktörü, deliğin yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, kesici takım aşınması gibi birçok parametreyi önemli şekilde etkilemektedir. Bu yüzden, seçilen kesici takımların malzemesine ve üretim aşamalarına dikkat edilmiştir (Ekici, 2009; Kıvak, 2007; Motorcu ve ark., 2020).

Çalışmada kullanılan yüksek hız çeliği (HSS, High Speed Steel) malzemesinden çelikler, Şekil 3.2'de belirtilen özelliklerde olarak Öz Çelik Ticaret Ltd. Şti.'den temin edilmiştir.



INSPECTION CERTIFICATE

Messrs: OZ CELIK TICARET LTD STI.
Order No: 201905211
FILE NO: 201905469
Grade: DIN 1.3243 ESR
Size: 25.5 mm
HEAT-Lot No: VA9054077
Condition: HR-Spheroidized

P.O.NO.: 2019-TR51
Date: 02/08/2019
Weight: 375.00 KG
P' cs: 22

Chemical Composotion (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
Min.	0.87	0.10	0.20			3.80	4.70	1.70
Max.	0.95	0.45	0.40	0.030	0.030	4.50	5.20	2.10
Result	0.90	0.35	0.24	0.001	0.002	4.11	4.87	1.81

	W	Co
Min.	5.90	4.50
Max.	6.70	5.00
Resault	6.01	4.70

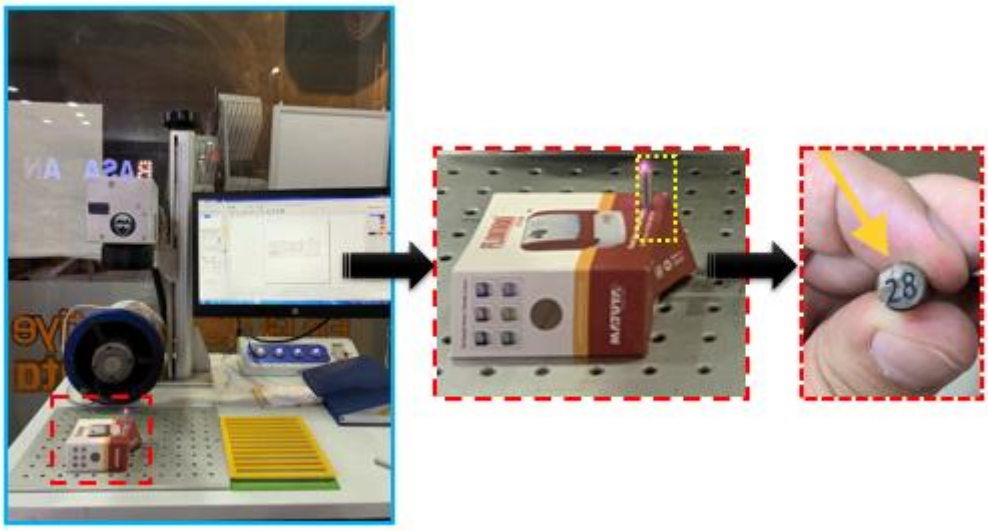
Şekil 3.2. HSS matkap malzemesinin muayene sertifikası

Temin edinilen Ø8 mm çapındaki HSS çelik malzemeler daha sonra 61 mm uzunluğunda olacak şekilde Şekil 3.3'te görüldüğü gibi testere cihazı ile kesilmiştir.



Şekil 3.3. HSS çeliklerin kesilmesi

HSS çeliklerin kesilmesinden sonra ise matkapların geometrilerinin oluşturulması amacıyla yapılacak olan bileme işlemleri sırasında karışmamaları amacıyla dip kısımlarına Şekil 3.4'te görüldüğü gibi, Başaran Matbaa isimli firmadaki Superscan marka Lazer cihazı ile 0,5 mm derinliğinde ve 1 ile 60 arasında sayılar yazdırılmıştır. Üzerine lazerle sayı yazdırılan bu matkaplardan 1-54 arasındakiler delme deneyleri için 55-60 arasındakiler ise aşınma deneyleri için kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Lazer sayı yazım cihazı

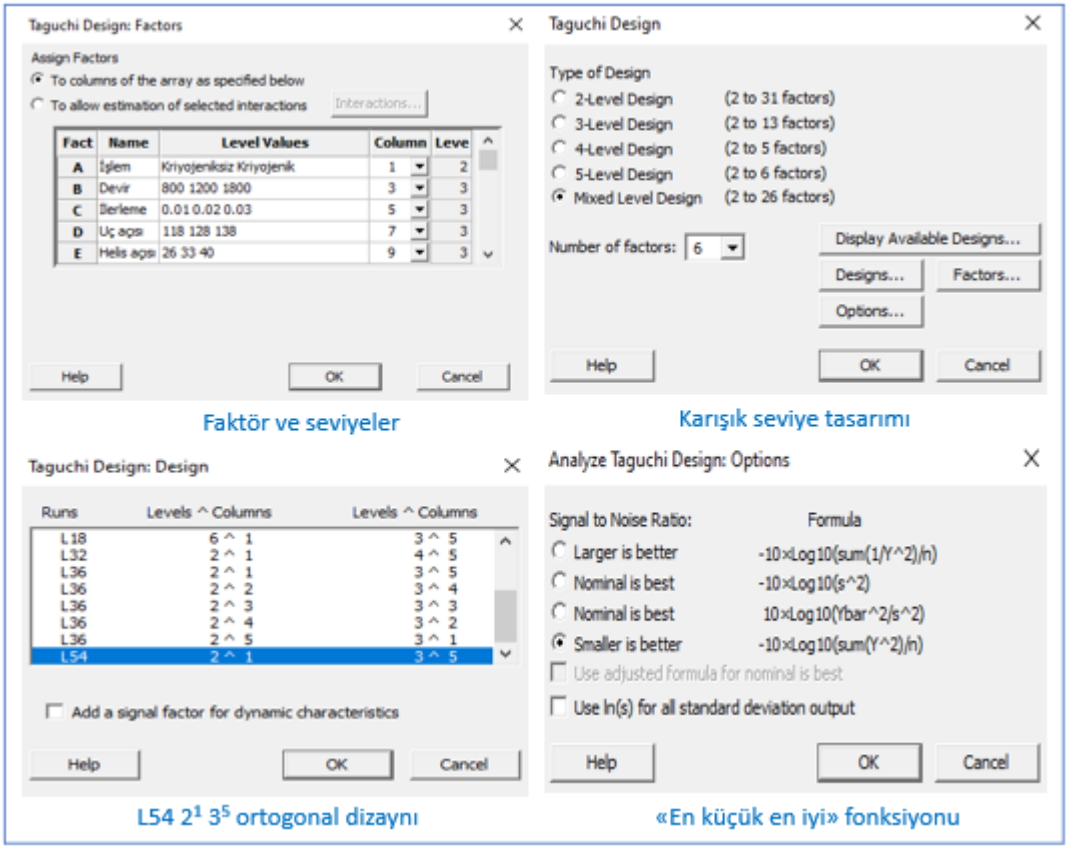
3.3. Taguchi Yönteminin Tez Çalışmasında Kullanımı

Günümüzde, gelişen teknoloji sayesinde, maliyet-etkin çözümler bulmak amacıyla, birçok optimizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Kullanılan bu optimizasyon teknikleri arasında en yaygın ve etkili olanlardan birisi de Taguchi yöntemidir. Taguchi optimizasyon tekniği, uygun maliyetli bir yolla yapılacak olan deney sayısını azaltarak, istenilen en optimum çözümün bulunmasını sağlamaktadır (Montgomery, 2017; Ross, 1996; Taguchi, 1987).

Bu tez çalışmasında, Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'den de anlaşılacağı gibi, normalde 486 adet deney yapılması gerekirken, Taguchi optimizasyon yöntemi sayesinde (2^1 3^5, L54 Orthogonal array) 54 adet yapılan deney ile istenilen sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışmada, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri ve delaminasyon faktörlerinin en az olması istendiğinden, "En Küçük Değer En İyi" (Smaller is Better) fonksiyonu analiz dizaynı için kullanılmıştır (Güven-önem, 95-5).

Smaller is better: $$S/N = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right) \quad (1)$$

Şekil 3.5'te görüldüğü gibi, en küçük en iyi fonksiyonu, karışık seviye tasarımında, L54 (2^1 3^5) ortogonal düzenine göre Tablo 3.1'deki faktör ve seviyelerde Minitab programı kullanılarak Taguchi analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.5. Taguchi dizaynının Minitab programındaki görüntüleri

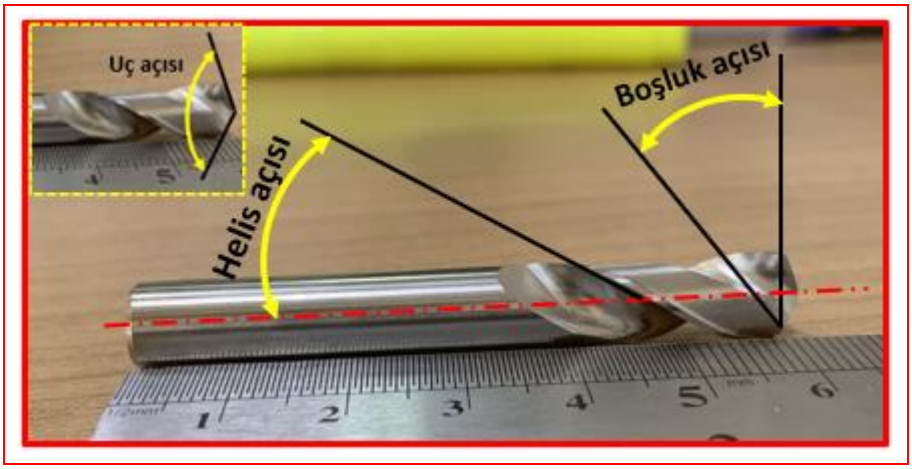
Tablo 3.1'de, Taguchi L54 ortogonal dizilime göre hazırlanan deney düzeni gösterilmiştir. Belirtilen bu tabloya göre matkaplara uygulanacak işlemler ve matkapların geometrileri belirlenmiştir. Tablo 3.1'de belirtilen kriyojenik işlem adı, kesici takımlara uygulanan kriyojenik ve temperleme işlemini ifade etmektedir.

Tablo 3.1. Taguchi L54 ortogonal dizilime göre deney düzeni

SN	Yapılan İşlem	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dev)	Uç açısı (°)	Helis açısı (°)	Boşluk açısı (°)
1	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	26	8
2	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	33	10
3	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	40	12
4	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	26	8
5	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	33	10
6	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	40	12
7	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	26	8
8	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	33	10
9	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	40	12
10	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	26	10
11	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	33	12
12	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	40	8
13	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	26	10
14	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	33	12
15	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	40	8
16	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	26	10
17	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	33	12
18	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	40	8
19	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	26	8
20	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	33	10
21	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	40	12
22	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	26	8
23	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	33	10
24	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	40	12
25	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	26	8
26	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	33	10
27	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	40	12
28	Kriyojenikli	800	0,03	128	26	12
29	Kriyojenikli	800	0,03	128	33	8
30	Kriyojenikli	800	0,03	128	40	10
31	Kriyojenikli	1200	0,01	138	26	12
32	Kriyojenikli	1200	0,01	138	33	8
33	Kriyojenikli	1200	0,01	138	40	10
34	Kriyojenikli	1800	0,02	118	26	12
35	Kriyojenikli	1800	0,02	118	33	8
36	Kriyojenikli	1800	0,02	118	40	10
37	Kriyojenikli	800	0,03	138	26	12
38	Kriyojenikli	800	0,03	138	33	8
39	Kriyojenikli	800	0,03	138	40	10
40	Kriyojenikli	1200	0,01	118	26	12
41	Kriyojenikli	1200	0,01	118	33	8

42	Kriyojenikli	1200	0,01	118	40	10
43	Kriyojenikli	1800	0,02	128	26	12
44	Kriyojenikli	1800	0,02	128	33	8
45	Kriyojenikli	1800	0,02	128	40	10
46	Kriyojenikli	800	0,02	118	26	10
47	Kriyojenikli	800	0,02	118	33	12
48	Kriyojenikli	800	0,02	118	40	8
49	Kriyojenikli	1200	0,03	128	26	10
50	Kriyojenikli	1200	0,03	128	33	12
51	Kriyojenikli	1200	0,03	128	40	8
52	Kriyojenikli	1800	0,01	138	26	10
53	Kriyojenikli	1800	0,01	138	33	12
54	Kriyojenikli	1800	0,01	138	40	8

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi, çalışmada kesici takım olarak kullanılan matkabın geometrik ölçüleri olan uç açısı, helis açısı ve boşluk açısı gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kesici takım matkabın geometrik ölçülerinin isimleri

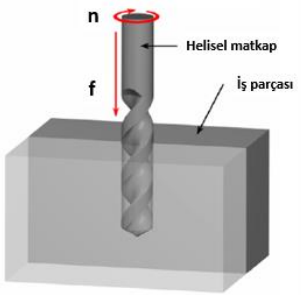
Tablo 3.2'de görüldüğü gibi, çalışmada kesici takım olarak kullanılan HSS matkapların geometrik ölçüleri olan uç açısı, helis açısı ve boşluk açısının seviyeleri gösterilmiştir.

Tablo 3.2. HSS matkapların bileme ölçüleri

Kesici takım görüntüsü	Uç açısı (°)	Helis açısı (°)	Boşluk açısı (°)
	118	26	8
			10
			12
		33	8
			10
			12
		40	8
			10
			12
	128	26	8
			10
			12
		33	8
			10
			12
		40	8
			10
			12
	138	26	8
			10
			12
		33	8
			10
			12
		40	8
			10
			12

Tablo 3.3'te görüldüğü gibi, kompozit iş parçası üzerinde açılacak olan delikler için CNC dik işleme tezgahında uygulanacak olan devir sayısı ve ilerleme miktarının seviyeleri verilmiştir.

Tablo 3.3. Kompozit iş parçasının delinmesinde uygulanan parametreler ve seviyeleri

	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dev)
 Resim: Patel ve Verma, 2015	800	0,01
		0,02
		0,03
	1200	0,01
		0,02
		0,03
	1800	0,01
		0,02
		0,03

3.4. Kesici Takım Parametrelerinin Belirlenmesi

Kesici takımların üretilmesi aşamasının öncesinde, Taguchi deney dizaynına göre Tablo 3.1'de belirtildiği şekilde 54 adet tekli delme deneyleri için matkabın geometrik parametreleri ve uygulanacak olan işlemler belirlenerek matkaplar ürettirilmişti. Ancak, kesici takımlarda meydana gelecek aşınma değerlerinin tekli deneylerde az olacağının bilinmesi nedeniyle aşınma deneyleri için başka matkaplarda ürettirilmiştir.

3.4.1. Aşınma deneyleri için kesici takım parametrelerinin belirlenmesi

Çalışma için 6 (altı) adet kesici takım ise Tablo 3.4'te verilen özelliklerde ve boyutlara göre, art arda yapılan delme deneylerinde, kesici takımda meydana gelecek aşınma deneyleri için özel olarak üretilmiştir. Aşağıda bulunan takım ömrü kısmında, bu parametrelerin nasıl belirlendiği ile ilgili olarak detaylı bilgiler verilmiştir.

Tablo 3.4. Aşınma deneyleri parametre ve seviyeleri

Yapılan İşlem	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dev)	Uç açısı (°)	Helis açısı (°)	Boşluk açısı (°)
Kriyojeniksiz	1800	0,01	118	33	8
Kriyojenik	1800	0,01	118	33	8
Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	26	10
Kriyojenik	1800	0,01	128	26	10
Kriyojeniksiz	1800	0,01	138	40	12
Kriyojenik	1800	0,01	138	40	12

3.5. Kesici takımların İmalatı

Tez çalışması için özel olarak belirlenen parametrelere ve seviyelere uygun olarak, Metakar Cutting Tools isimli özel firmaya ait bilgisayar kontrollü Schneeberger Corvus GDS markalı taşlama makinesi ile kesici takımlar hassas bir şekilde bilenmiştir. Bileme yapan CNC taşlama makinesi, DrillE bileme yazılımı görüntüsü, taşlama aparatları ve bilenen kesici takımların resimleri Şekil 3.7'de verilmiştir.

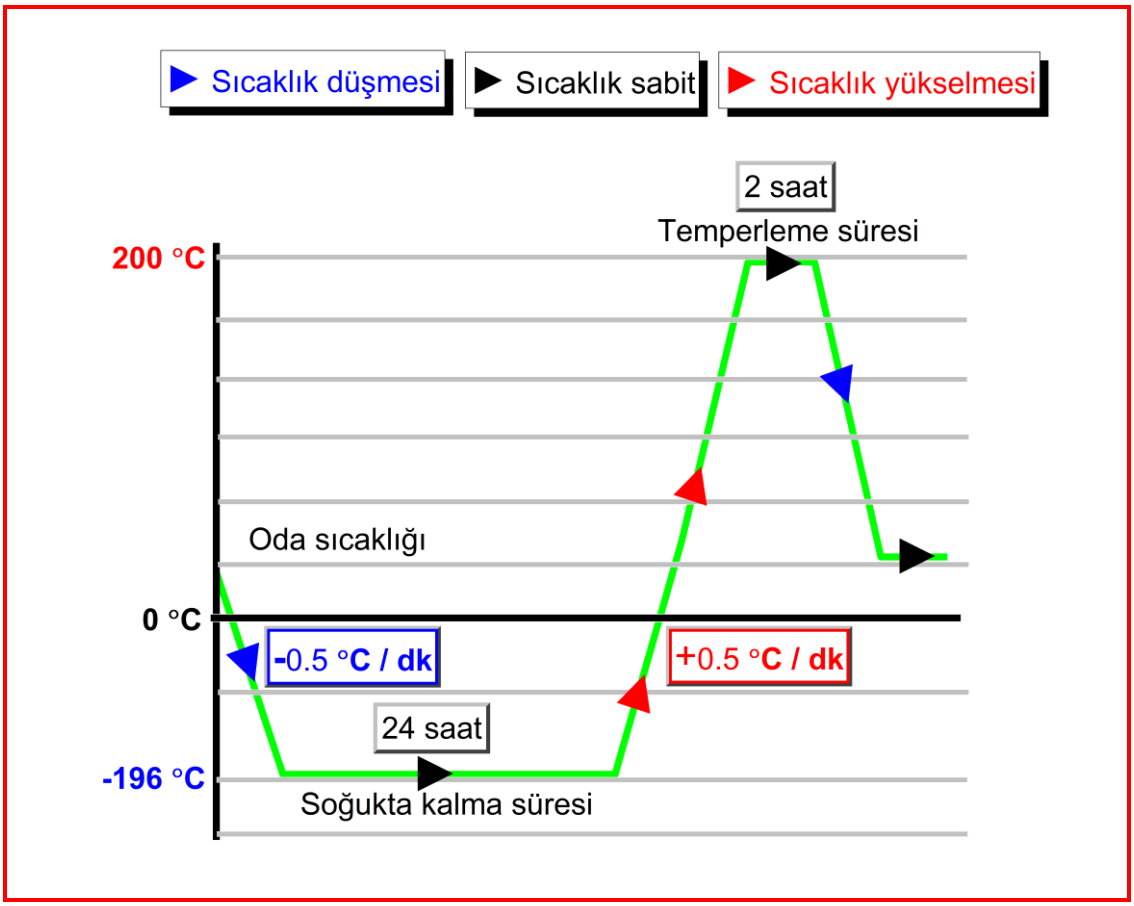


Şekil 3.7. Özel imal edilen matkaplar için kullanılan tezgâh, aparat ve yazılım

3.6. Kesici Takımlara Kriyojenik İşlemin Uygulanması

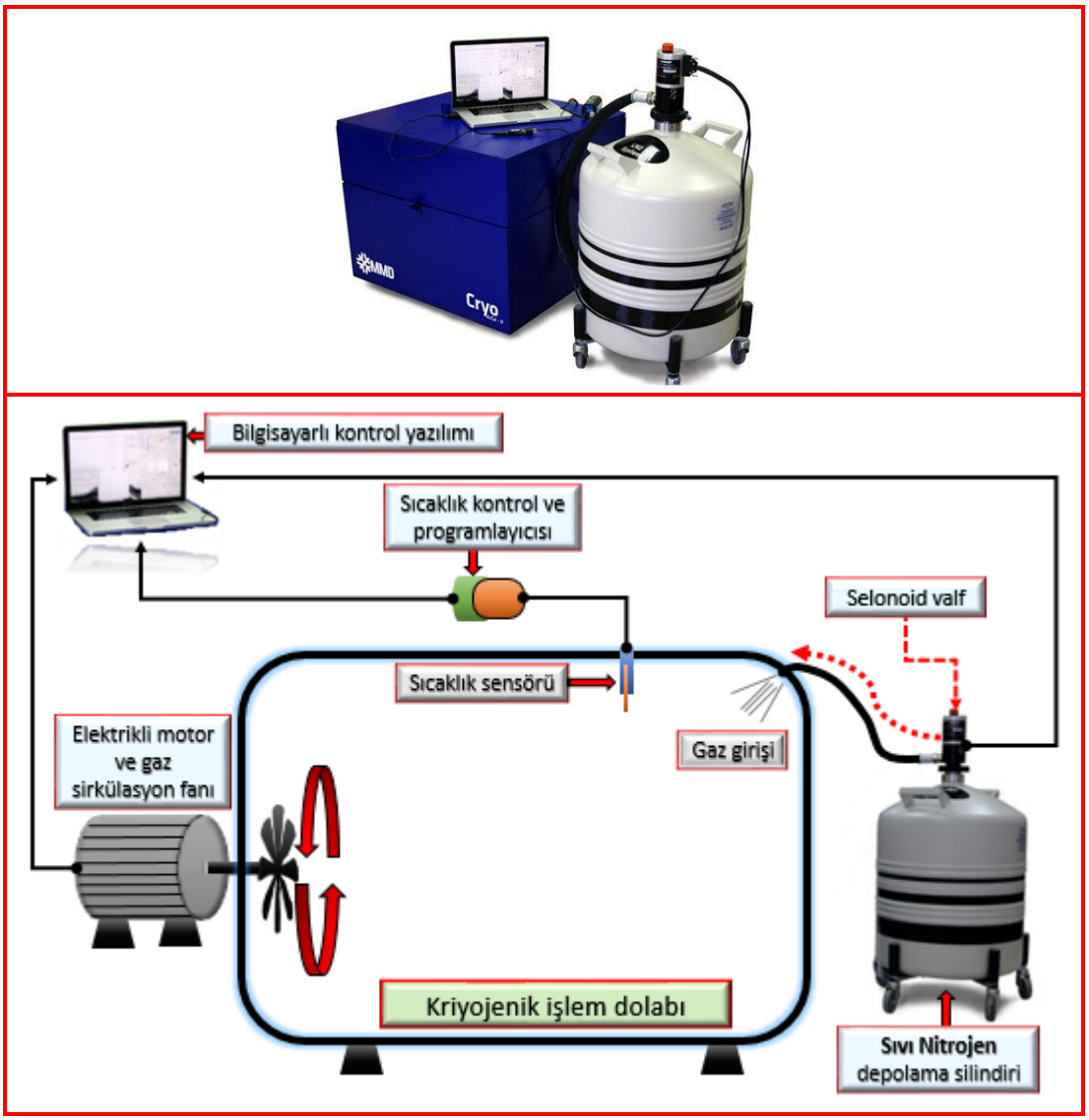
Tablo 3.1'de bulunan 28-54 arasındaki numaralı kesici takımlara ve Tablo 3.4'te belirlenen kesici takımlara MMD Makine Malzeme Teknolojileri Ar-Ge Danışmanlık Mühendislik Hizmetleri San. Tic. Ltd. Şti. tarafından Şekil 3.9'da görülen bilgisayar kontrollü soğutma ve ısıtma yapabilen cihaz ile derin kriyojenik işlem ve temperleme işlemi uygulanmıştır. Literatürde önerildiği şekilde, HSS çelik malzemenin mikro yapısında potansiyel bir hasarın meydana gelmesinin önlenmesi amacıyla, soğutma ve ısıtma işlemleri dakikada 0,5 °C olacak şekilde uygulanmıştır (Akincioğlu ve ark., 2015; Gill, 2012). İşlem sürecinde; oda sıcaklığından, dakikada 0,5°C soğutularak -196°C'ye

indirilerek (yaklaşık olarak 7.2 saatte) bu sıcaklıkta 24 saat bekledikten sonra, gene aynı şekilde dakikada 0,5°C ısıtılarak 200°C sıcaklığa getirilerek (yaklaşık olarak 13,2 saatte) 2 saat bu ısıda bekletilerek temperleme işlemi yapılmıştır. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi, uygulanan kriyojenik ve temperleme işlemlerinin süreçleri verilmiştir.



Şekil 3.8. Kriyojenik işlem süreçleri

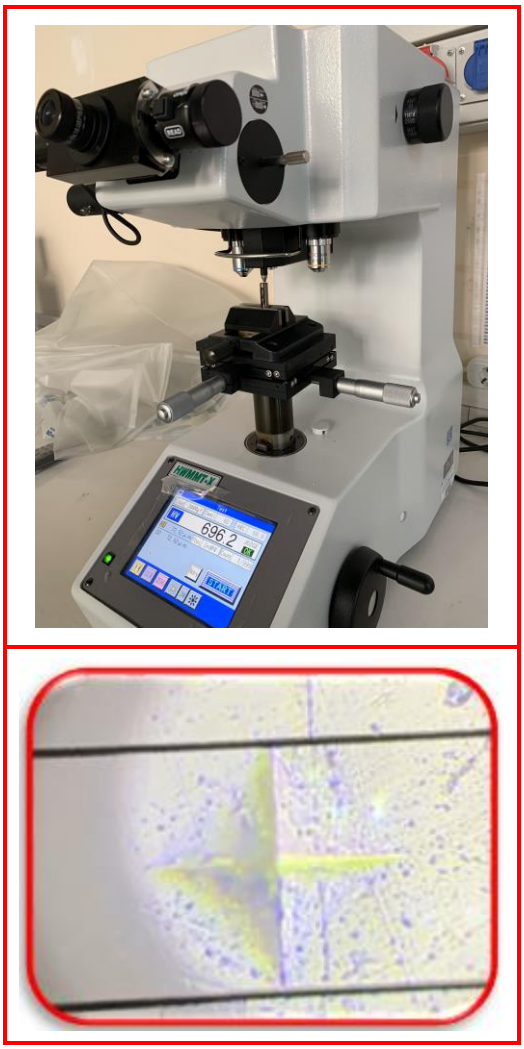
Temperleme işleminden sonra ise yine aynı soğutma hızında oda sıcaklığına getirilerek işlem sona erdirilmiştir. Kriyojenik işlem cihazı ve işlem şeması Şekil 3.9'de gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Kriyojenik işlem cihazı ve işlem şeması

3.7. İş Parçası ve Kesici Takımların Mikrosertliklerinin Ölçülmesi

Tez çalışmasında iş parçası olarak kullanılan kompozit malzeme üzerinde delme işlemlerine başlamadan önce, kompozit malzeme, kriyojenik ve temperleme işlemli ile kriyojenik olmayan matkaplardan 1'er adet numune, Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (YETEM) laboratuvarlarında bulunan TTS Matsuzawa HWMMT-X3 marka mikrosertlik cihazında sertlikleri ölçülmüştür (Şekil 3.10). Sertlik ölçümlerinde, her numunenin farklı yerlerinden 5'er kez ölçme yapılarak aritmetik ortalamaları bulunmuştur. Şekil 3.10'da mikrosertlik ölçüm cihazı ile ölçüm esnasındaki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.10. Mikrosertlik ölçüm cihazı ve ölçüm esnasındaki görüntüsü

3.8. Delme Deneylerinde Termal Kamera ile Sıcaklık Ölçümü

Delme deneyleri sırasında çıkan talaşın ve delme işlemi sonrasında ise matkabın soğumaya kadar olan sıcaklık ölçümleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında bulunan FLIR Systems ThermaCAM™ P25 marka termal kamera ile yapılmıştır. Böylece, çıkan iş parçası talaşının en yüksek sıcaklığı (normal ve kriyojenik işlem görmüş kesici takım ile delinmiş) ile zamana bağlı soğuma sıcaklığı değerleri ölçülmüştür. Yine bu kamera sayesinde delme işlemi bitimindeki matkabın en yüksek sıcaklık değeri ile zamana bağlı soğuma değerleri bulunarak HSS matkap ile kriyojenik işlem görmüş HSS matkabın sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak, deney düzeneği dışında, farklı devir (800, 1200 ve 1800 dev/dk) ve ilerlemelere (0,01, 0,02 ve 0,03 mm/dev) göre talaş ve

matkap ısısı için tekli delmeler yapılarak ölçümler alınmıştır. Bu sıcaklık ölçümleri için kullanılan termal kameraya ait resim Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Termal kamera cihazı

3.9. Delik Delme Deneyleri

Kuru şartlar altında yapılan delik delme deneyleri için Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında bulunan bilgisayar kontrollü Hartford VMC-1020 CNC 4 eksen dik işleme merkezi kullanılmıştır. Delik delme deneyleri için kullanılan CNC dik işleme merkezinin görüntüsü Şekil 3.12'de verilmiştir. Kompozit iş parçası üzerinde yapılan delik delme deneyleri Tablo 3.1'de belirtilen parametre ve seviyelere göre 11 mm kalınlığındaki iş parçalarına 10 mm'ye kadar kör delikler açılarak yapılmıştır. Tablo 3.1'de belirtilen parametre ve seviyelere göre yapılan deneylerde, 54 adet matkabın her biri ile tekli delmeler yapılmıştır.



Şekil 3.12. CNC dik işleme merkezi

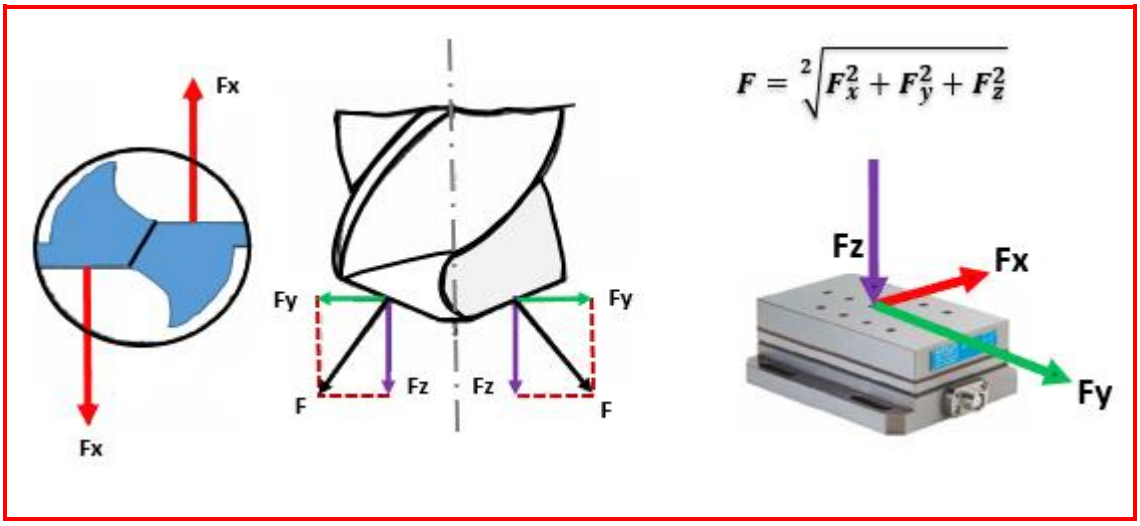
3.10. Kesici Takım Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri için özel olarak imal edilen 3 Adet HSS ve 3 Adet Kriyojenik ve temperleme işlemli HSS matkaplar (toplam 6 adet) ile Tablo 3.4'te belirtilen parametrelere ve seviyelere göre Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında bulunan bilgisayar kontrollü Hartford VMC-1020 CNC 4 eksen dik işleme merkezinde, kompozit iş parçası malzemesinin altına tahta parçalar konularak kuru şartlar altında delme deneyleri yapılmıştır. Aşınma deneylerinde kullanılan her bir matkap ile 46 adet delik açılmıştır (Toplam 276 delik).

3.11. Kesme Kuvvetlerinin Ölçümü

Kesme kuvveti, kesici takım ile iş parçası üzerinde delme işlemleri yaparken, kesici takımın ilerlemesine karşı oluşan tepki kuvvetidir. Kesme kuvvetinin, kesici takımın imalatı için kullanılan malzeme, kesici takım geometrisi, iş mili devri ve uygulanan ilerleme oranı gibi parametrelerden etkilendiği bilinmektedir (S Arul ve ark., 2006; Isbilir ve Ghassemieh, 2013; Jain ve Yang, 1993; Panchagnula ve Palaniyandi, 2018; Tsao ve ark., 2012).

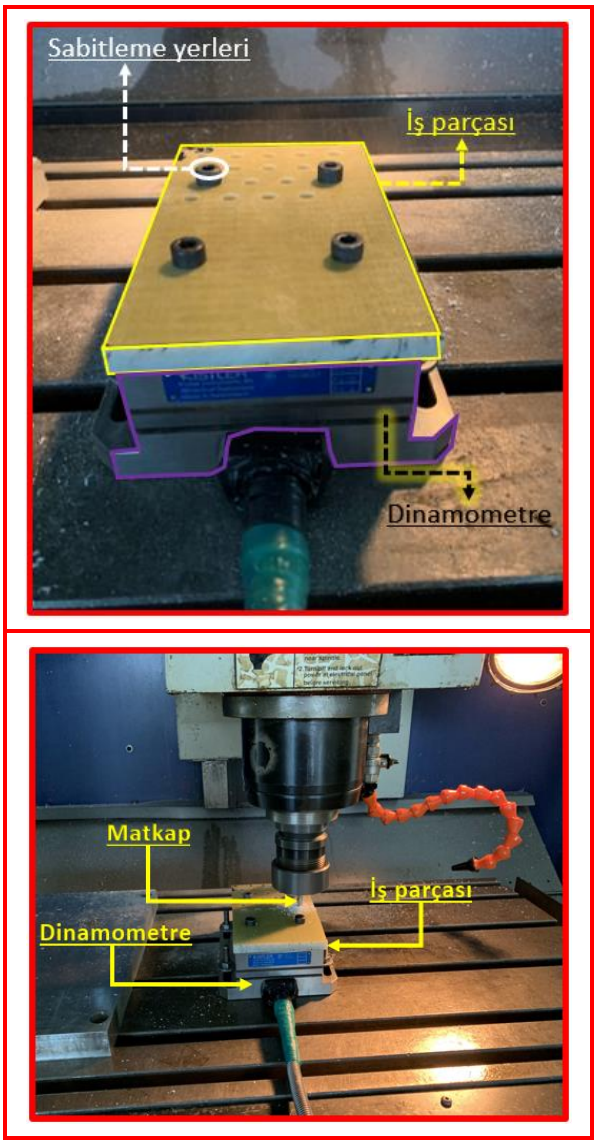
Delme işlemleri sırasında, kesici takım matkabın bir ağzı dikkate alındığında, Şekil 3.13'te gösterilmiş olduğu gibi, kesme kuvveti (**Fx**), radyal kuvveti (**Fy**) ve ilerleme kuvveti (**Fz**) meydana gelmektedir. Kesici ağızlarda meydana gelen kuvvetlerden olan radyal kuvvetler, kesici ucun konumu sebebiyle birbirlerini dengelemektedirler. Belirtilen bu sebepten dolayı Fx ve Fz kuvvetleri etkili olmaktadırlar (Bayraktar ve Demir, 2017; Kıvak, 2007).



Şekil 3.13. Matkabı etkileyen kuvvetler (Kıvak, 2007; Yenigün, 2018)

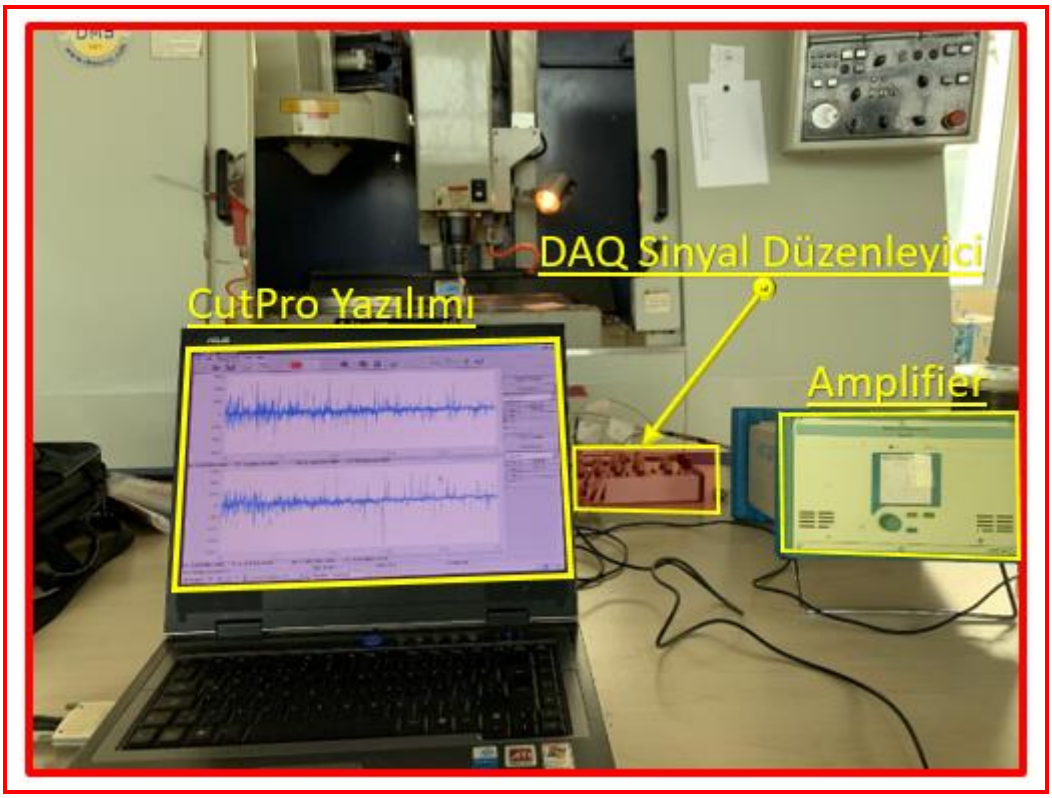
Kompozit iş parçası üzerinde, kuru şartlar altında yapılan delik delme deneyleri esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin ölçümü için Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında bulunan üç eksenli olarak kesme kuvvetlerini ölçme yeteneğine sahip Kistler 9275B marka dinamometre kullanılmıştır. Kullanılan dinamometreye ait resim Şekil 3.14'te verilmiştir.

Delik delme işlemleri sırasında ölçümlerin sağlıklı yapılabilmesi amacıyla iş parçası üzerinde 4 sabitleme deliği açılarak dinamometrenin üzerine bağlanmıştır. İş parçası ile dinamometre arasına herhangi bir şey konulmayarak, ölçümlerin daha sağlıklı şekilde yapılması sağlanmıştır. Şekil 3.14'te iş parçasının dinamometreye bağlı hali gösterilmiştir.



Şekil 3.14. İş parçasının dinamometreye bağlanmış hali

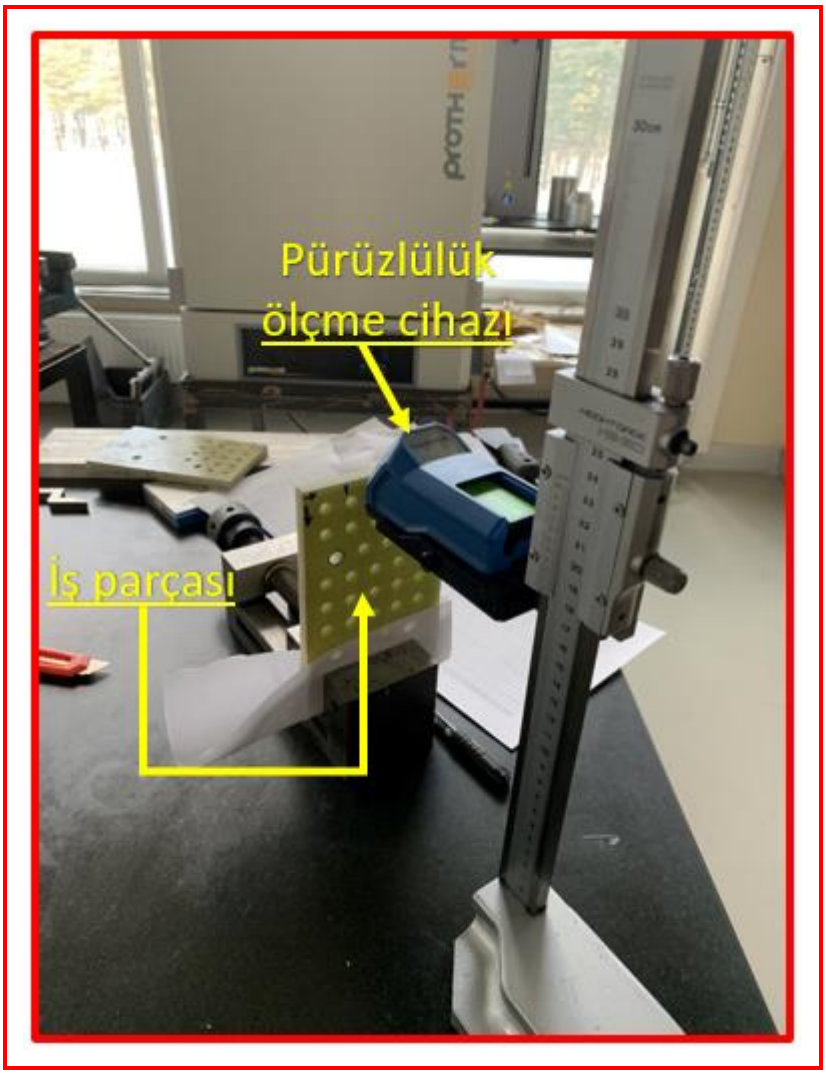
Delme deneyleri sırasında, dinamometrenin ölçmüş olduğu kesme kuvvetleri sinyallerinin veri işleme kartına aktarılırken daha güçlü sinyal edinilmesi amacıyla Amplifier Type 5070 cihazı kullanılmıştır. Amplifikatörün güçlendirdiği sinyaller Daq Dynamic Signal Conditioner'e, buradan ise kablolar ile bilgisayara aktırılmaktadır. Bilgisayara aktarılan bu veriler, CutPro yazılım programının MALDAQ veri toplama modülü aracılığıyla dışa aktarılmaktadır. Böylece, deneyler esnasında elde edilen tüm veriler görüntülenerek analiz edilmek üzere her deney için farklı dosyalarda kayıt edilmektedir. Şekil 3.15'te, Amplifier, sinyal aktarıcı ve CutPro yazılım programı bir resim içerisinde, deney esnasında çekilerek gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Amplifier, DAQ sinyal düzenleyici ve CutPro yazılım programı

3.12. Delik Yüzey Pürüzlülüklerinin Ölçülmesi

Deney işlemleri bitiminde, kompozit malzeme üzerinde açılan kör deliklerin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (YETEM) laboratuvarlarında yapılan ölçme işlemi, Hommel Tester T500 marka yüzey pürüzlüğü ölçme cihazı ile yapılmıştır. Şekil 3.16'da yüzey pürüzlüğü ölçme cihazı ile ölçme esnasındaki görüntüsü gösterilmiştir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, deliğin farklı yerlerinden 4,8 mm ölçme boyunda yapılmıştır. Ölçümlerin sağlıklı olması amacıyla her bir kör deliğin 3'er defa ölçümü yapılmış olup bu değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3.16. Yüzey pürüzlüğü ölçme cihazı

3.13. Delaminasyon Faktörünün Ölçülmesi

Kompozit iş parçası üzerinde açılan deliklerin etrafında meydana gelen delaminasyon faktörlerinin bulunması amacıyla, önce mikroskop ile resimleri çekilmiş ve daha sonra ise Imagej programı sayesinde delaminasyon faktörleri hesaplanarak bulunmuştur. Ölçme için Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında bulunan Olympus BX51TRF-6 marka mikroskop kullanılarak delaminasyon faktörü hesaplaması (eşitlik 2) yapılmıştır. Şekil 3.17'de, kullanılan mikroskop ve delaminasyon faktörü hesaplaması gösterilmiştir.

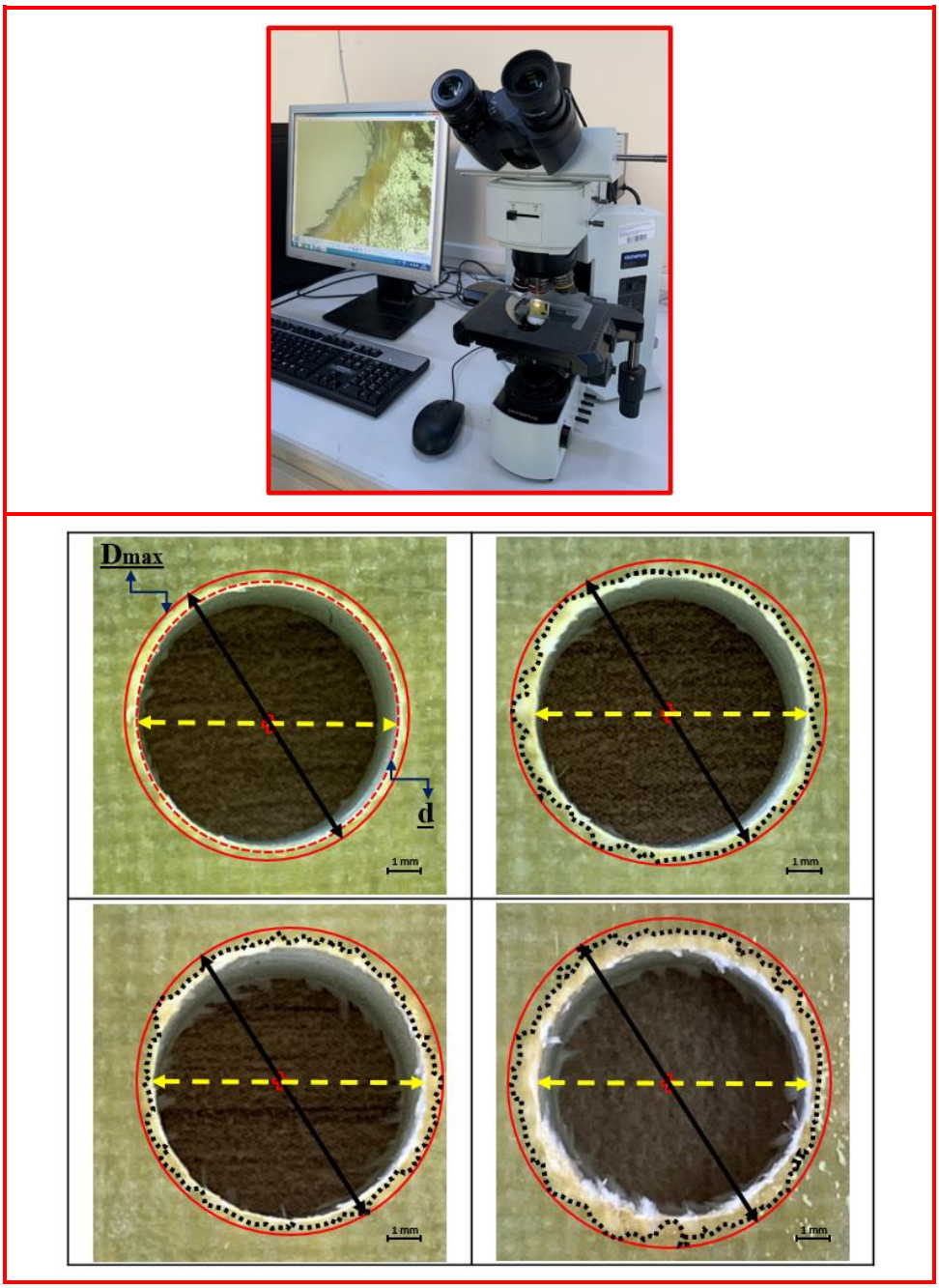
$$Fd = \frac{Dmax}{d} \qquad (2)$$

Burada;

F_d : Delaminasyon faktörünü,

Dmax : delik çevresinde oluşan maksimum hasar çapını,

d: matkap çapını ifade etmektedir.



Şekil 3.17. Mikroskop cihazı ve delaminasyon faktörü ölçümü

3.14. Kesici Takımların Hassas Kesimi

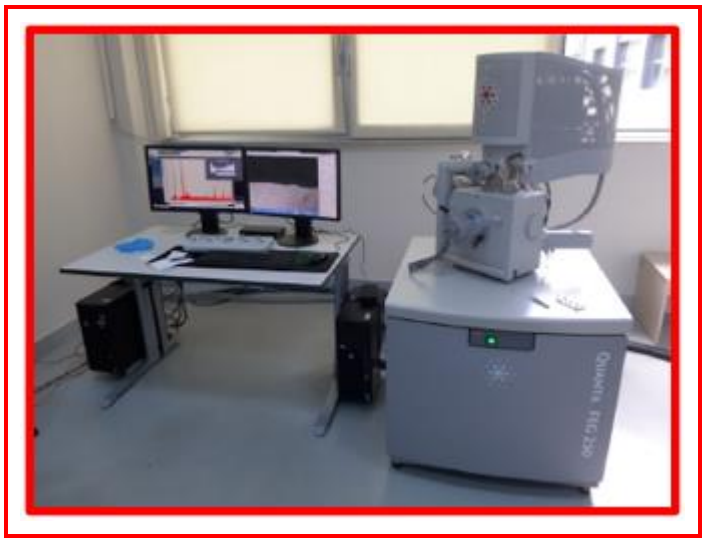
HSS matkap ile kriyojenik ve temperleme işlemleri görmüş HSS matkapların SEM görüntülerinin çekilmesi ve mikroyapı farklarını görüntülemek amacıyla, Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında bulunan ATM GMBH Brillant220 marka hassas kesme cihazı ile belirlenen matkaplar saplarından kesilmiştir. Kesme işleminde kullanılan hassas kesme cihazı Şekil 3.18 ’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Hassas kesme cihazı

3.15. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Görüntüleme

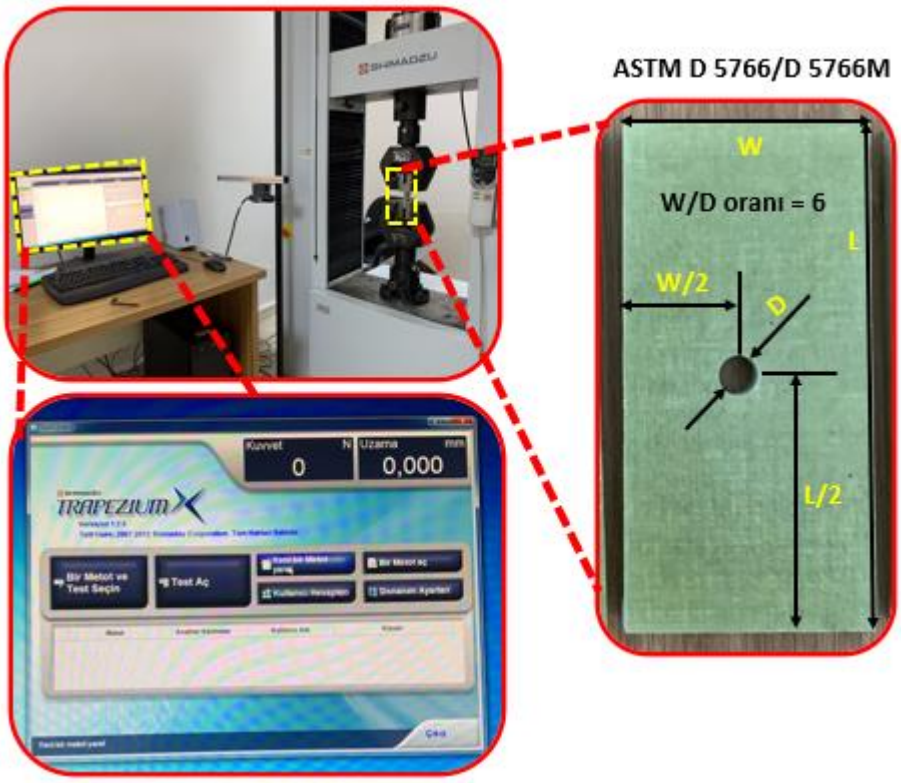
HSS matkap ile kriyojenik HSS matkap tarafından kuru şartlar altında delinen kompozit malzemesinden alınan 1’er adet numunenin delik duvarının görüntülenmesi, aşınma testlerinde kullanılan 6 adet (HSS matkap ve Kriyojenik HSS matkap çiftleri) numune ile belirlenen parametrelerde iş parçasını işleme sırasında oluşan talaşlar, Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında bulunan FEI QUANTA FEG 250 marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) tarafından görüntülenmeleri için hazırlanmışlardır. Numunelerin görüntülenmesi amacıyla kullanılan SEM cihazının görüntüsü Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.19. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

3.16. Çekme Testi Deneyleri

Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanlığı bünyesindeki mekanik test laboratuvarında bulunan 250 kN yük kapasiteli Shimadzu Autograph AG-X Universal marka çekme testi cihazı (Şekil 3.20) kullanılarak çekme kuvvetleri bulunmuştur. Çekme testi deneyleri, 1 mm/dk çekme hızlarında, ASTM D5766/D5766M standartlarına göre hazırlanan kompozit iş parçalarına uygulanmıştır. Shimadzu çekme testi cihazı ile test edilen kompozit numunelerden bilgisayara aktarılan veriler, Trapezium X Materials Testing yazılımı sayesinde grafiklere çevrilmektedir. Şekil 3.20'de, Shimadzu markalı çekme testi cihazı, bilgisayar kontrollü Trapezium X Materials Testing yazılımının ekran görüntüsü ve ASTM D5766/D5766M standartlarına göre hazırlanan kompozit numune ve boyutları gösterilmiştir. Çekme testi için kullanılan numuneler 100 mm uzunluğunda, 48 mm genişliğinde ve açılan deliğin çapları ise çalışmada kullanılan matkapların çapı olan Ø8 mm'dir. Kullanılan numuneler, belirtilen standarda uygun olarak, numune genişliği / delik çapı oranı 6 (altı) kattır.



Şekil 3.20. Çekme testi cihazı, ASTM standardına göre numune ve Trapezium yazılımı

3.17. Kesici Takımların XRD Analizi

Batman Üniversitesi merkezi laboratuvarında bulanan Rigaku Miniflex-II P-DE772 marka X-ışınları difraksiyon analiz cihazı (XRD) kullanılarak HSS matkap ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaptan alınan birer numunenin analizi yapılmıştır. Şekil 3.21'de XRD cihazının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.21. XRD Cihazı

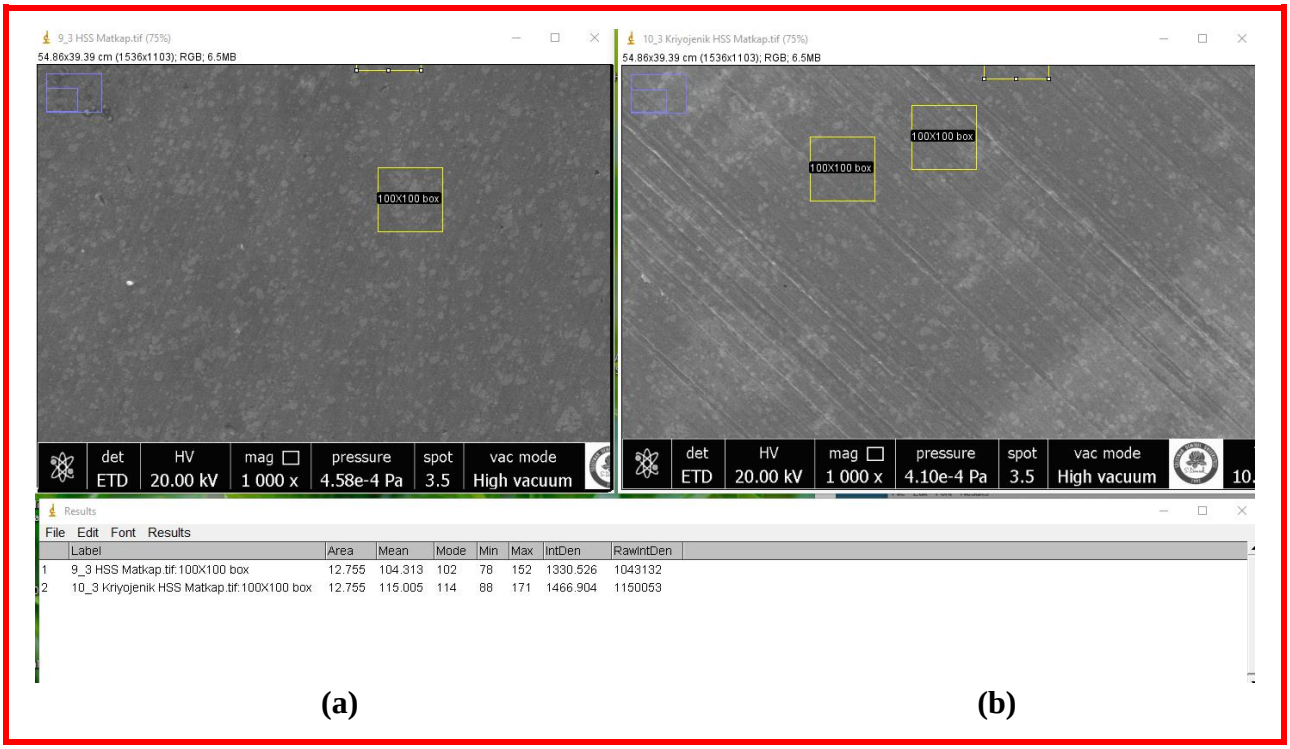
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Mikroyapı Analizi

Modern işleme yöntemlerinin temel amacı, iş parçası üzerinden kaldırılan talaşın hacminin artışı ile beraber, yüksek işleme doğruluğu ve daha düşük değerde yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesidir (SreeramaReddy ve ark., 2009). Bununla birlikte, iş parçasını işleyen kesici takımların işleme ömürlerinin uzun olması imalat sanayi açısından da ekonomik bir faktördür. Kesici takımlardan matkapların kullanım ömürlerini artırmak ve özelliklerini iyileştirmek amacıyla uzun yıllar boyunca, yaygın olarak takım çeliğine ve yüksek hız çeliğine (HSS) geleneksel ısıl işlemler uygulanmıştır (Gill ve ark., 2009). Geleneksel olarak yapılan ısıl işlemlerden sonra, östenit fazı malzemelerin mikroyapısı içerisinde kalabilmektedir. Mikroyapı içerisinde kalan ve çok yumuşak bir faz yapısına sahip olan kalıntı östenitin mevcudiyeti malzemelerin aşınma ve yorulmalarını olumsuz bir şekilde etkilemektedir (Da Silva ve ark., 2006; Preciado ve ark., 2006). Bu tür sorunların asgari seviyeye indirilmesi amacıyla, son yıllarda, kesici takımlara kriyojenik işlemin uygulanmasının arttığı görülmektedir (Preciado ve ark., 2006; Zhirafar ve ark., 2007). Kriyojenik işlem, kesici takımların artık gerilmelerini azaltmak, aşınma ve yorgunluk davranışlarını iyileştirmek amacıyla kullanılan en etkili yöntemlerden biridir (Firouzdor ve ark., 2008). Kesici takımlara, geleneksel ısıl işlemin tamamlayıcı bir öğesi olarak kriyojenik işlem uygulanmaktadır (Das ve ark., 2010). Malzemeye uygulanan kriyojenik işlem sayesinde, mikroyapı içerisinde kalan östenit azaltılmış olup ayrıca, heterojen ve büyük hacimli karbür parçacıklarının hacminin azalması sağlanarak daha homojen dağılımı sağlanmış olmaktadır (Akhbarizadeh ve ark., 2009). Geleneksel ısıl işlem görmüş malzemelerde %6,5 östenit bulunmaktadır. Sığ kriyojenik işlem gören malzemelerde östenit, %6,5'ten %5,1 seviyelerine inmektedir. Östenit seviyelerinin %2,7'e düşürülmesi için ise derin kriyojenik işlemin uygulanması gerekmektedir. Yapılan bu işlem sayesinde ise HSS çeliklerin aşınma direnci ve sertliği de artırılmış olmaktadır (Bensely ve ark., 2005; Meng ve ark., 1994; Molinari ve ark., 2001). Ayrıca, işlem görmemiş matkaplara kıyasla, sadece kriyojenik işlem görmüş matkaplar ile kriyojenik işlem gördükten sonra temperleme de uygulanan matkapların ömürlerinin sırasıyla %77 ve %126 daha uzun olduğunu göstermiştir (Firouzdor ve ark., 2008). Kriyojenik ortamda bekletme süresi, karbür incelimi ve dağılımını olumlu bir

şekilde etkilemektedir. İlaveten, HSS çelik malzemenin mikro yapısında potansiyel bir hasarın meydana gelmesinin önlenmesi amacıyla, kriyojenik işlemin soğutma ve ısıtma işlemleri dakikada 0,5°C olacak şekilde uygulanmaktadır (Akincioğlu ve ark., 2015; Gill, 2012).

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan 1 (bir) adet kriyojenik işlem görmeyen HSS matkap ile 1 (bir) adet derin kriyojenik ve temperleme işlemleri görmüş matkaplardan alınan numunelerin çekilen SEM görüntüleri incelendiğinde, Şekil 4.1 a ve b'de görüldüğü gibi, derin kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş (Şekil 4.1 b) numunenin mikroyapısındaki karbür tanelerinin daha küçük ve homojen dağılımlı oldukları görülmektedir. Imagej programı vasıtasıyla SEM görüntüleri üzerinde yapılan 100x100 birimlik alandaki yoğunlukları karşılaştırıldığında (her bir resimde en az 3 ayrı yerden hesaplanmıştır), normal HSS matkabın ortalama 104.313, kriyojenik ve temperleme işlemleri görmüş HSS matkabın ise 115.005 olduğu Şekil 4.1'deki ölçüm sonuçlarından görülebilmektedir. Bu durum, kriyojenik ve temperleme işlemleri görmüş numunenin %10,24 daha yoğun karbür miktarı içerdiğini, böylelikle, karbür hacimlerinin istenildiği gibi daha küçük boyutlu olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.1. HSS matkap (a) ile kriyojenik ve temperleme işlemli HSS matkap (b) SEM görüntüleri

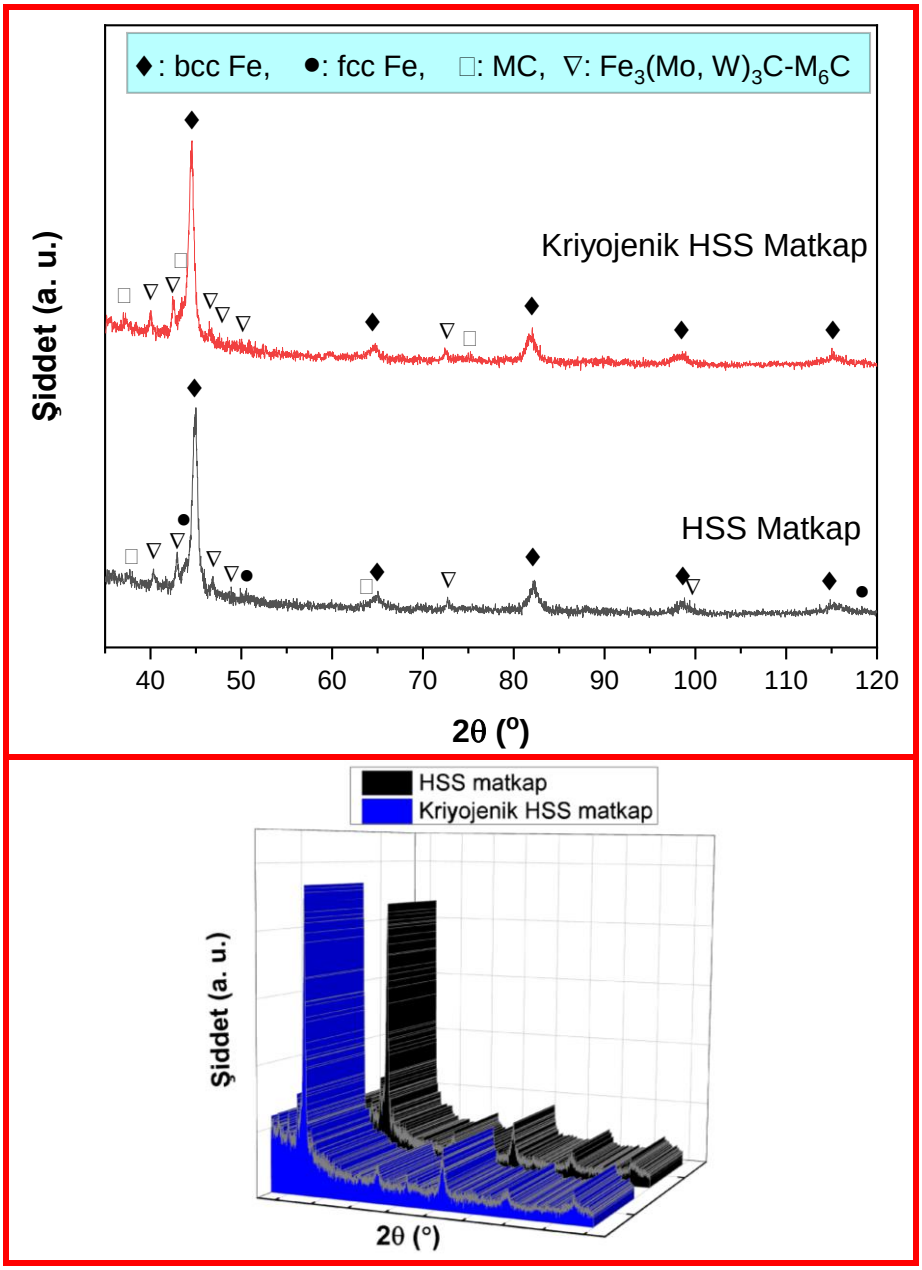
4.1.1. XRD analizi

Yapılan tez çalışmasında kullanılan 1 (bir) adet HSS matkap ile 1 (bir) adet kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş matkaplardan alınan numunelerin çekilen SEM görüntülerinde kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkabın mikroyapısındaki karbür tanelerinin daha küçük ve homojen dağılımlı oldukları görülmekteydi (Şekil 4.1). SEM ile görüntüleme işlemleri sonrasında ise aynı numuneler üzerinde X-ışınları difraksiyon analizleri (XRD) yapılarak faz değişimleri incelenmiştir.

HSS çeliklerin mikroyapısı içerisinde kalan ve çok yumuşak bir faz yapısına sahip olan kalıntı östenitin mevcudiyeti aşınma ve yorulmalarını olumsuz bir şekilde etkilemektedir (Da Silva ve ark., 2006). Kalıntı östenit, martenzit fazına dönüşemeden kalan östenittir. Bu kalıntı östenitin mikroyapı üzerinde meydana getirdiği olumsuzluğun giderilmesi için uygulanan kriyojenik ve temperleme işlemleri sayesinde kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, bu işlemler sayesinde gevrek yapıda olan martenzitin hem gevrekliği giderilmekte hem de malzemenin tokluğu artmaktadır (Bargel ve Schulze, 1987; Jovičević-Klug ve ark., 2020; Li ve ark., 2016). Fe elementi farklı sıcaklıklara göre katı-katı faz dönüşümü yapan çok şekilli bir elementtir. Çelik malzemelerdeki Fe elementi, soğutma ve ısıtma durumunda fcc (yüzey merkezli kübik) yapıdan bcc (hacim merkezli kübik) yapıya faz dönüşümü yapabilmektedir. Bu faz dönüşümüne martenzitik faz dönüşümü denilmektedir (Karewar ve ark., 2018). Faz geçişleri, malzemelerin sertlik ve akma dayanımı gibi özelliklerini doğrudan etkilediğinden incelenmesine dikkat edilmektedir. Çelik malzemelere uygulanan soğutma ve ısıtma işlemleri sayesinde, Fe elementinin istenilen fazında tutularak belirli özelliklerde kalması sağlanmaktadır (Pereloma ve Edmonds, 2012; Porter ve Easterling; Singh, 2012).

HSS matkap ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaptan alınan numunelerin yapılan XRD analizleri sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.2'deki XRD analizleri sonuçlarında görüldüğü gibi, her iki çelik numunesinde de bcc Fe, MC ve $Fe_3(Mo, W)_3C$ fazları tespit edilmiştir. Analiz sonucunda, HSS numunesinde fcc Fe fazı gözlenirken kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS numunesinde ise tespit edilmemiştir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS numunesinde MC fazı artarken M_6C fazının ise azaldığı tespit edilmiştir. XRD şiddet artımlarından da görüldüğü gibi kriyojenik ve temperleme işlemli HSS numunesinde bulunan bcc Fe

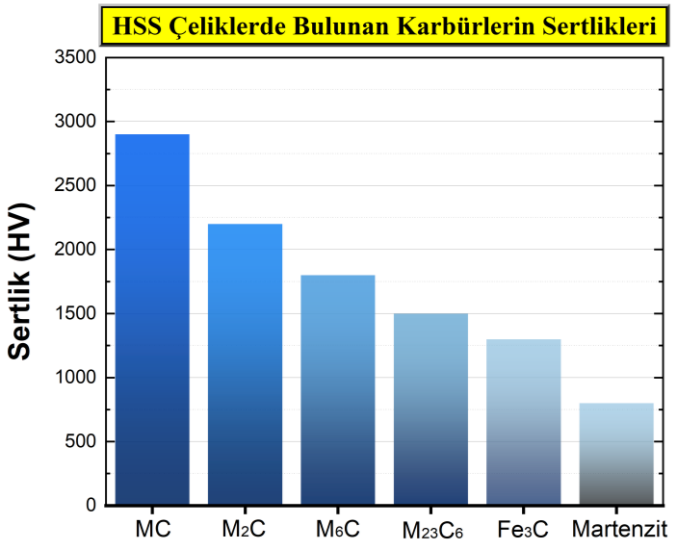
miktarı, kriyojenik ve temperleme işlemlerinin etkisiyle arttığı anlaşılmıştır. Elde edilen XRD sonuçları SEM sonuçlarıyla karşılaştırıldığında birbirleriyle uyum içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. XRD analizi sonuçları

HSS çeliklerde genel olarak bulunan karbürlerin sertlik değerleri birbirlerinden farklıdır. Şekil 4.3'te, HSS çeliklerinde bulunan alaşım karbürleri, sementit (Fe_3C) ve

martenzitin sertlik değerlerine bakıldığında en yüksek değere sahip karbürlerin MC olduğu görülmektedir (Wells ve Lherbier, 1980).



Şekil 4.3. HSS çeliklerde bulunan karbürlerin sertlikleri (Wells ve Lherbier, 1980)

4.2. Sertlik Analizi

Tez çalışmasında, kullanılan kompozit iş parçası, HSS matkap ile kriyojenik ve temperleme işlemi uygulanmış birer numunenin mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinde, her numunenin farklı yerlerinden 5'er kez ölçme yapılarak bulunan değerlerin aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. Elde edilen mikrosertlik değerlerinin sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir. Yapılan ölçümler neticesinde, kriyojenik ve temperleme işlemleri uygulanmış HSS matkabın mikrosertlik değerinin HSS matkaba göre yaklaşık %14 oranında artmış olduğu görülmüştür. Kriyojenik ve temperleme işlemlerinin etkisiyle, mikrosertlik değerinde meydana gelen bu artışın literatürdeki benzer çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür (Akincioğlu ve ark., 2015; Bensely ve ark., 2005; Meng ve ark., 1994; Molinari ve ark., 2001). Ayrıca, uygulanan kriyojenik işlemin süresinin artırılması sayesinde HSS Matkabın sertlik değeri daha da artırılabilmektedir (Akincioğlu ve ark., 2015; Bensely ve ark., 2005; Molinari ve ark., 2001).

Tablo 4.1. Kompozit iş parçası ve kesici takımların sertlik değerleri

Sertliği ölçülen malzeme	Mikrosertlik değeri (HV)
EPGC 201 Kompozit	36,3
HSS Matkap	696,5
Kriyojenik HSS Matkap	794,7

4.3. Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

4.3.1. Kesme Kuvvetleri için Taguchi Analiz Sonuçları

Taguchi deney düzeneğine göre hazırlanmış olan ve Tablo 3.1'de belirtilen parametre ve seviyelere göre üzerinde delme işlemleri yapılan kompozit iş parçasından dinamometre sayesinde elde edilen kesme kuvveti değerleri Minitab yazılım programında kullanılmıştır. Program sayesinde, Tablo 4.2, Şekil 4.4 ile Şekil 4.5'te de görülebildiği gibi, etki faktörleri, ana etkiler ve normal olasılık sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 4.2 ve Şekil 4.4'te bulunan veriler birlikte değerlendirildiğinde, kesme kuvvetleri için en etkin parametrenin ilerleme faktörü olduğu, ayrıca, sırasıyla, devir, işlem (Kriyojeniksiz/kriyojenikli), uç açısı, helis açısı ve boşluk açısı olduğu görülmüştür.

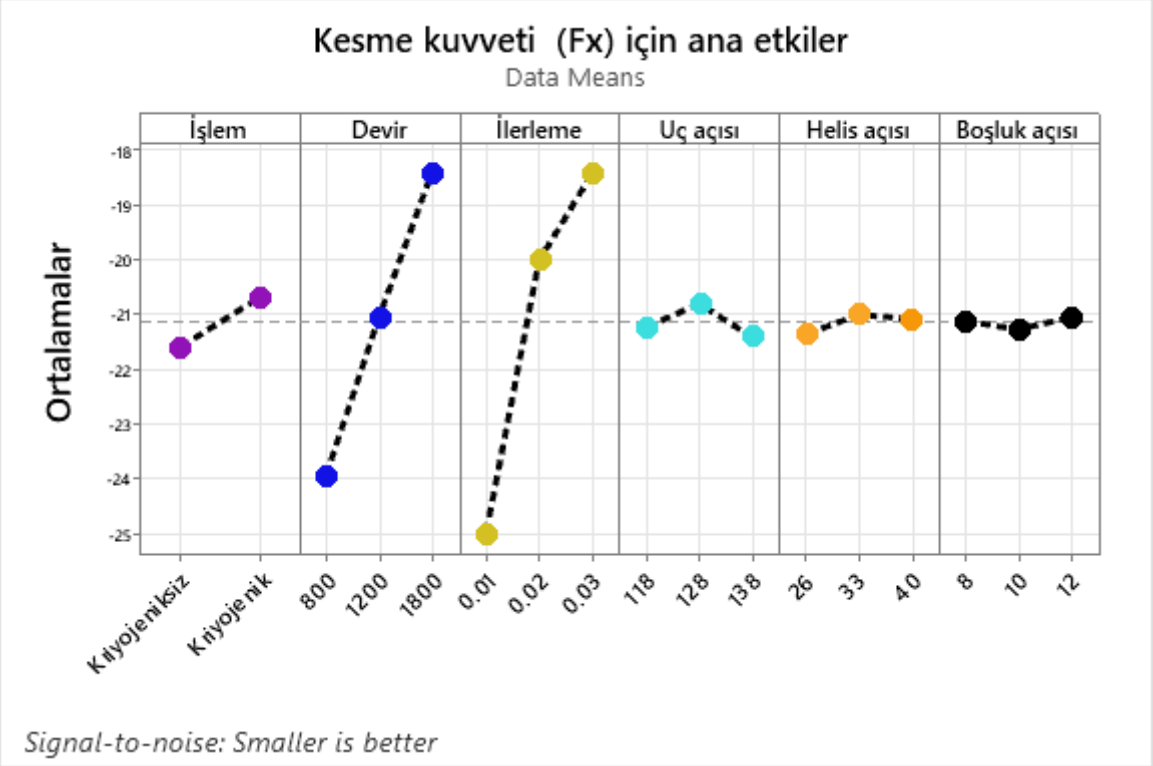
Tablo 4.2. Kesme kuvvetleri (Fx) için etki faktörleri

Seviye	İşlem	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dev)	Uç açısı (°)	Helis açısı (°)	Boşluk açısı (°)
1	-21.59	-23.94	-24.99	-21.22	-21.35	-21.11
2	-20.69	-21.06	-20.01	-20.79	-20.99	-21.26
3		-18.41	-18.42	-21.40	-21.07	-21.05
Delta	0.90	5.53	6.57	0.60	0.36	0.22
Etki sırası	3	2	1	4	5	6

Kesme kuvvetleri sonuçlarına bağlı olarak, "En küçük değer daha iyi" fonksiyonuna göre Taguchi analizi ile elde edilen sonuçlar Şekil 4.4.'te verilmiştir. Şekil 4.4.'teki kesme kuvvetleri için ana etkiler grafiğine bakıldığında, kriyojenik ve

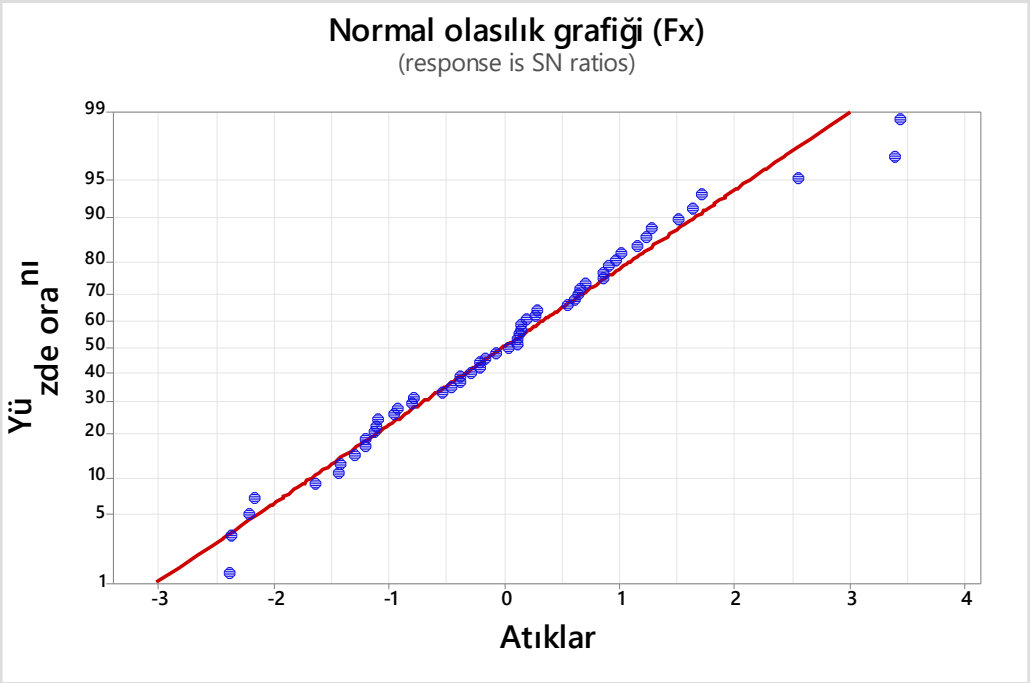
temperleme işlemi görmüş matkaplardan alınan sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir.

Delme işlemleri yapılan kompozit iş parçası için en uygun işleme parametrelerinin, devir sayısı için 1800 dev/dk ve ilerleme için ise 0,03 mm/dev olduğu bulunmuştur. Ayrıca, delme işlemi yapılan bu kompozit malzeme için kullanılacak olan en uygun matkabın geometrik özelliklerinin, uç açısı için 128°, helis açısı için 33° ve boşluk açısı için ise 12° olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.4. Faktörlerin kesme kuvvetleri (Fx) üzerindeki ana etkileri

Şekil 4.5'teki normal olasılık grafiğine baktığımızda, artık değerlerin, kırmızı renkteki lineer çizgi etrafında düzgün bir dağılıma sahip olduğu görülmekte olup elde edilen bu sonuçlar, oluşturulan modelin tutarlı olduğunu göstermektedir.



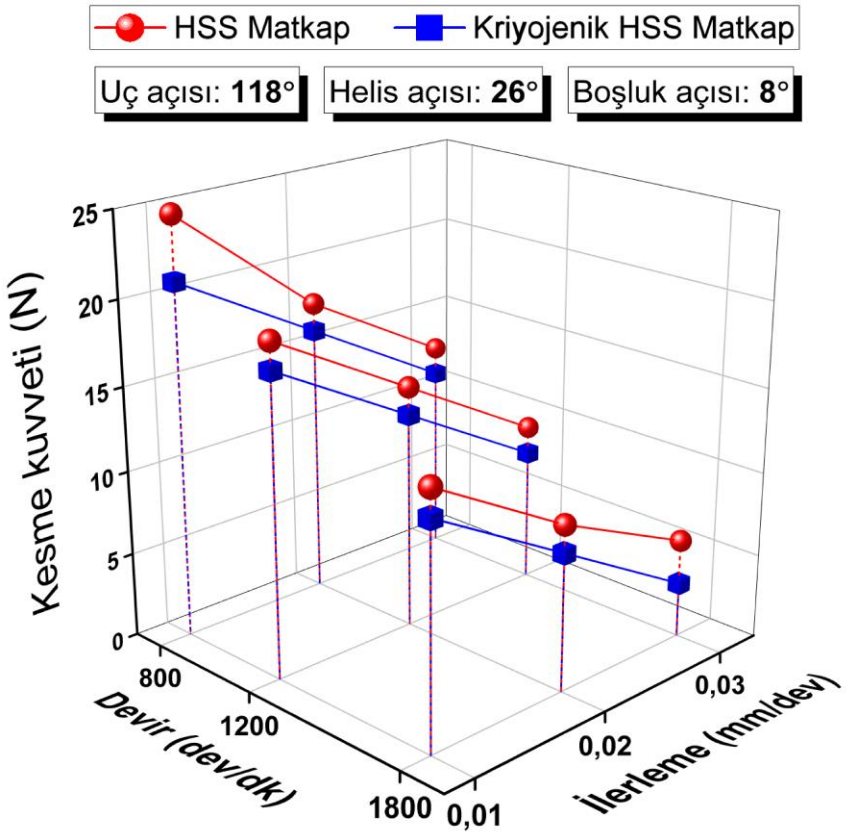
Şekil 4.5. Kesme kuvvetleri (Fx) için normal olasılık grafiği

4.3.2. Kesme Kuvvetleri

Delme işlemleri sırasında, kesici takım matkabın bir ağzı dikkate alındığında, Şekil 3.13'te gösterilmiş olduğu gibi, kesme kuvveti (Fx), radyal kuvveti (Fy) ve ilerleme kuvveti (Fz) meydana gelmektedir. Kesici ağızlarda meydana gelen kuvvetlerden olan radyal kuvvetler, kesici ucun konumu sebebiyle birbirlerini dengelemektedirler. Belirtilen bu sebepten dolayı Fx ve Fz kuvvetleri etkili olmaktadırlar (Bayraktar ve Demir, 2017; Gokce ve ark., 2017; Kıvak, 2007).

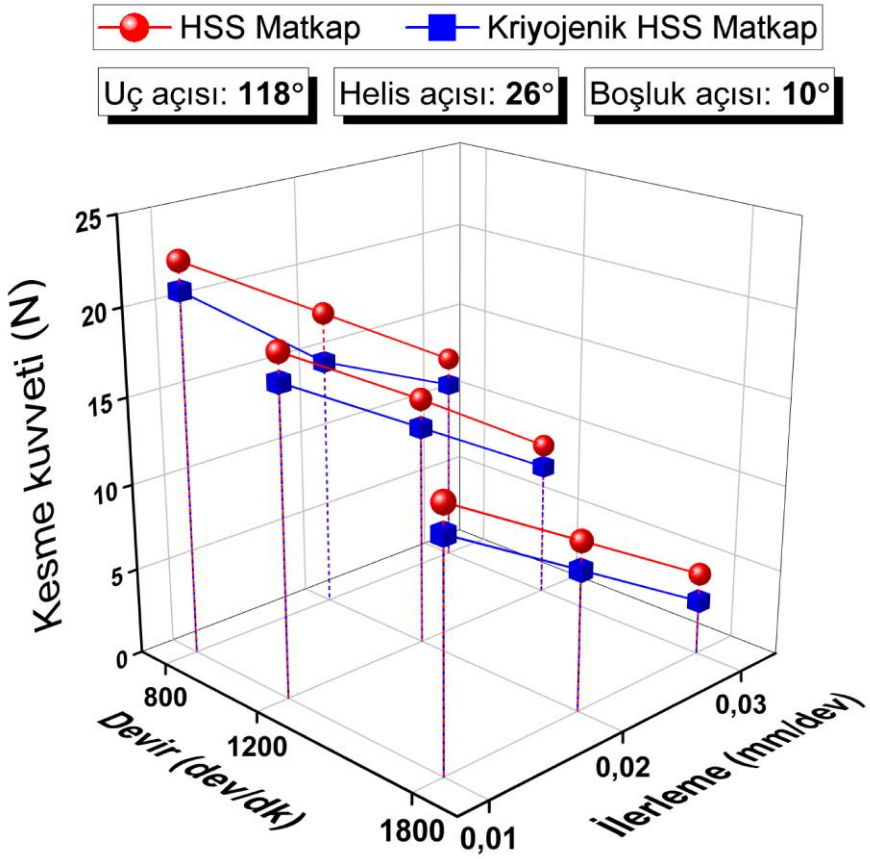
Kompozit malzeme üzerinde yapılan her delme işleminde, farklı matkap uçları, farklı parametre ve seviyelere sahip olacak şekilde Tablo 3.1'de belirtildiği gibi Taguchi deney dizaynına göre (L54 2^1 3^5, orthogonal array) yapılmıştır. Bu deney dizaynında belirtildiği gibi, HSS matkaplardan 27 adet ile kriyojenik ve temperlenmiş HSS matkaplardan ise 27 adet olmak üzere toplam 54 adet matkap, tekli delmelerde kullanılmıştır. Yapılan her kuru şartlar altındaki kör delme deneyinden elde edilen kesme kuvvetleri ayrı ayrı ölçülmüşlerdir. Elde edilen bu kuvvetlerin bileşke kuvvetleri Şekil 3.13'te belirtilen formüle göre bulunmuştur. Ancak, her delme deneyi esnasında, dinamometre sayesinde elde edilen dinamik kesme kuvvetlerinden sadece Fx (Tork) kuvveti değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Bunun nedeni, kompozit malzemesinin

Tablo 4.1'de görüldüğü gibi mikrosertlik değerinin düşük (yani yumuşak) olması, ilerleme kuvveti (Fz) değerleri ile kıyaslandığında, kesme kuvveti (Fx) değerleri ile birbirlerine yakın olması ve ayrıca kesme kuvveti (Fx) değerlerinin daha fazla değişkenlik gösteriyor olmasıdır. Ölçülen kesme kuvveti değerleri EK-1'de çizelge halinde sunulmuş olup Taguchi analiz sonuçları ile birlikte bu değerler kullanılarak elde edilen grafikler Şekil 4.6 ile Şekil 4.32 arasında aşağıda gösterilmiştir.



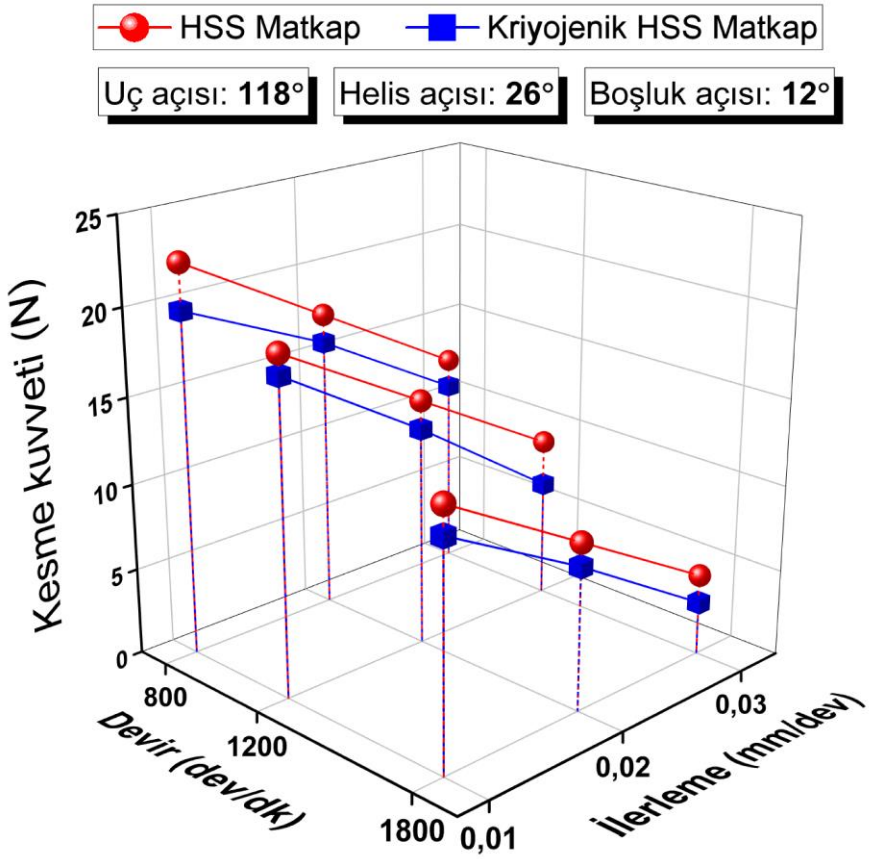
Şekil 4.6. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.6'daki grafikten anlaşıldığı gibi, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmıştır.



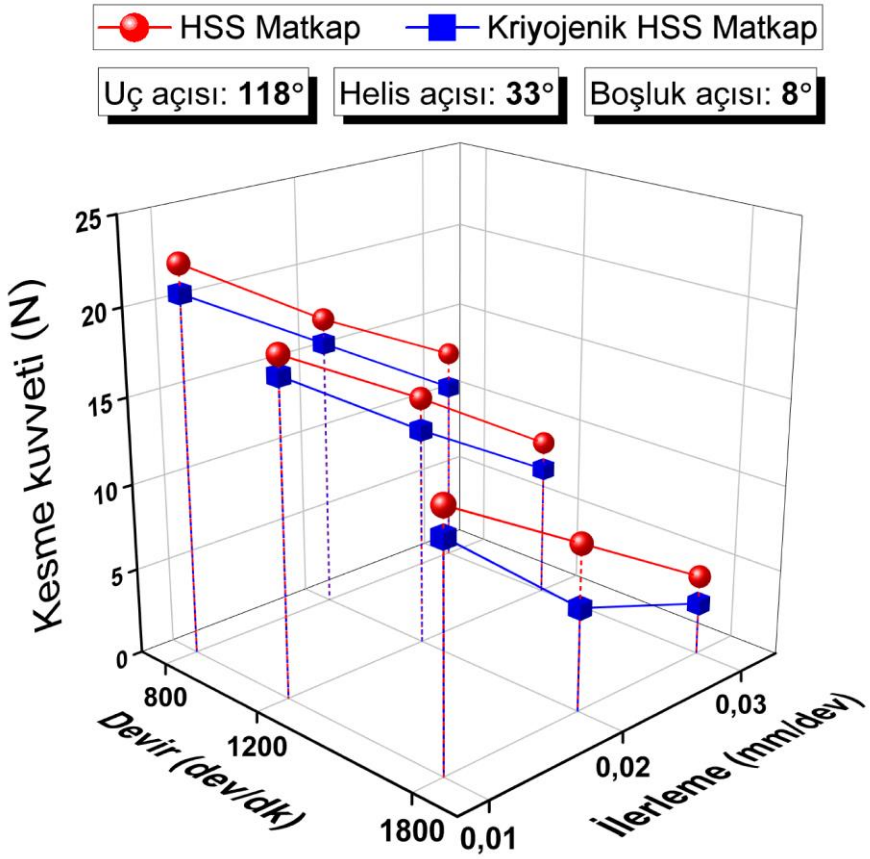
Şekil 4.7. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.7'deki grafik incelendiğinde, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu görülmüştür.



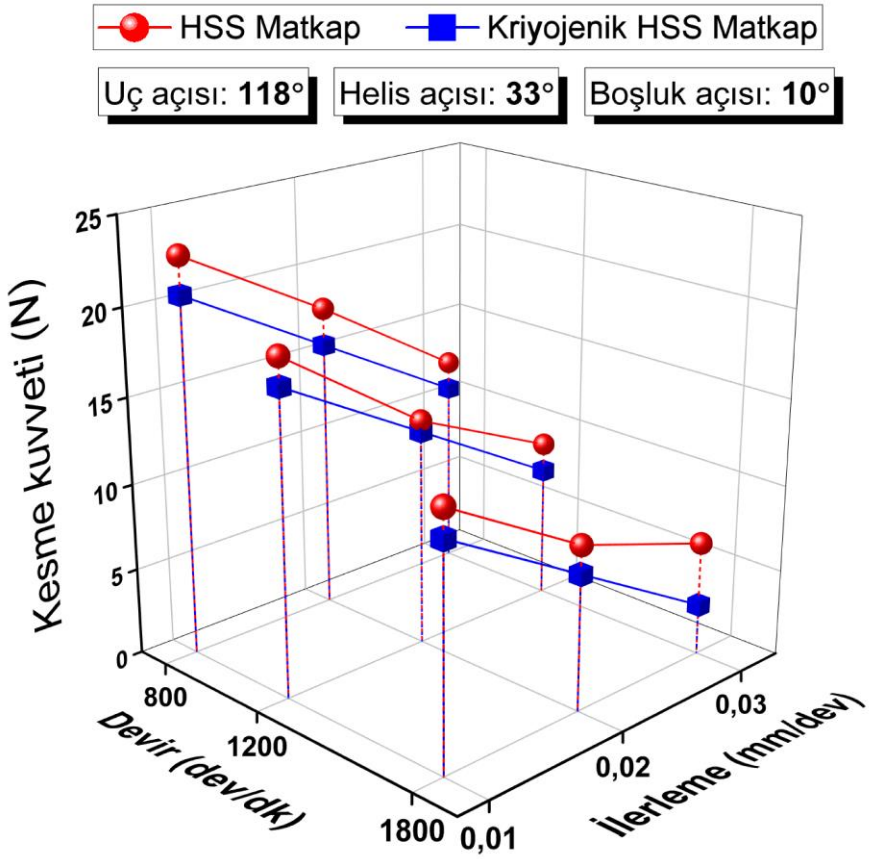
Şekil 4.8. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.8'deki grafikte görüldüğü gibi, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



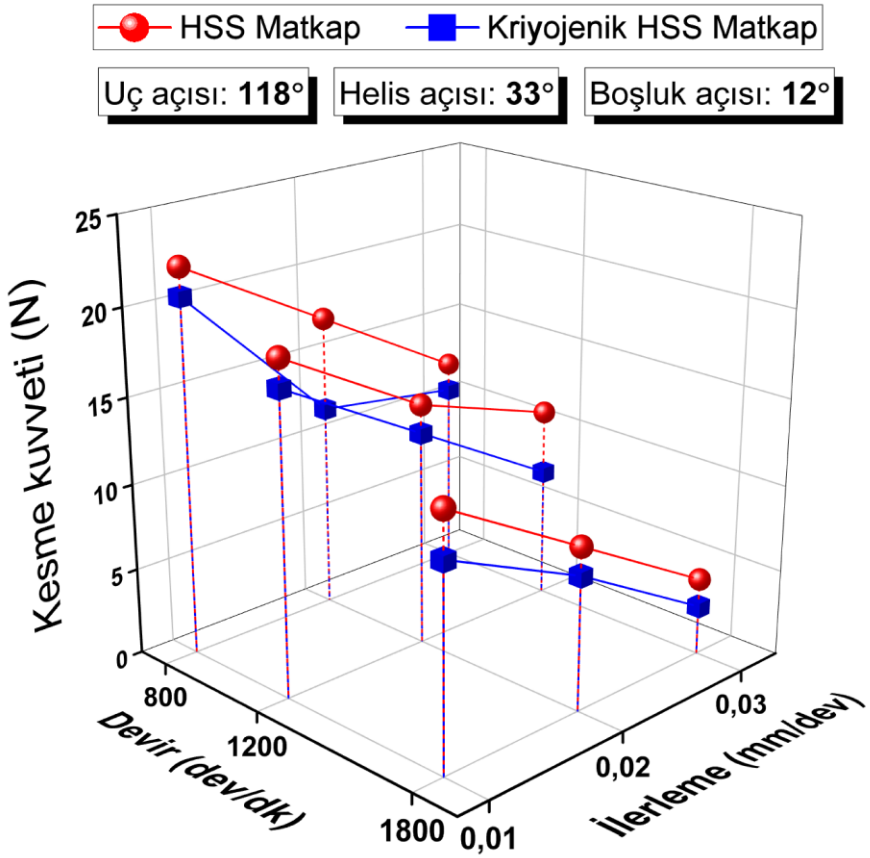
Şekil 4.9. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.9'daki grafik incelendiğinde, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmıştır.



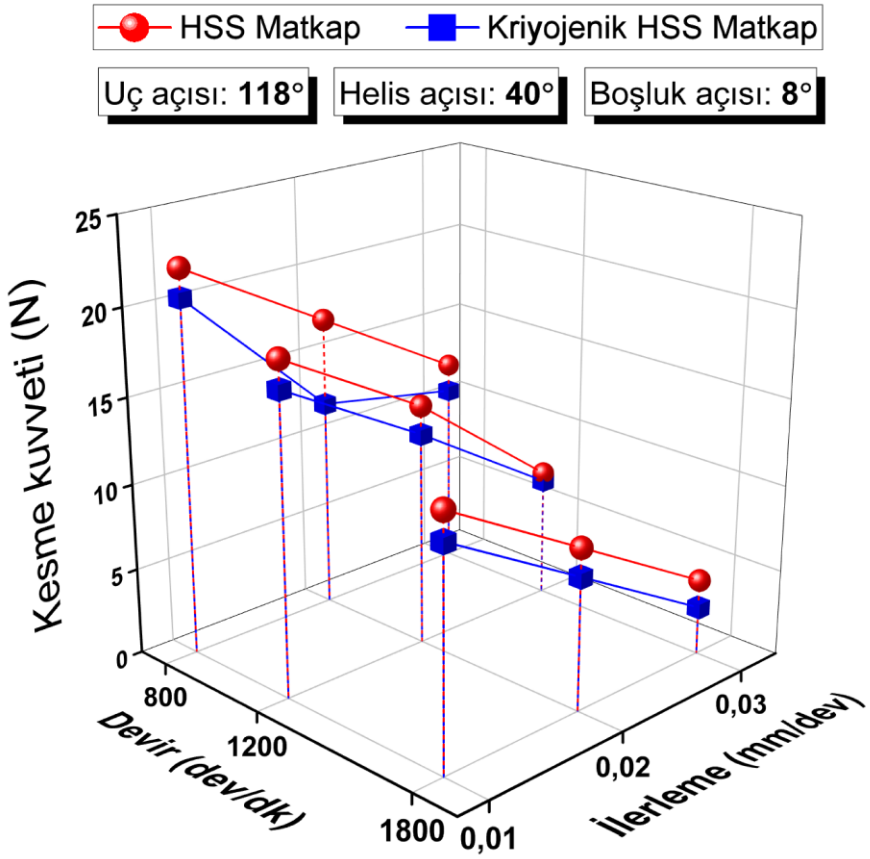
Şekil 4.10. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.10'daki grafikten anlaşıldığı gibi, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



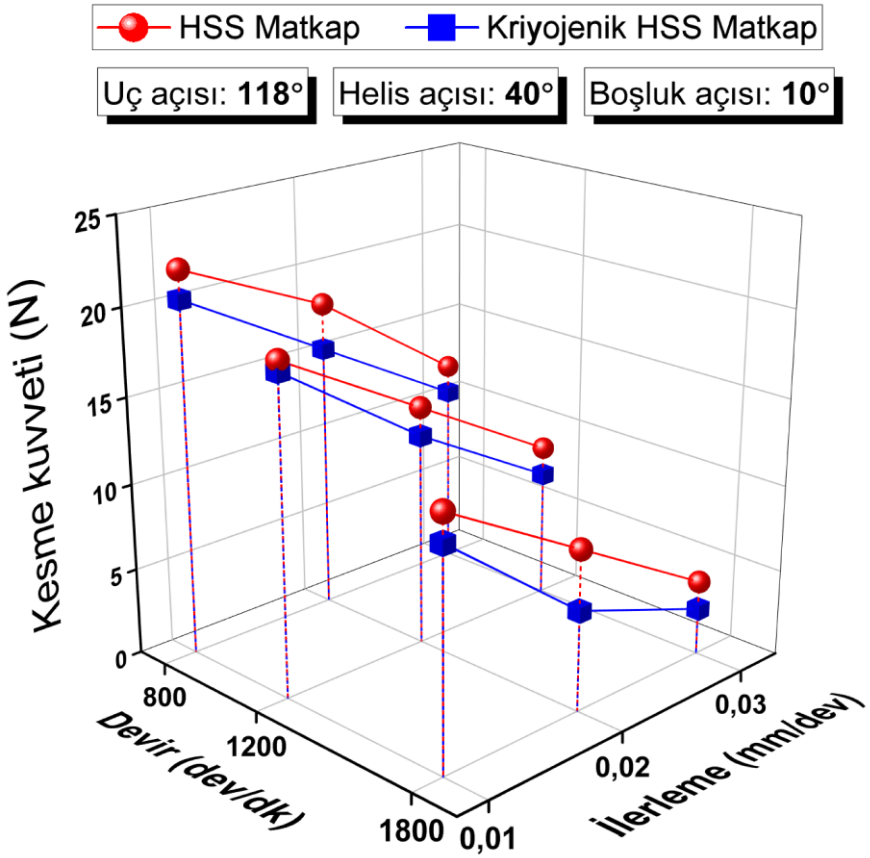
Şekil 4.11. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.11'deki grafik incelendiğinde, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmıştır.



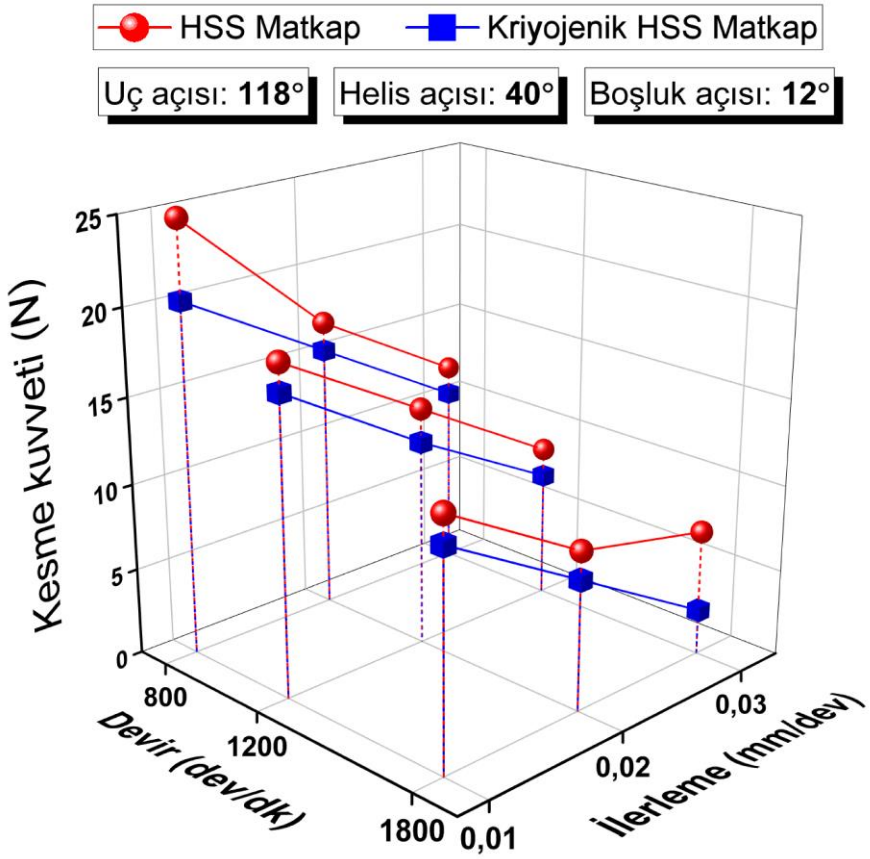
Şekil 4.12. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.12'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



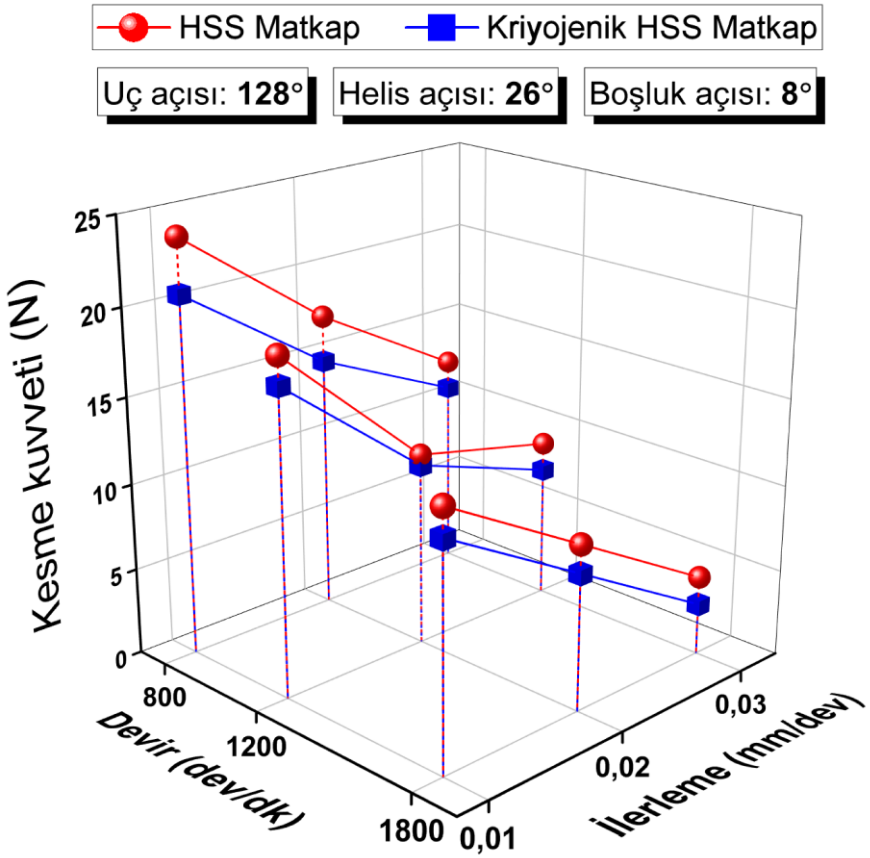
Şekil 4.13. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.13'teki grafik incelendiğinde, 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmıştır.



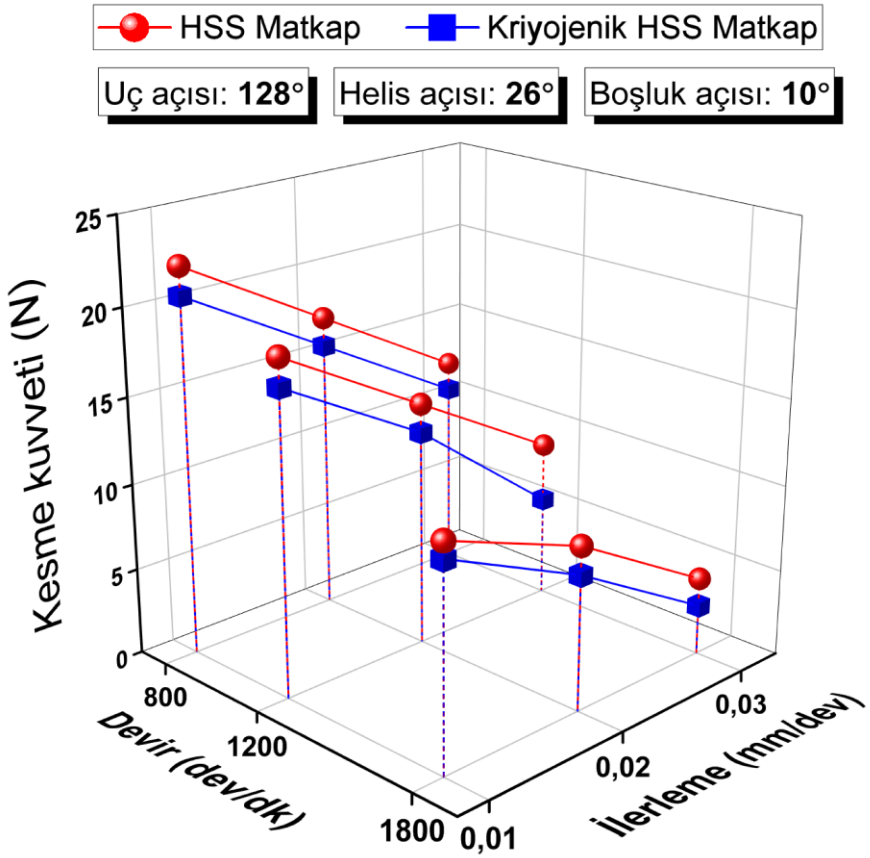
Şekil 4.14. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.14'teki grafikten anlaşıldığı gibi, 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



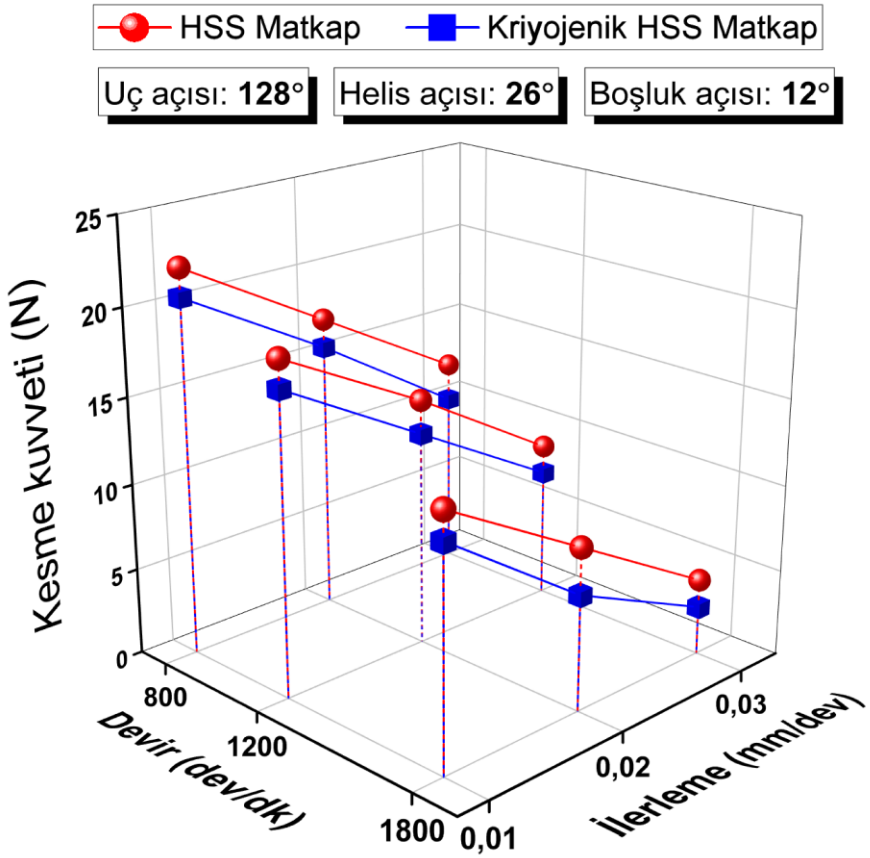
Şekil 4.15. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.15'teki grafik incelendiğinde, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



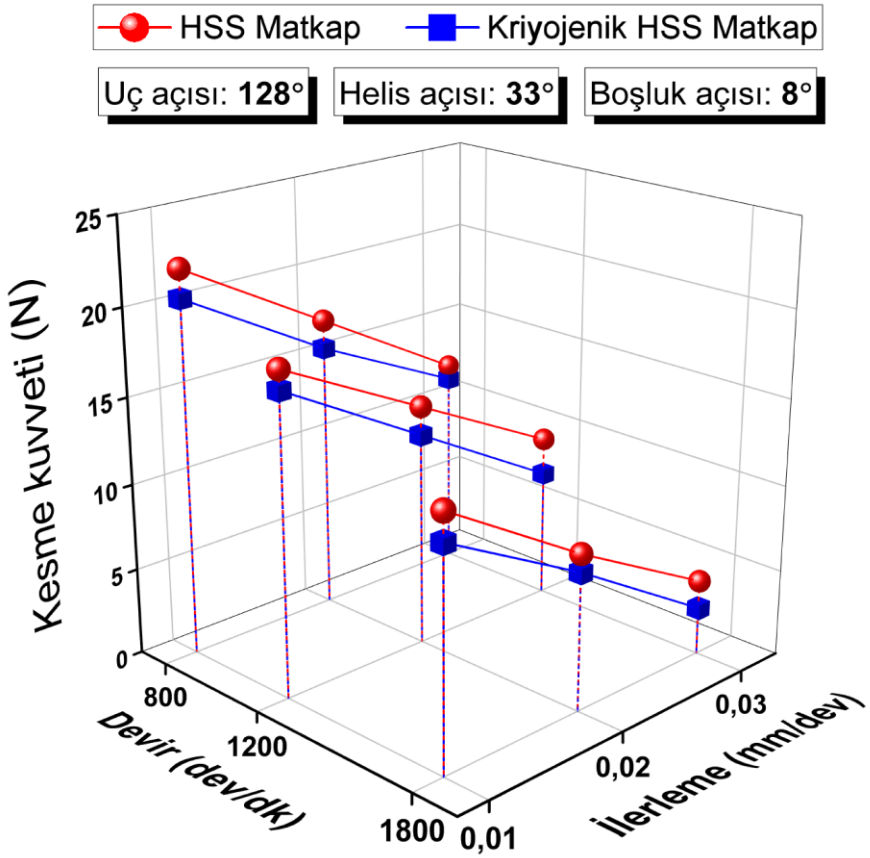
Şekil 4.16. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.16'daki grafikten anlaşıldığı gibi, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmıştır.



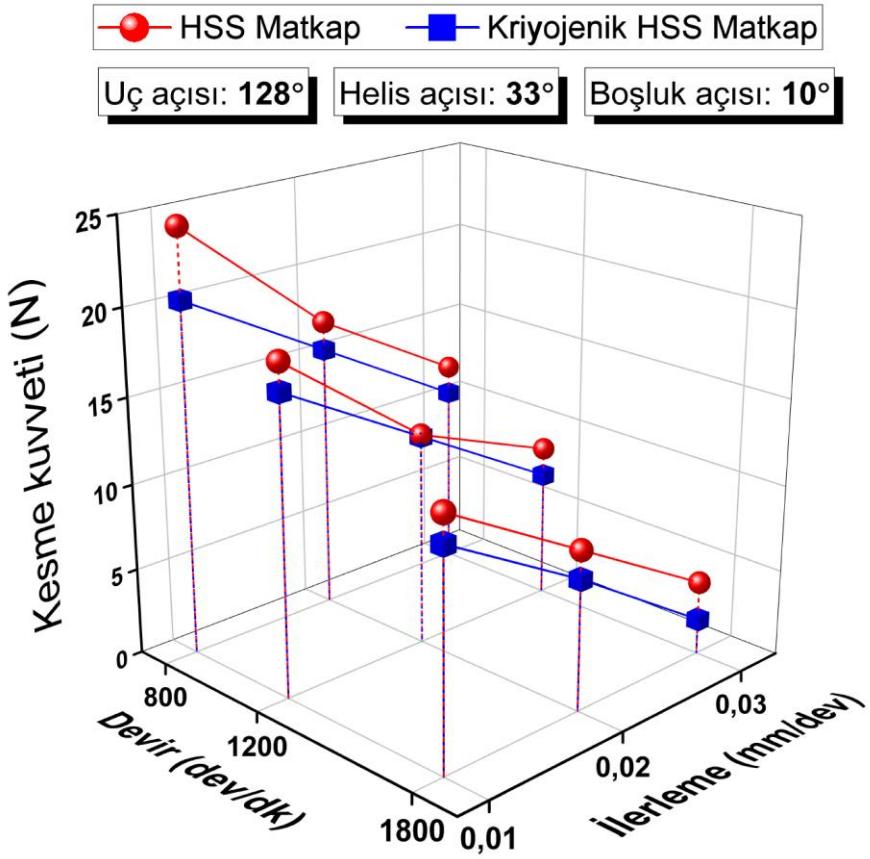
Şekil 4.17. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.17'deki grafik incelendiğinde, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



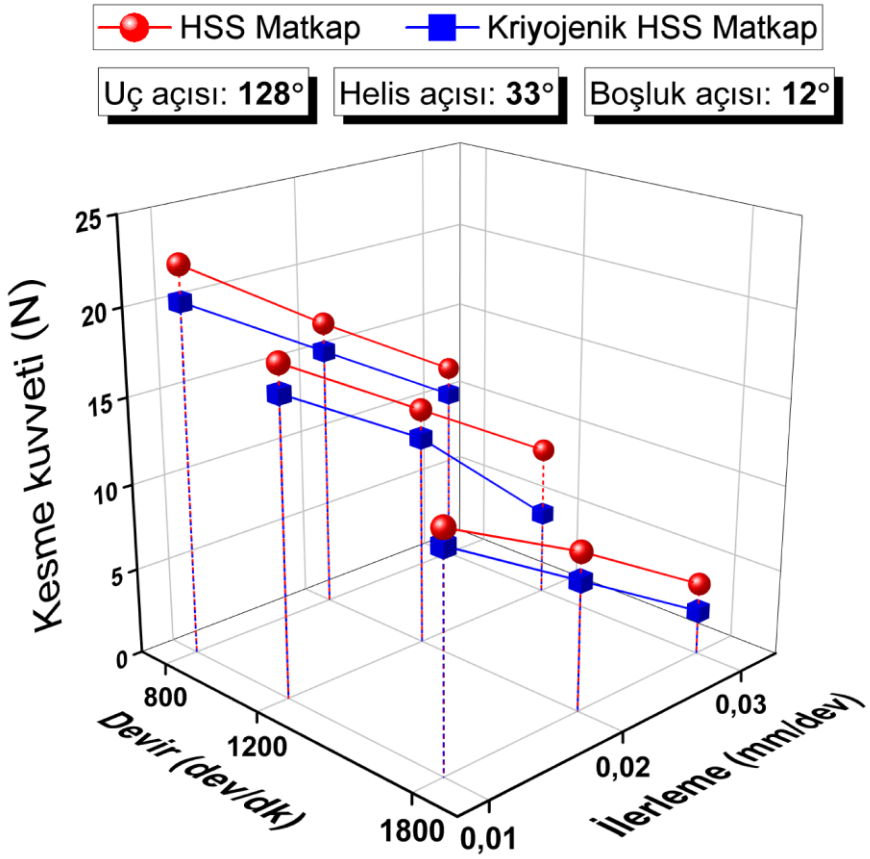
Şekil 4.18. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.18'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmıştır.



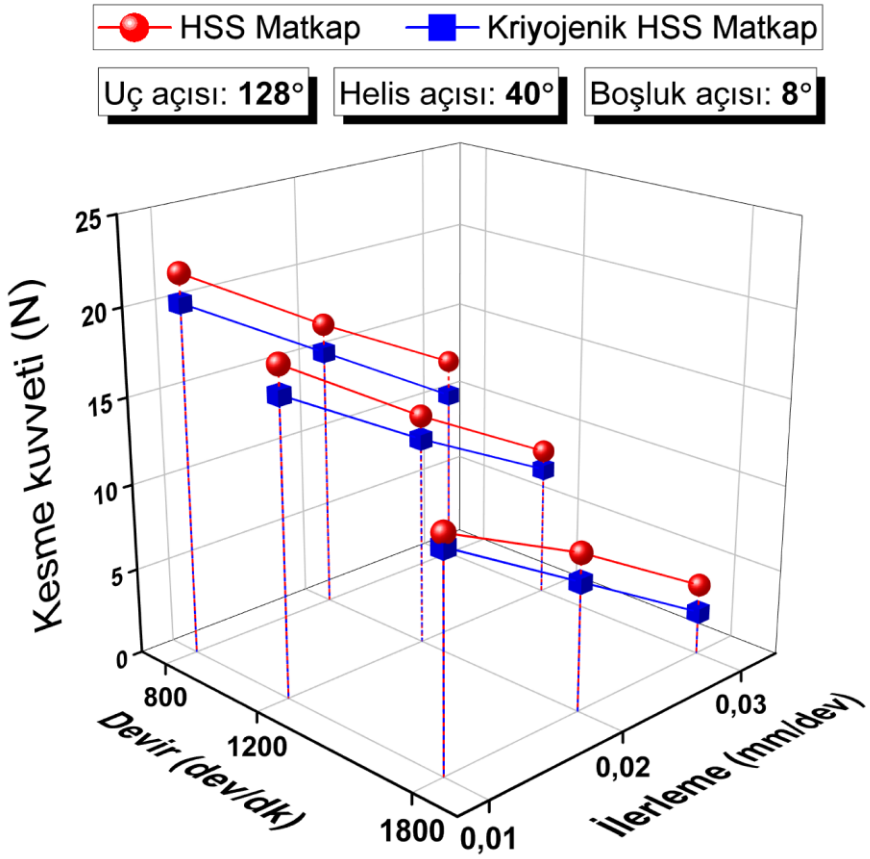
Şekil 4.19. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.19'daki grafik incelendiğinde, 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



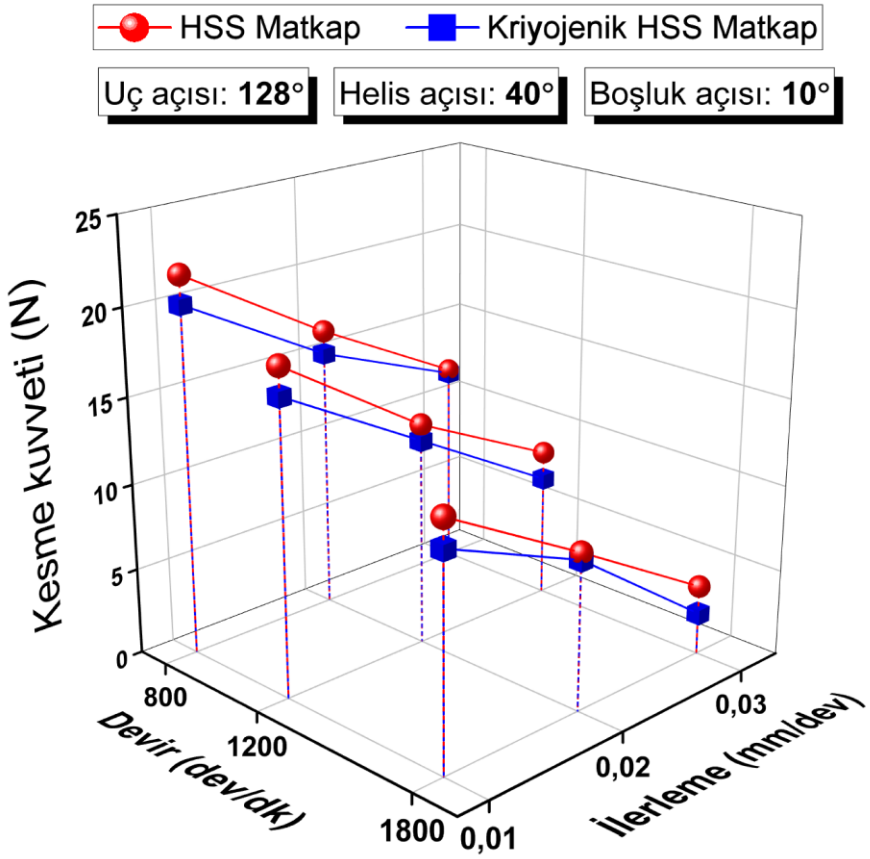
Şekil 4.20. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.20'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



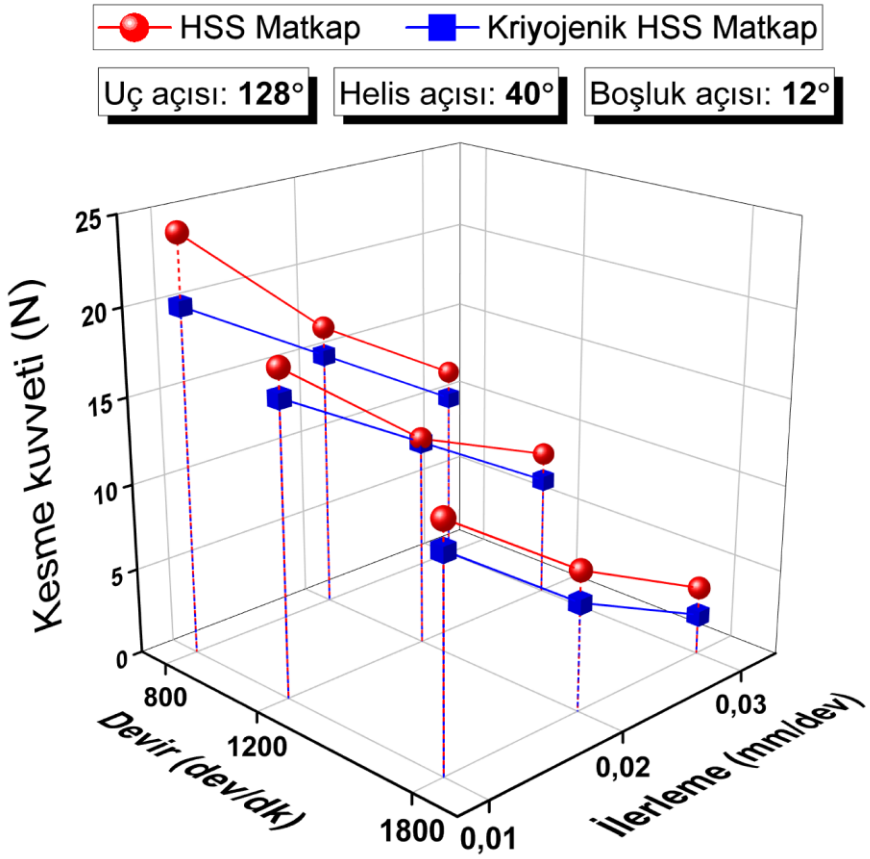
Şekil 4.21. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.21'deki grafik incelendiğinde, 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmıştır.



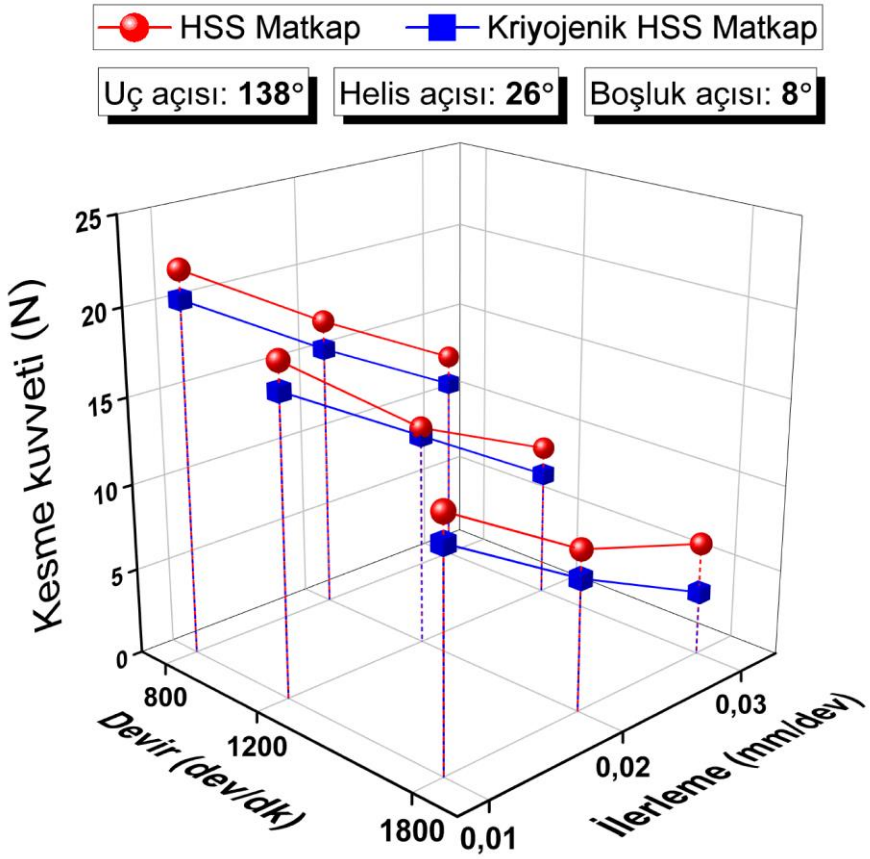
Şekil 4.22. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.22'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



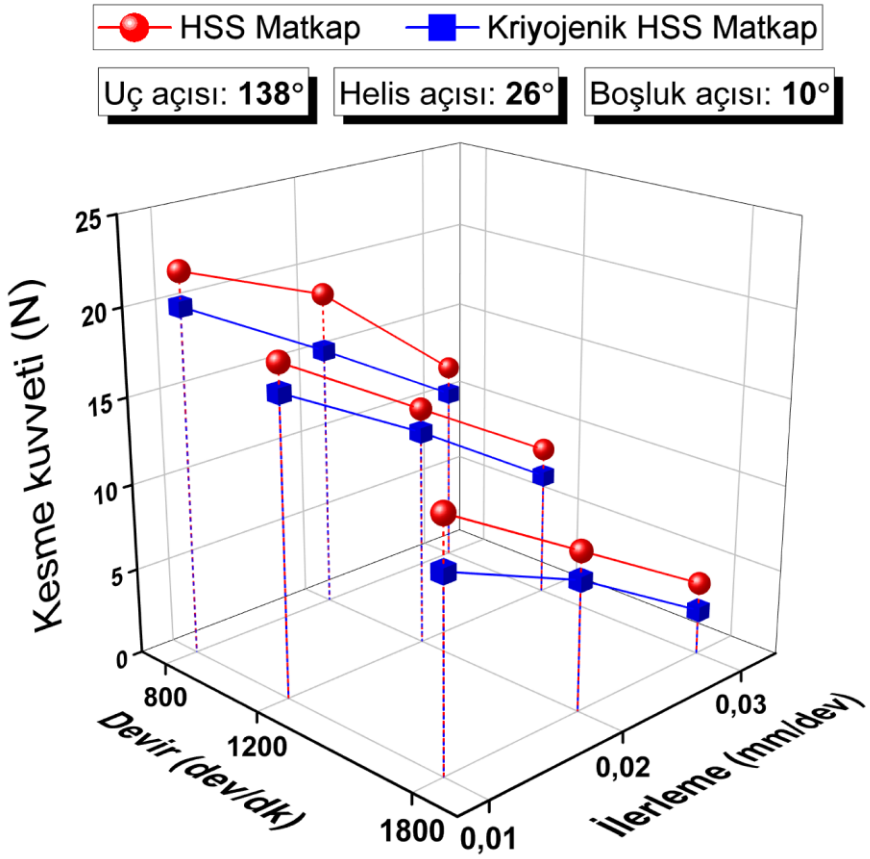
Şekil 4.23. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.23'teki grafik incelendiğinde, 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmıştır.



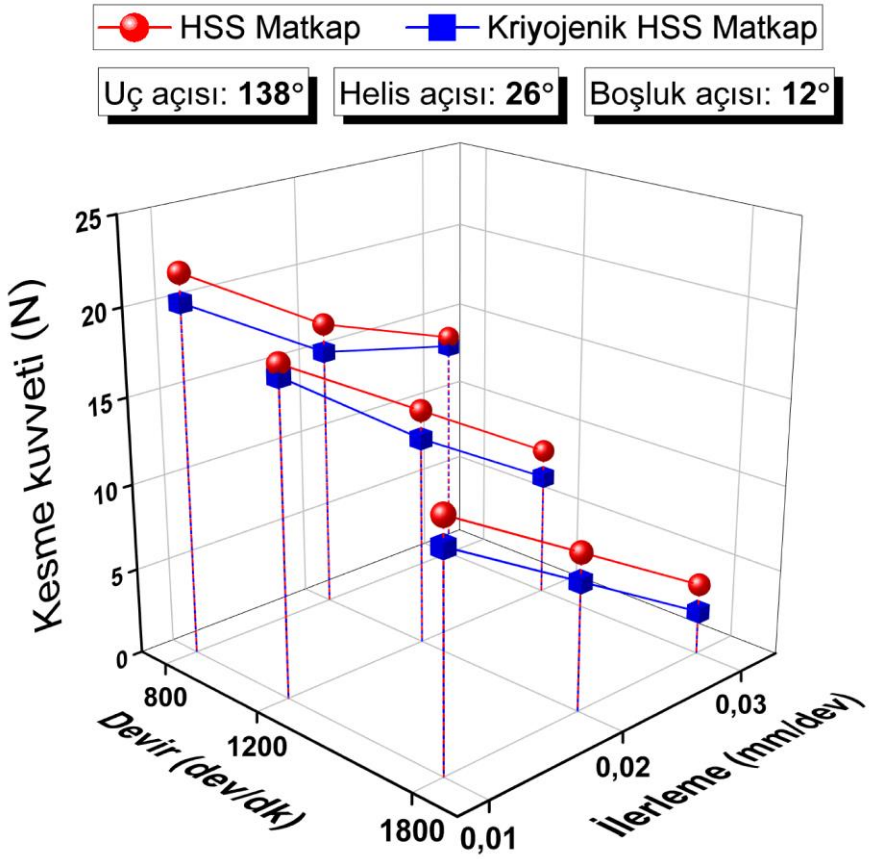
Şekil 4.24. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.24'teki grafikten anlaşıldığı gibi, 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



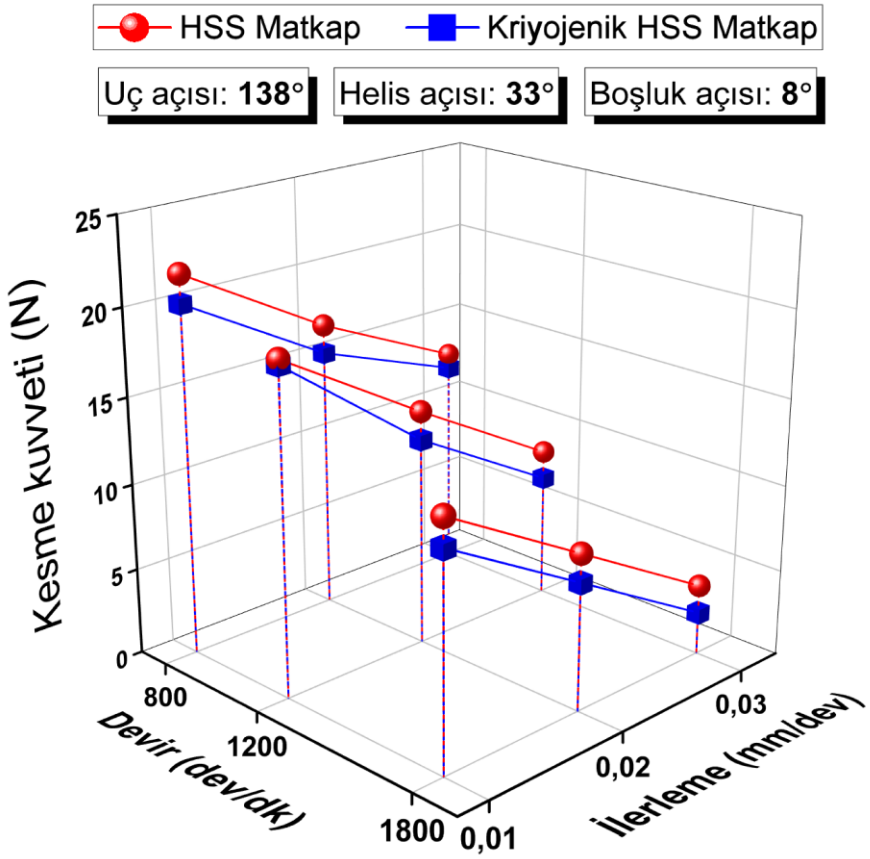
Şekil 4.25. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.25'teki grafik incelendiğinde, 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmıştır.



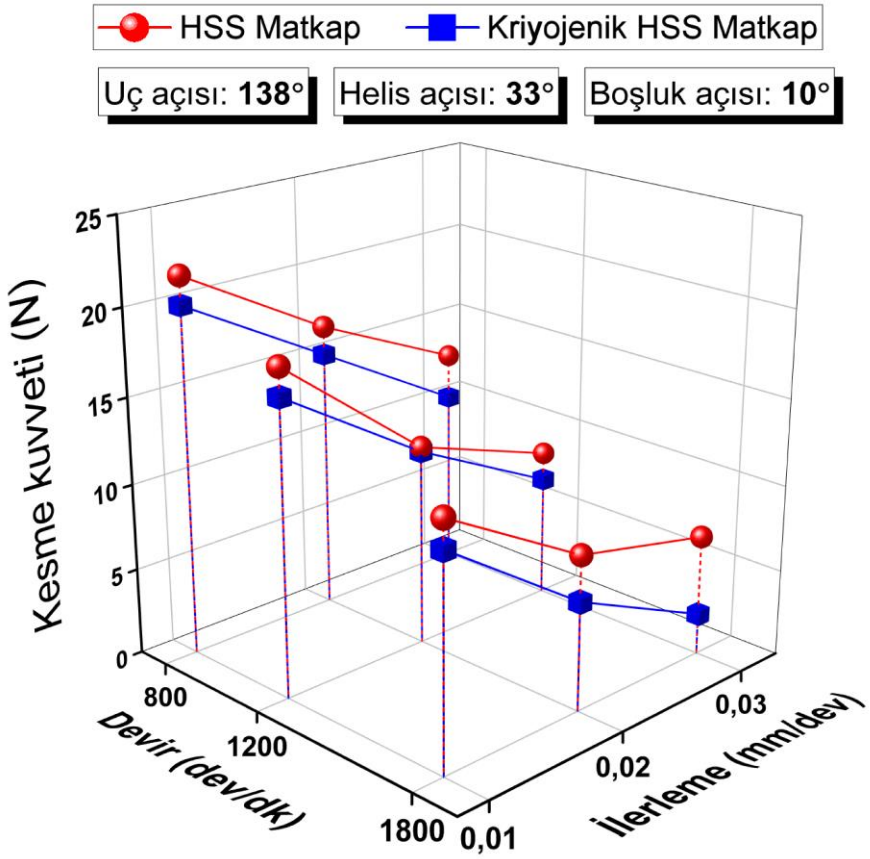
Şekil 4.26. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.26'daki grafiğe bakıldığında, 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



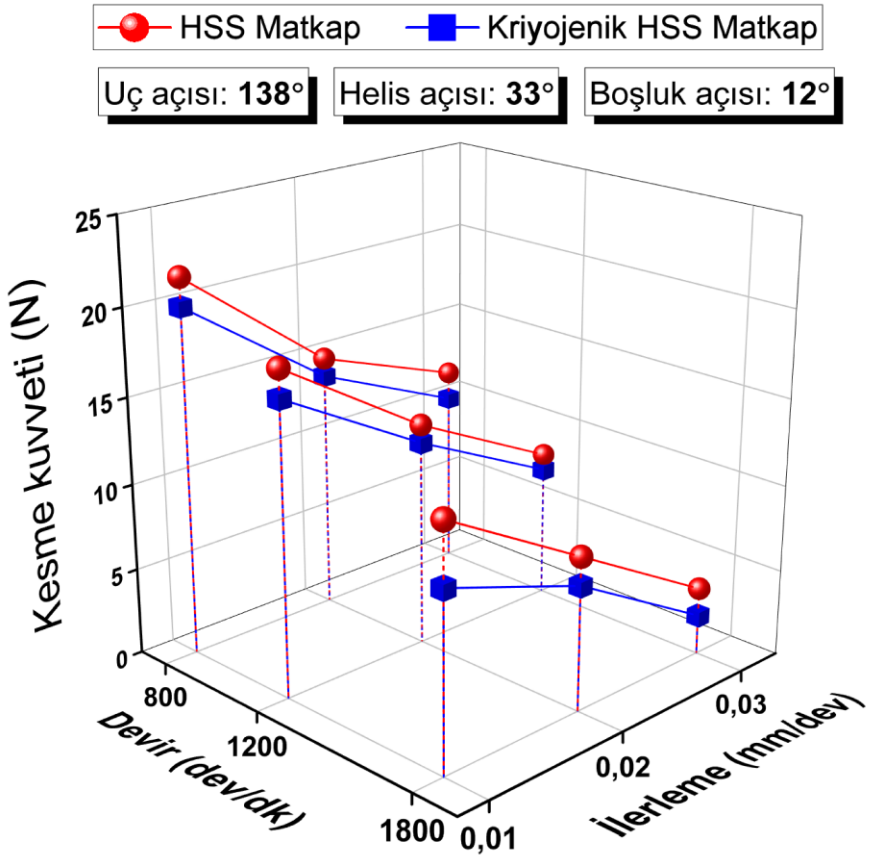
Şekil 4.27. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.27'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmıştır.



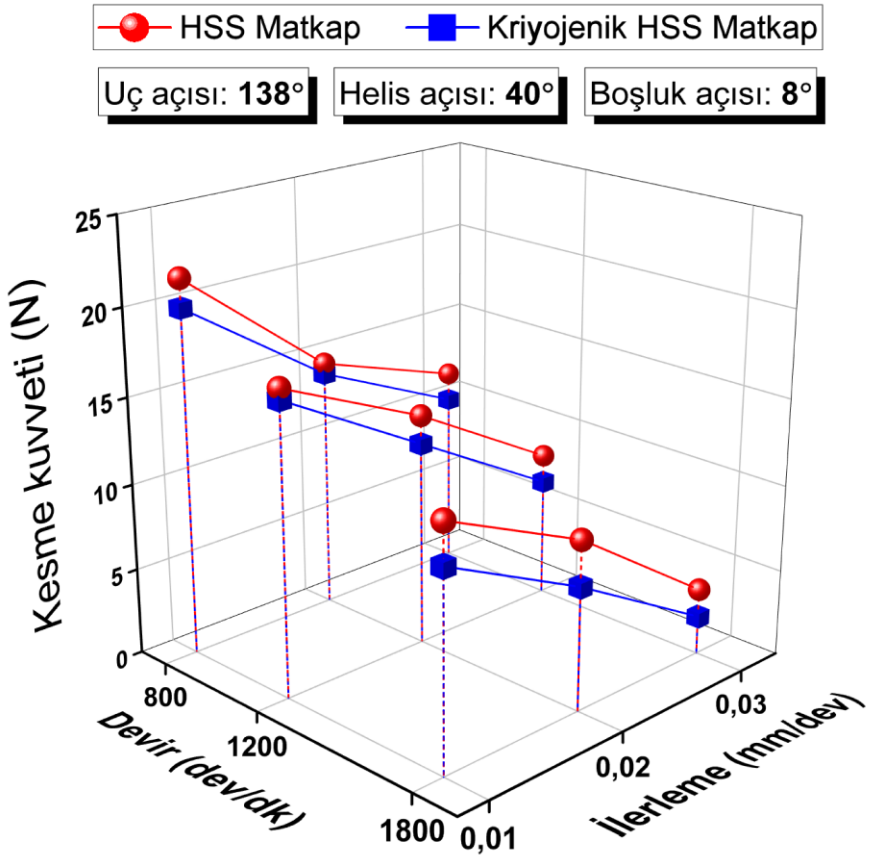
Şekil 4.28. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.28'deki grafik incelendiğinde, 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



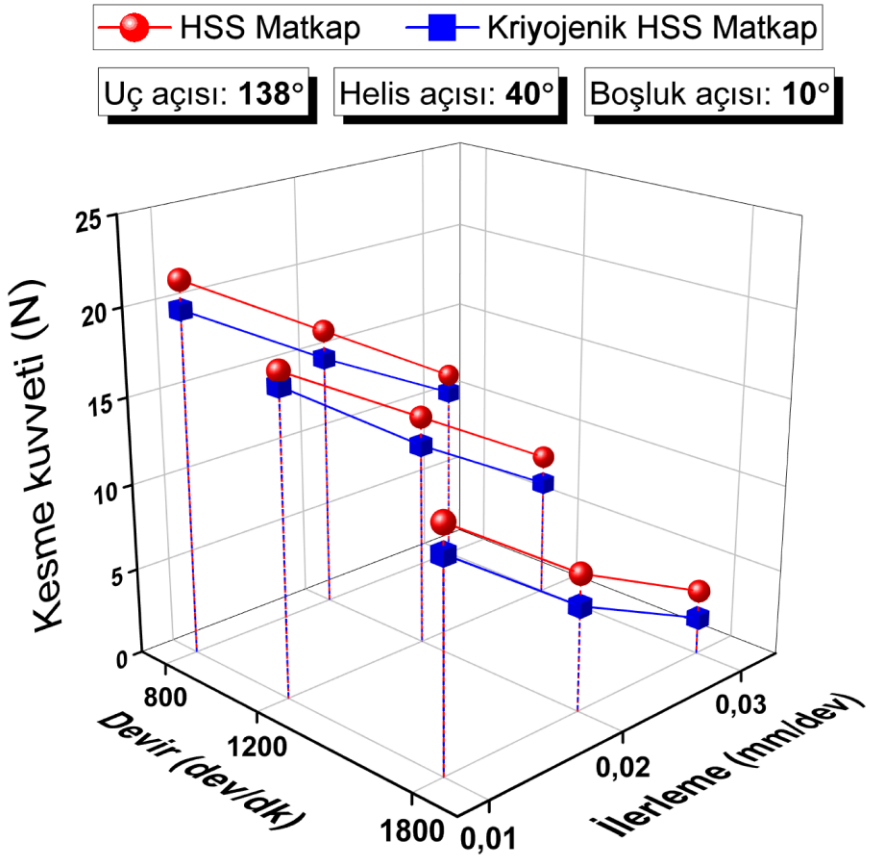
Şekil 4.29. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.29'daki grafiğe bakıldığında, 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmıştır.



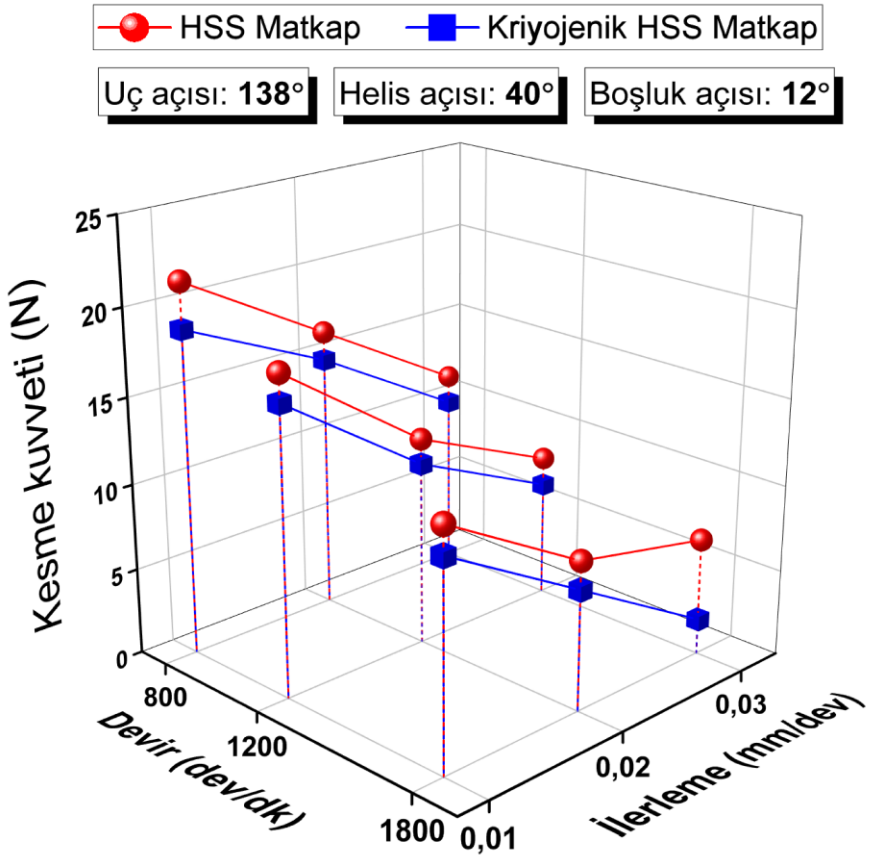
Şekil 4.30. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.30'daki grafikten anlaşıldığı gibi, 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.31. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

Şekil 4.31'deki grafik incelendiğinde, 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.32. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplarda kesme kuvveti

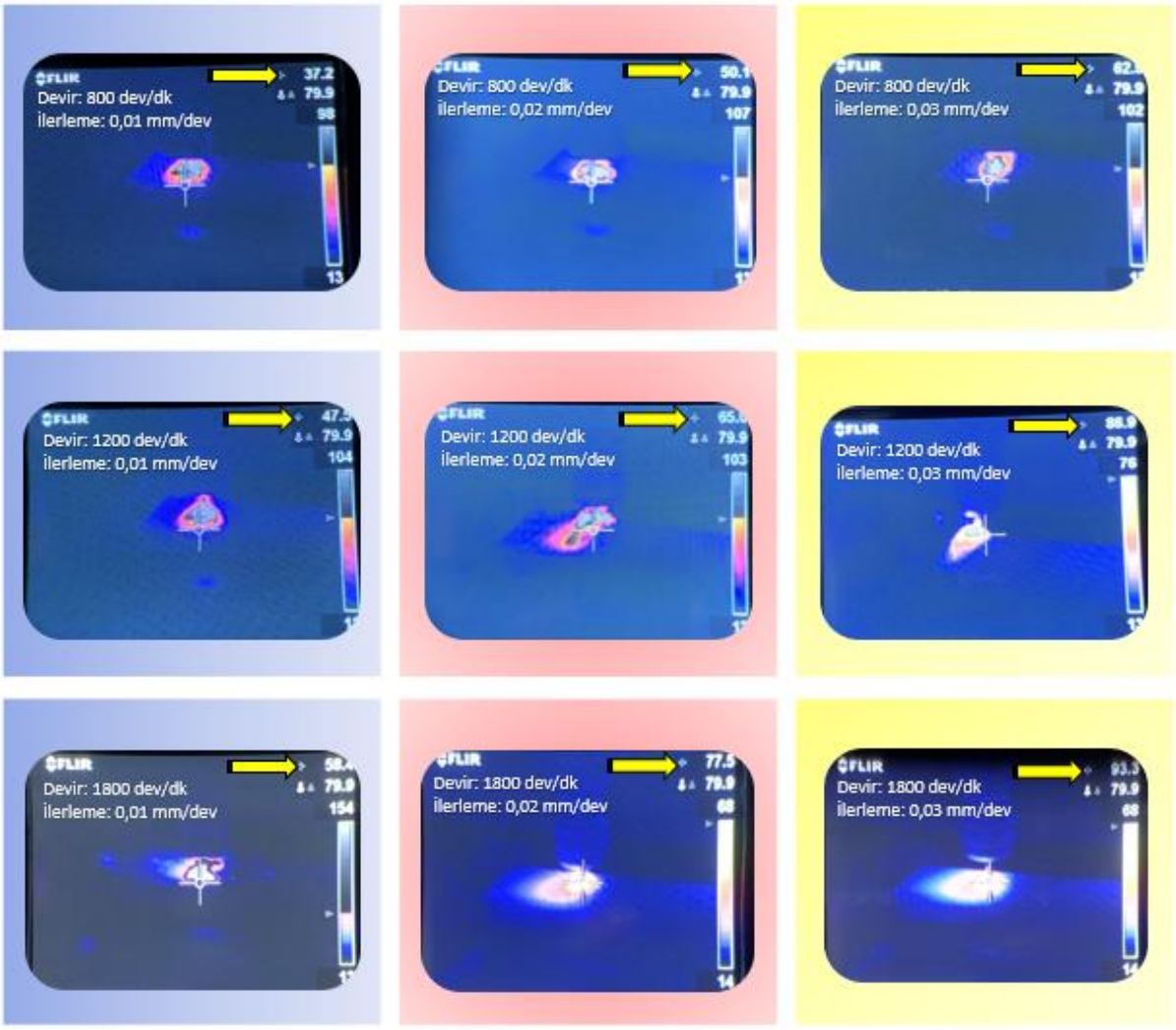
Şekil 4.32'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin işlenmesi sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.6 ile Şekil 4.32 arasındaki grafiklerde görüldüğü gibi, kompozit malzemenin delme işlemleri sırasında dinamometre sayesinde elde edilen en yüksek kesme kuvveti (Fx) 24,73 N'dur. Bu en yüksek kesme kuvveti değeri HSS matkap kullanılarak, 800 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme parametrelerinde elde edilmiştir. Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkap ile elde edilen en yüksek kesme kuvveti de yine 800 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme ile 21,67 N olarak bulunmuştur. Bu iki en yüksek kesme kuvveti değeri kıyaslandığında, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkabın aynı kompozit malzemeyi delmelerine rağmen, HSS matkabına göre kesme kuvveti değerinin %12,37 daha az olduğu görülmektedir.

İş parçalarını delme işlemlerinde genel olarak düşük kesme kuvvetlerinin oluşması arzu edilmektedir. Çünkü; kesme kuvvetleri, delik açılarak işlenen yüzeyin kalitesini ve kesici takımın da ömrünü doğrudan etkilemektedir (Bayraktar ve ark., 2017; Güven ve ark., 2011). Kompozit iş parçasında HSS matkaplar ile yapılan delme işlemleri sonucunda elde edilen en düşük kesme kuvveti 5,88 N'dur. Bu en düşük kesme kuvveti değeri 1800 dev/dk ve 0,03 mm/dev ilerleme parametrelerinde elde edilmiştir. Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile yapılan delme işlemlerinde ise en düşük kesme kuvveti 2,05 N'dur. Elde edilen bu en düşük kesme değeri de yine 1800 dev/dk ve 0,03 mm/dev ilerleme parametrelerinde elde edilmiştir. Bu iki en düşük kuvvet değeri kıyaslandığında, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkabın aynı kompozit malzemeyi delmelerine rağmen, HSS matkabına göre kesme kuvveti değerinin %65,13 daha az olduğu görülmektedir.

Şekil 4.6 ile Şekil 4.32 arasındaki grafiklerde görüldüğü gibi, kompozit iş parçasının delinmesi esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplarda daha az olduğu görülmektedir. Kriyojenik ve temperleme işlemleri uygulanmış HSS matkabın mikrosertlik değerinin normal HSS matkaba göre yaklaşık %14 oranında artmış olduğu mikrosertlik analizi kısmında sebepleri ile birlikte açıklanmıştı. Bu sonucu destekleyecek şekilde yapılan bir çalışmada, HSS, TiN kaplı HSS ve sert karbür matkaplar kullanılarak kompozit malzeme üzerinde yapılan delme deneylerinde, en düşük kesme kuvveti, en sert özelliklere sahip olan sert karbür matkap ile elde edilmiştir. Bu sertlik farkı sayesinde de diğer kesici takımlara göre daha az aşınma meydana gelmektedir (Coesel, 1994; Şanlıtürk, 2020).

İş mili devri ve ilerlemeye göre, Şekil 4.6 ile Şekil 4.32 arasındaki grafiklerden de anlaşıldığı gibi, devir sayısı ve ilerleme arttıkça kesme kuvveti değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu kesme kuvveti azalmalarının eğilimi, literatürde bulunan bazı çalışmalarda da görülmektedir (Faraz ve ark., 2009; Feito ve ark., 2014; Shyha ve ark., 2009). Devir sayısının ve ilerlemenin artışına bağlı olarak, kesme kuvvetlerindeki azalma, kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın artışının etkisiyle iş parçasının daha kolay deformasyon olmasından kaynaklanmaktadır (Çiftçi, 2005; Okay ve Islak, 2021). Burada, devir sayısının artışına bağlı olarak, delik açılan bölgede ısı artışı meydana gelmekte, kompozit iş parçasının ısı iletme yeteneğinin düşüklüğü nedeniyle de kompozit iş parçası yumuşamaya başlayarak, kesme için gerekli kuvvette azalmaktadır (Faraz ve ark., 2009; Kishore ve ark., 2009; Krishnaraj ve ark., 2012; Palanikumar, 2011; Xu ve ark., 2014). Bu durumu destekleyecek şekilde, kompozit malzeme üzerinde yapılan delme deneyleri sırasında, termal kamera ile ölçülen sıcaklık değerleri de devir sayısı ve ilerleme arttıkça, iş parçasının işlenmesi esnasında çıkan talaşın sıcaklığının artmış olduğunu göstermektedir. Şekil 4.33'te, devir sayısı ve ilerleme artışına bağlı olarak kompozit malzemenin delinmesi esnasında çıkan talaşın sıcaklık değişimleri verilmiştir. Ayrıca, kompozit malzemenin Tablo 4.1'de verilen mikrosertlik değerinin (36,3 HV) az olması, yani yumuşak yapıda olması da devir ve ilerleme miktarının artışına rağmen kesme kuvvetlerinin azalmasında önemli bir etkendir.



Şekil 4.33. Devir ve ilerleme artışına bağlı sıcaklık değişimleri

Kompozit malzeme üzerinde yapılan kör delme deneyleri esnasında elde edilen kesme kuvvetleri kullanılarak yapılan Taguchi analizleri sonucunda en düşük kesme kuvvetinin 128° uç açısana sahip kriyojenik ve temperleme işlemi uygulanmış HSS matkaplar ile elde edilmesine rağmen, uç açılarına bağlı kesme kuvvetleri arasında çok büyük bir kesme kuvveti farkı görülmemiştir. Ancak, bu çalışmada elde edilen sonuçlar, iş parçası olarak kullanılan kompozitlerin delinmesi için kullanılan matkap uçları arasında en optimum uç açısının 128° olduğunu göstermiştir. Bu durumu destekleyecek şekilde, takım ömrü deneyleri kısmında da belirtildiği gibi en az aşınmanın 128° uç açısına sahip matkaplarda olduğu görülmektedir. Ayrıca, kesme kuvvetleri arasında büyük bir fark olmaması durumu helis açısı ve boşluk açılarında da görülmektedir. Taguchi analizlerinin

göstermiş olduğu gibi, en düşük kesme kuvvetine, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısı ile ulaşılmıştır. Kesme kuvvetlerine göre değerlendirildiğinde, uç açılarında olduğu gibi, kriyojenik ve temperleme işlemi uygulanmış HSS matkaplar ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, çalışmada kullanılan kompozit iş parçalarının delinmesi için kullanılan matkapların helis ve boşluk açıları arasında en optimum helis açısı ve boşluk açısının da sırasıyla, 33° ve 12° olduğu bulunmuştur. İlaveten, iş parçası olan kompozit malzemenin Tablo 4.1'de verilen mikrosertlik değerinin (36,3 HV) az olması, yani yumuşak yapıdaki kısmının olması da helis ve boşluk açılarının kesme kuvvetine olan etkilerini sınırlandırmaktadır (Krishnaraj, 2013; Giasin, 2016).

4.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

4.4.1. Yüzey pürüzlülüğü için Taguchi analiz sonuçları

Taguchi deney düzeneğine göre hazırlanmış olan ve Tablo 3.1'de belirtilen parametre ve seviyelere göre üzerinde delme işlemleri yapılan kompozit iş parçasında açılan kör deliklerin içerisinden, pürüzlülük ölçme cihazı ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri, Minitab yazılım programında kullanılmıştır. Program sayesinde, Tablo 4.3, Şekil 4.34 ile Şekil 4.35'te de görülebildiği gibi, etki faktörleri, ana etkiler ve normal olasılık sonuçları elde edilmiştir.

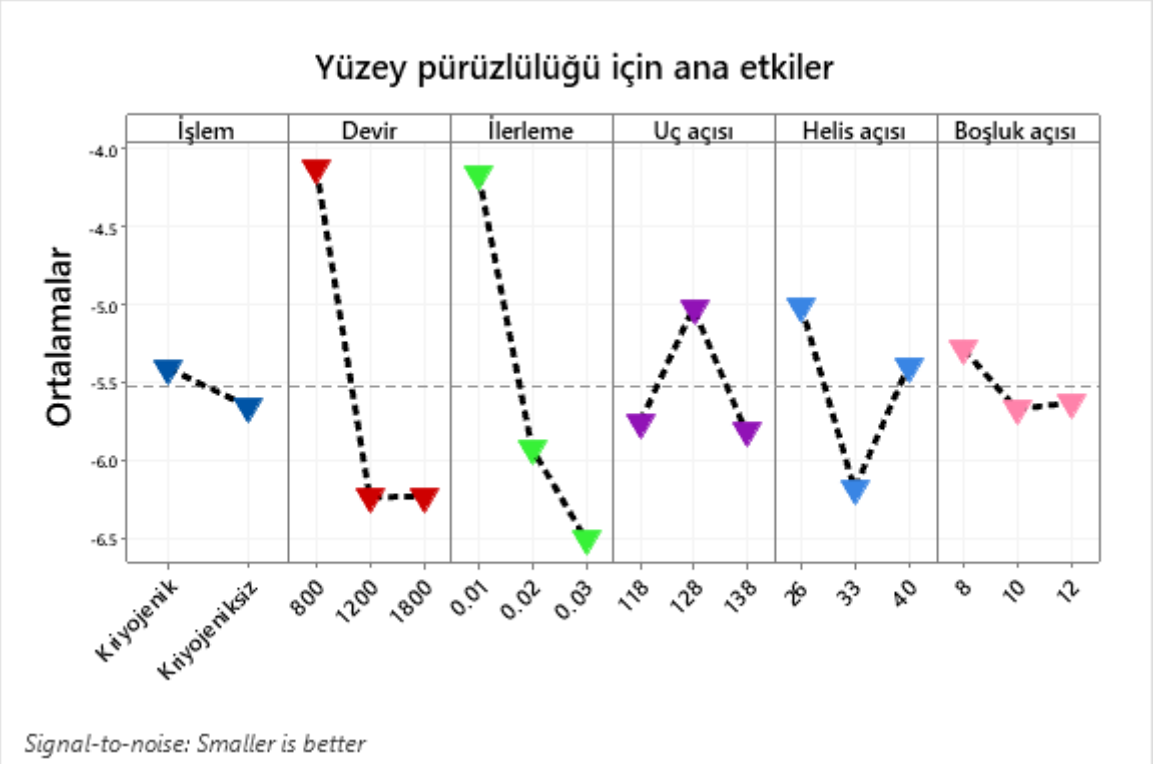
Tablo 4.3 ve Şekil 4.34 birlikte değerlendirildiğinde, yüzey pürüzlülüğü değerleri için en etkin parametrenin ilerleme faktörü olduğu ayrıca sırasıyla, devir sayısı, helis açısı, uç açısı, boşluk açısı ve işlem (Kriyojeniksiz/kriyojenikli) olduğu görülmüştür. Tablo 4.3'te yüzey pürüzlülüğü (Ra) için etki faktörleri verilmiştir.

Tablo 4.3. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için etki faktörleri

Seviye	İşlem	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dev)	Uç açısı (°)	Helis açısı (°)	Boşluk açısı (°)
1	-5,403	-4,111	-4,155	-5,751	-4,999	-5,281
2	-5,648	-6,237	-5,920	-5,016	-6,183	-5,669
3		-6,229	-6,502	-5,810	-5,395	-5,627
Delta	0,245	2,127	2,346	0,794	1,184	0,388
Etki sırası	6	2	1	4	3	5

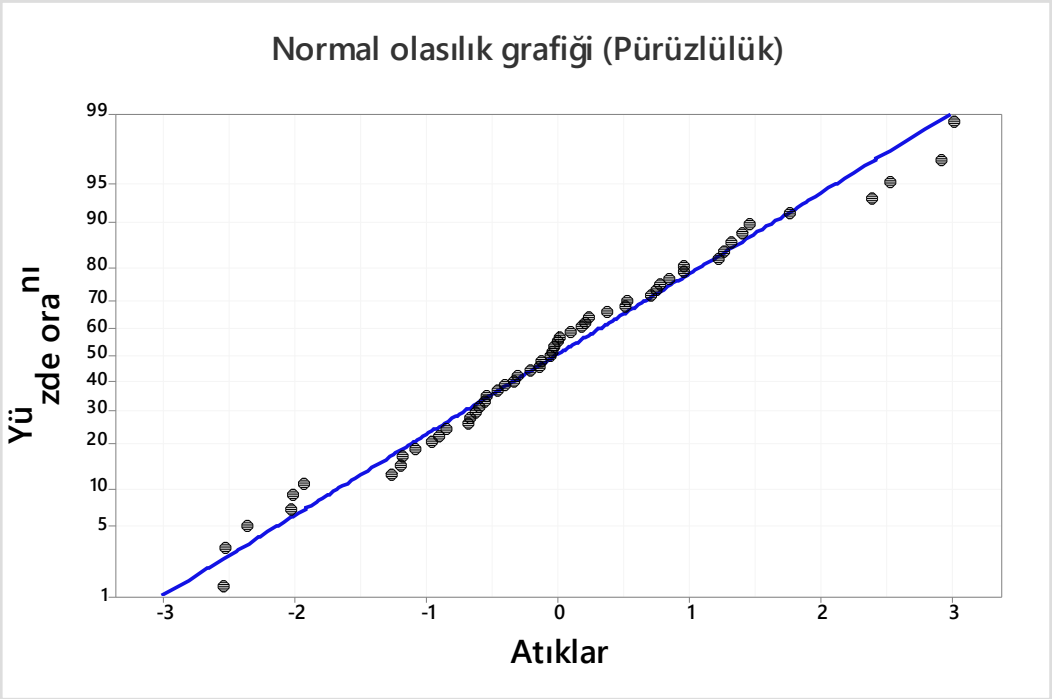
Kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerine bağlı olarak, “En küçük değer daha iyi” fonksiyonuna göre Taguchi analizi ile elde edilen sonuçlar Şekil 4.34’te verilmiştir. Şekil 4.34’teki yüzey pürüzlülüğü için ana etkiler grafiğine bakıldığında, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplardan alınan sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir.

Delme işlemleri yapılan kompozit iş parçası için en uygun işleme parametrelerinin, devir sayısı için 800 dev/dk ve ilerleme hızı için ise 0,01 mm/dev olduğu bulunmuştur. Ayrıca, delme işlemi yapılan bu kompozit malzeme için kullanılacak olan en uygun matkabın geometrik özelliklerinin, uç açısı için 128°, helis açısı için 26° ve boşluk açısı için ise 8° olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.34. Faktörlerin Yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerindeki ana etkileri

Şekil 4.35'teki normal olasılık grafiğine baktığımızda, artık değerlerin, mavi renkteki lineer çizgi etrafında düzgün bir dağılıma sahip olduğu görülmekte olup elde edilen bu sonuçlar, oluşturulan modelin tutarlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.35. Faktörlerin Yüzey pürüzlülüğü (Ra) için normal olasılık grafiği

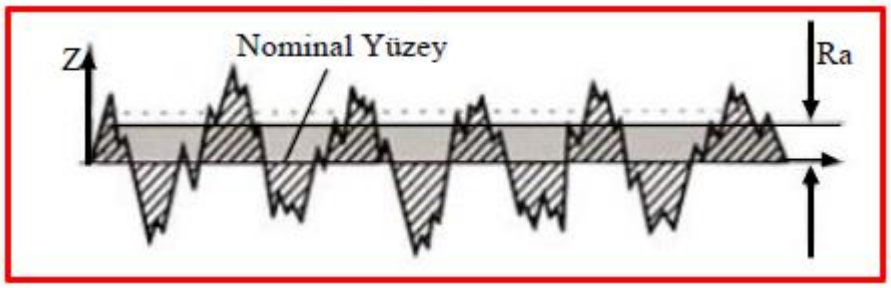
4.4.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Kesici takımlar kullanılarak işlenmiş bir iş parçasının yüzey yapısı kalite yönünden en önemli şartlardan birisidir (Bayraktar ve ark., 2017; Tekaslan ve ark., 2008). İşlenmiş parçaların yüzey kalitesi, performanslarını etkileyebileceğinden genellikle, bitmiş parçaların kabulü esnasında bir kriter olarak kullanılırlar (Blau ve ark., 1996; Giasin, 2016). Delme teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte, kompozit iş parçalarının kesici takımlar ile işlenmesinden sonra iyi bir yüzey pürüzlülüğüne sahip olmalarına daha fazla ilgi gösterilmeye başlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, kesici takım geometrisi, kesme parametreleri ile kesici takımın iş parçasını işlemesi anında, iş parçası üzerinde meydana gelen titreşimlerden oldukça etkilenmektedir. Kompozit malzemelerde veya metallerde, delik delme işleminden sonra delik yüzeyinin pürüzlülüğü, kullanımı esnasında yorulma ve aşırı aşınmaya neden olabildiği gibi malzemenin ürün performansını ve korozyona

direnme kabiliyetini de önemli şekilde azaltabilmektedir (Giasin, 2016; Palanikumar, 2011; Tsao ve Hocheng, 2008).

Yüzey pürüzlülüğü yalnızca sürtünme, aşınma ve yağlama gibi tribolojik özelliklerden değil aynı zamanda sızdırmazlık, ısı iletimi ve hidrodinamik benzeri farklı alanlarda da önemsenmesi gereken bir faktördür (Ekmen, 2021). Kesici takımlar ile talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak yapılan yüzey işlemeleri birçok faktörden etkilenmektedir (Çoğun ve Özses, 2002). *Belirtilen bu faktörler*; kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı, kesici takımın geometrik yapısı, kesici takımda meydana gelen titreşimler, talaşın kesici ucun üzerine yapışması (BUE), işlenen iş parçası üzerinde meydana gelen titreşimler ve işlenen iş parçasından süreksiz talaşın çıkmasıdır (Kaplan, 2010).

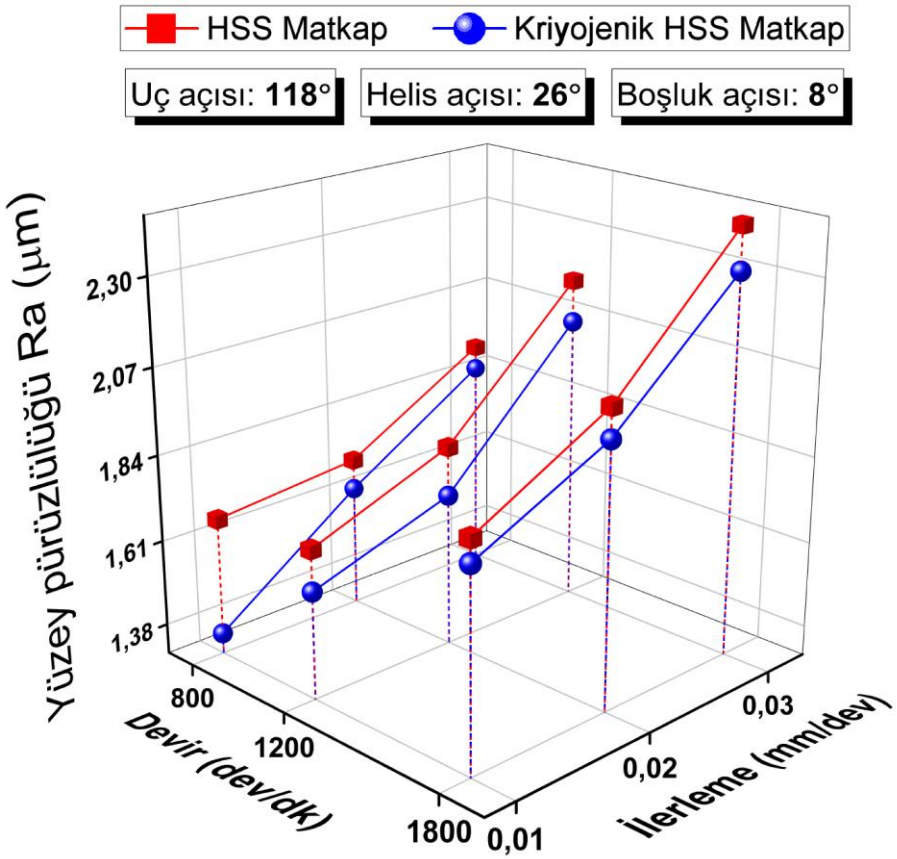
Ortalama pürüzlülük değerleri, kullanıma hazırlanmış iş parçasının kabul veya reddedilmesi için kullanılan temel bir göstergedir (Giasin, 2016). Bu yüzden önemli bir göstergedir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılırken, ortalama değerin göstergesi olan "Ra" sembolü kullanılmaktadır. Bu yüzey pürüzlülüğü değeri Şekil 4.36'da görülebildiği gibi, yüzeyin nominal ölçüsü olarak artı ve eksi yönde bulunan çukur ve yükseltilerin değerlerinin ortalamasını µm cinsinden belirtmektedir (Demir ve Toktaş, 2014).



Şekil 4.36. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) (Demir ve Toktaş, 2014)

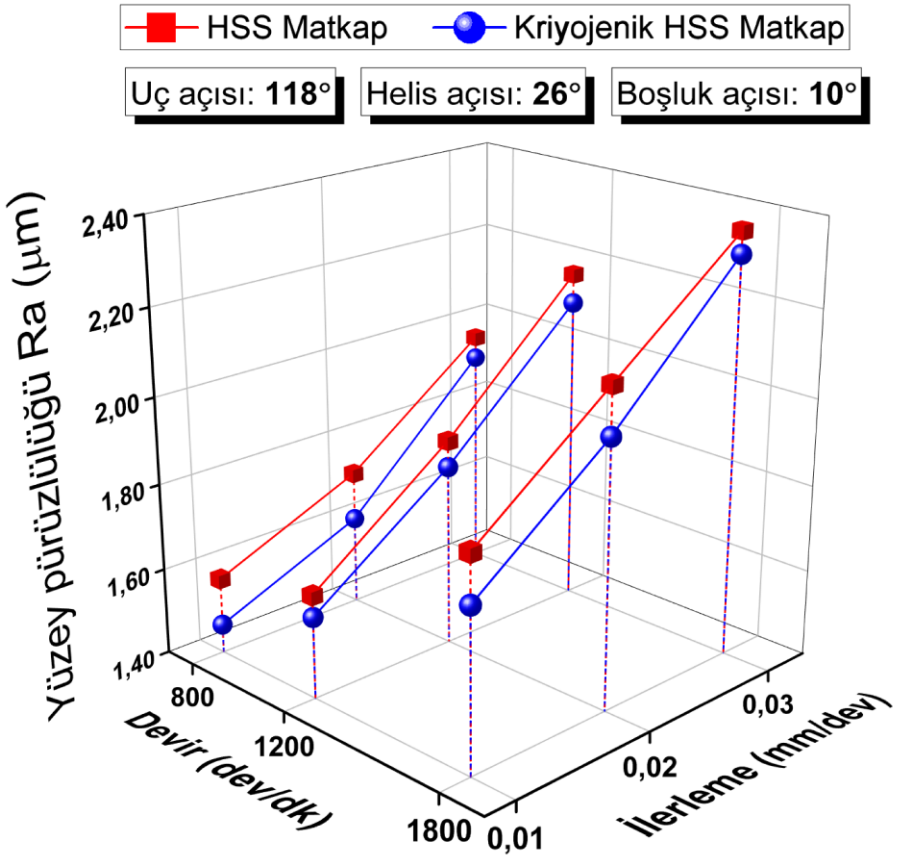
Kompozit malzeme üzerinde yapılan her delme işleminde, farklı matkap uçları, farklı parametre ve seviyelere sahip olacak şekilde Tablo 3.1'de belirtildiği gibi Taguchi deney dizaynına göre yapılmıştır. Bu deney dizaynında belirtildiği gibi, HSS matkaplardan 27 adet ile kriyojenik ve temperlenmiş HSS matkaplardan ise 27 adet olmak üzere toplam 54 adet matkap, tekli delik delme işlemlerinde kullanılmıştır. Yapılan her kuru şartlar altındaki kör delme deneyinden sonra, ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, deliğin farklı yerlerinden 4,8 mm ölçme boyunda yapılmıştır. Ölçümlerin sağlıklı olması amacıyla her bir kör deliğin 3'er defa ölçümü yapılmış olup bu değerlerin aritmetik

ortalamaları alınmıştır. Ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri EK-2'de tablo halinde sunulmuş olup Taguchi analiz sonuçları ile birlikte kullanılarak elde edilen grafikler Şekil 4.37 ile Şekil 4.63 arasında aşağıda gösterilmiştir.



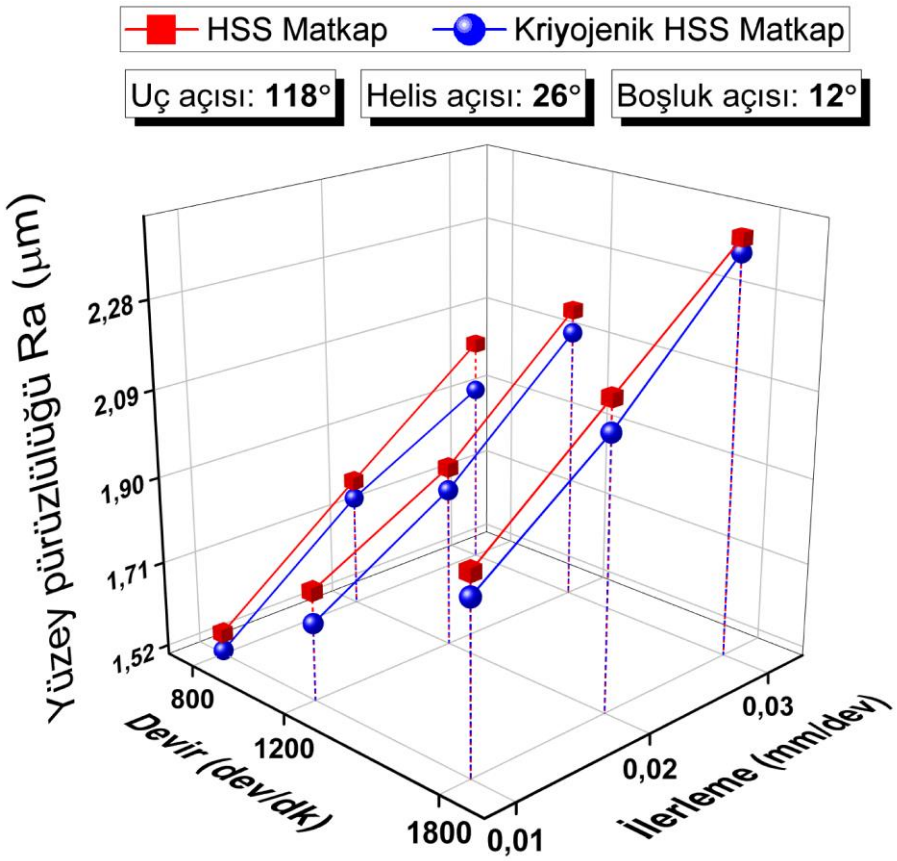
Şekil 4.37. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.37'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



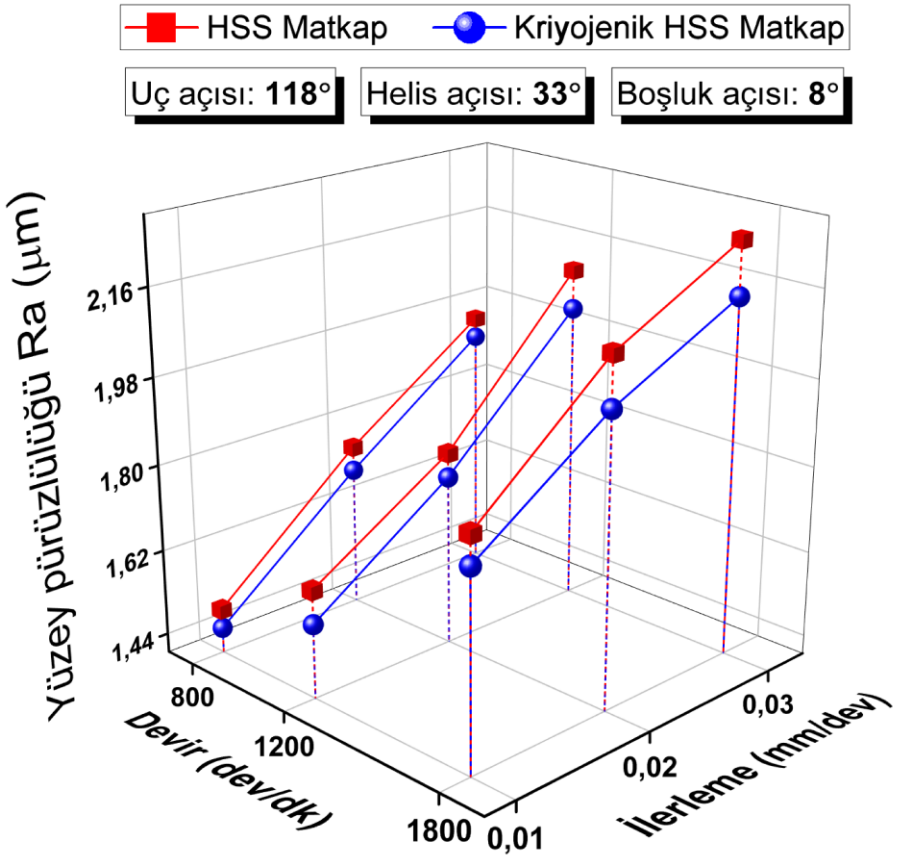
Şekil 4.38. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.38'deki grafik incelendiğinde, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



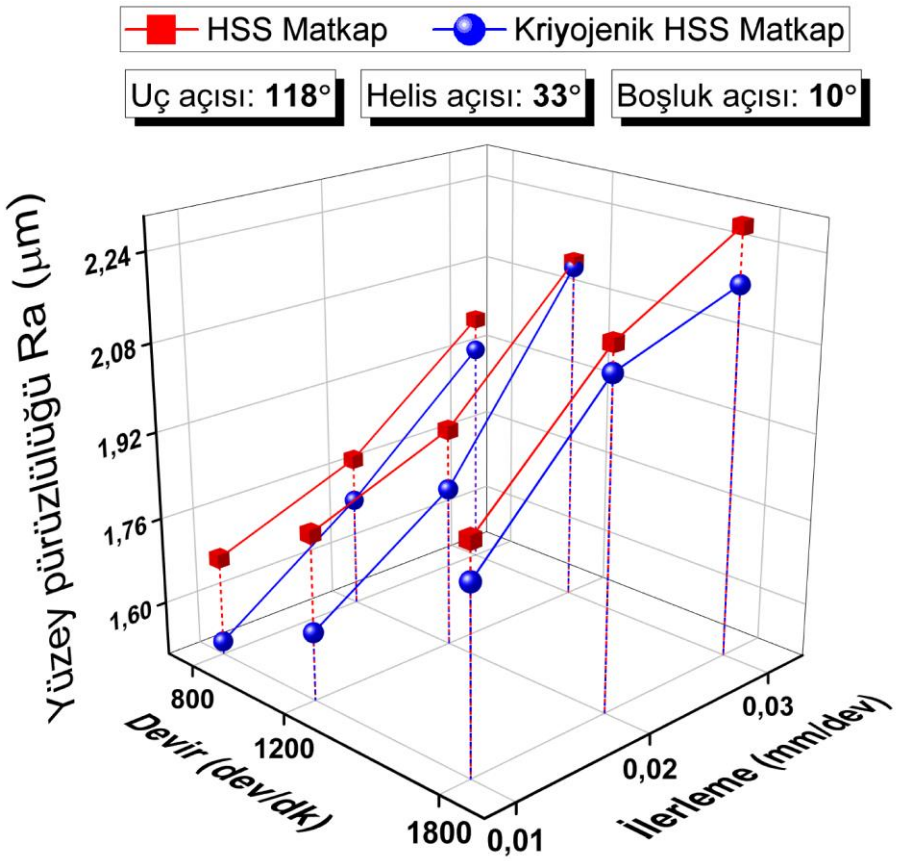
Şekil 4.39. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.39'daki grafiğe bakıldığında, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



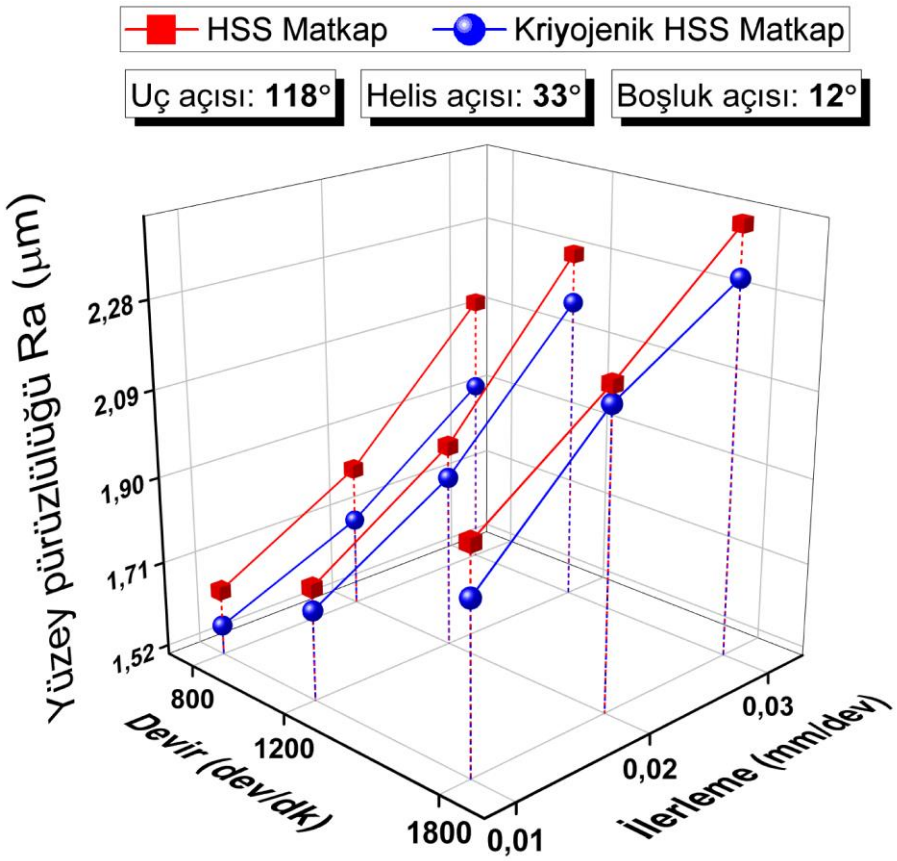
Şekil 4.40. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.40'taki grafikten anlaşıldığı gibi, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



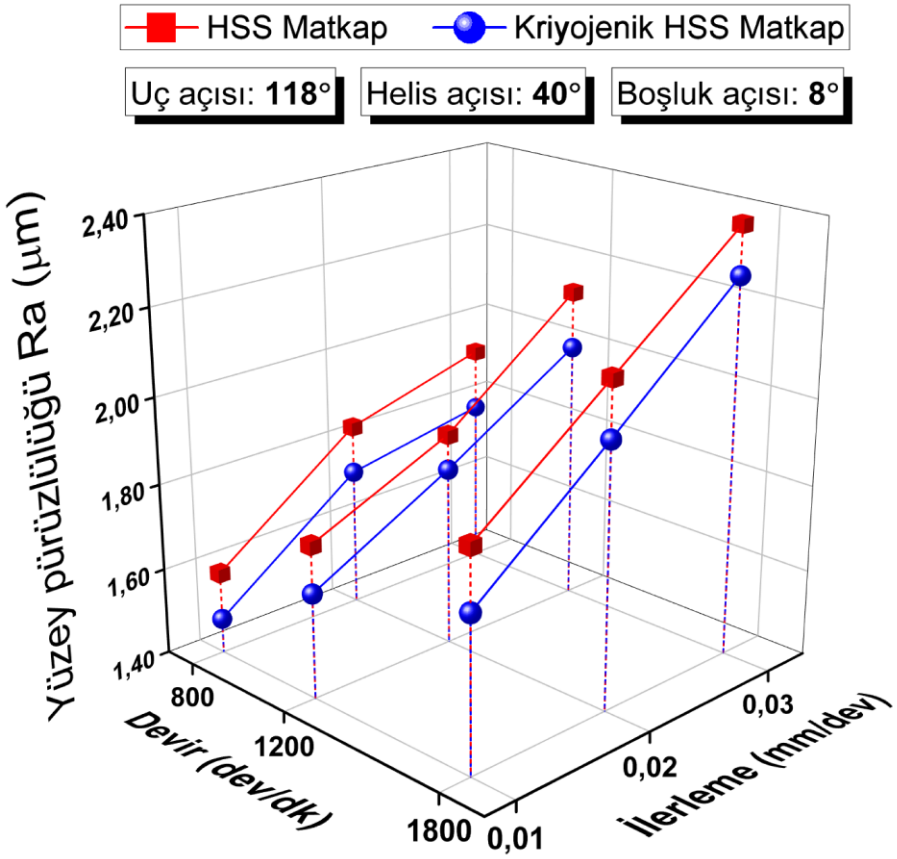
Şekil 4.41. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.41'deki grafik incelendiğinde, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



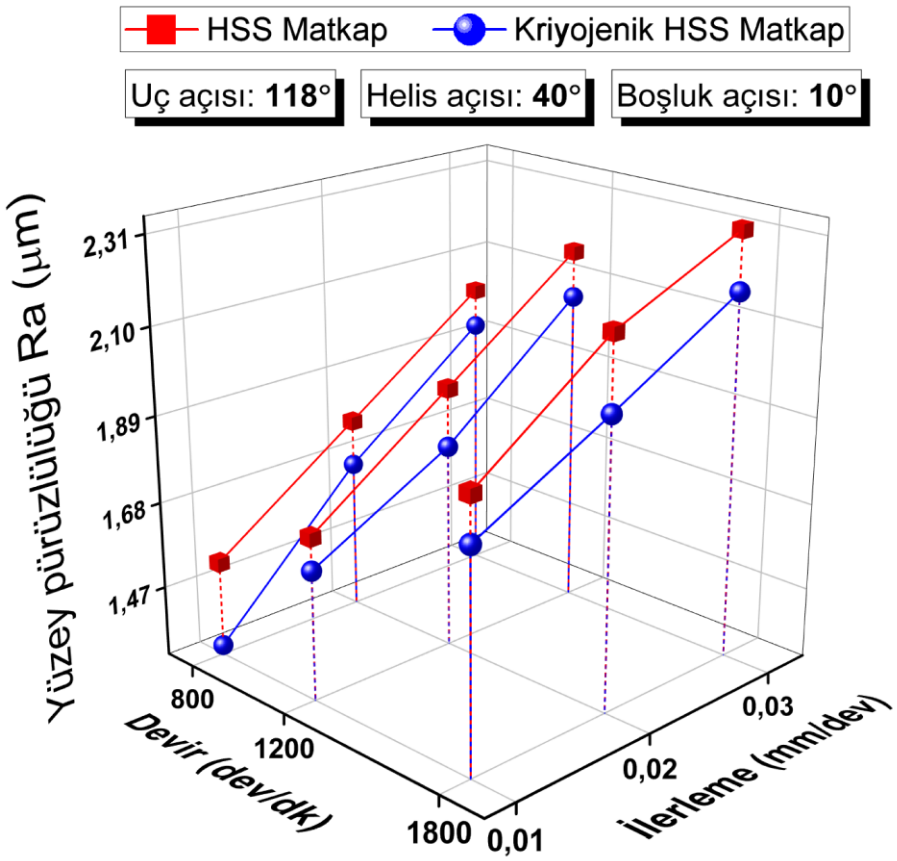
Şekil 4.42. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.42'deki grafiğe bakıldığında, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



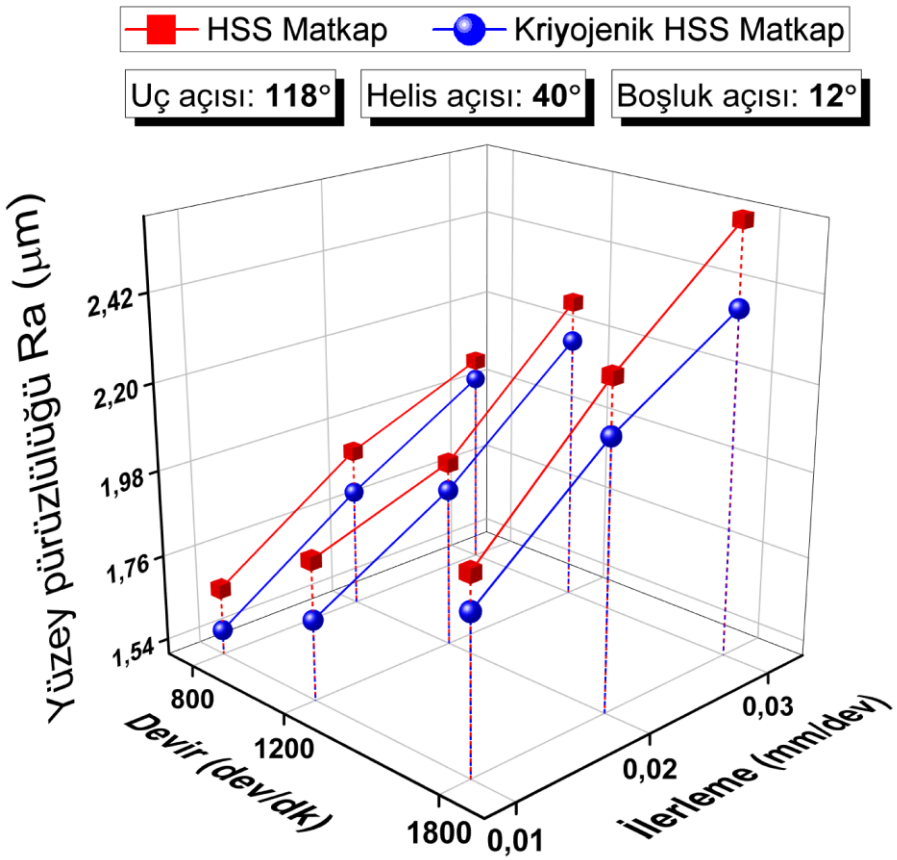
Şekil 4.43. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.43'teki grafik incelendiğinde, 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



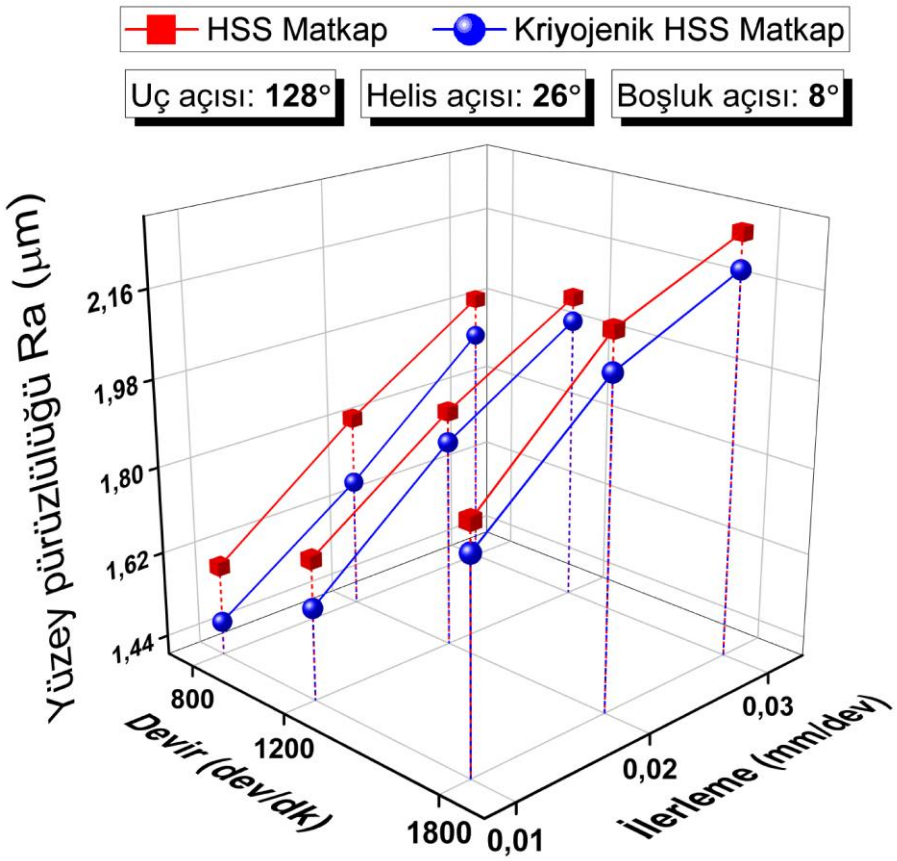
Şekil 4.44. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.44'teki grafikten anlaşıldığı gibi, 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



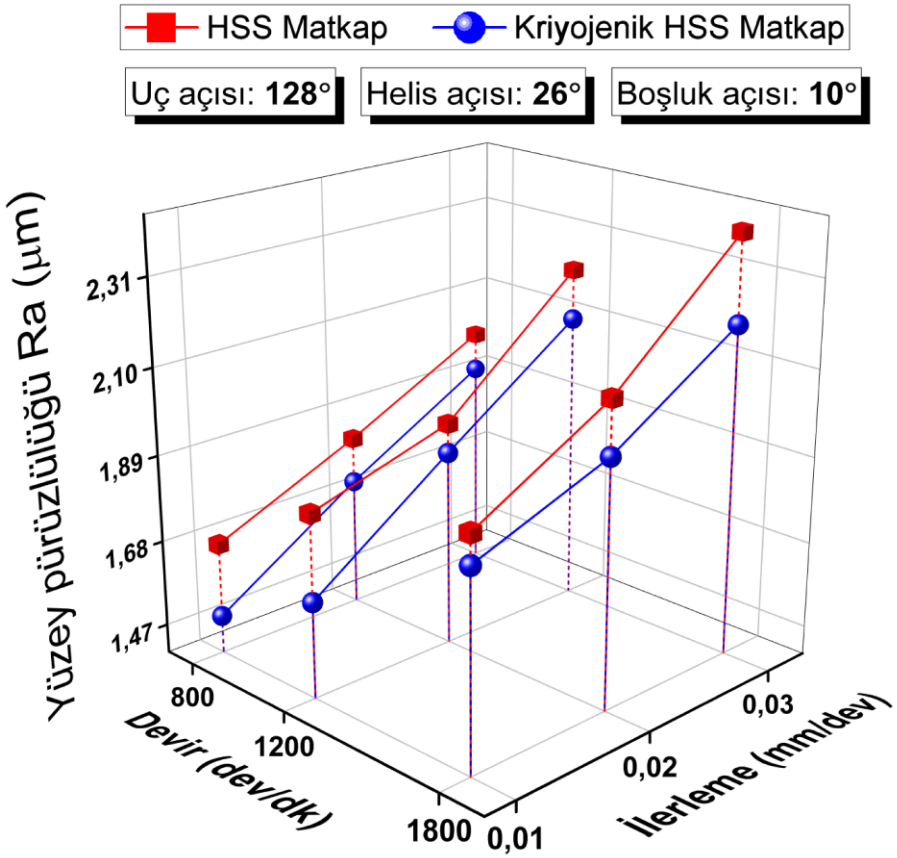
Şekil 4.45. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.45'teki grafiğe bakıldığında, 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



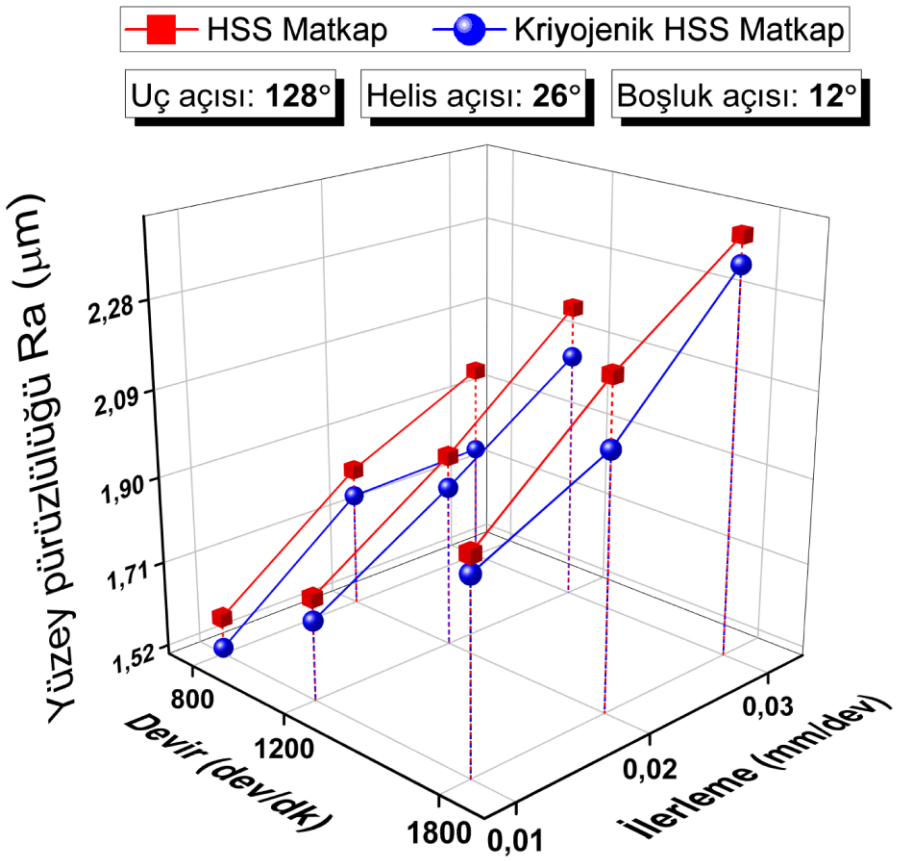
Şekil 4.46. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.46'daki grafik incelendiğinde, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



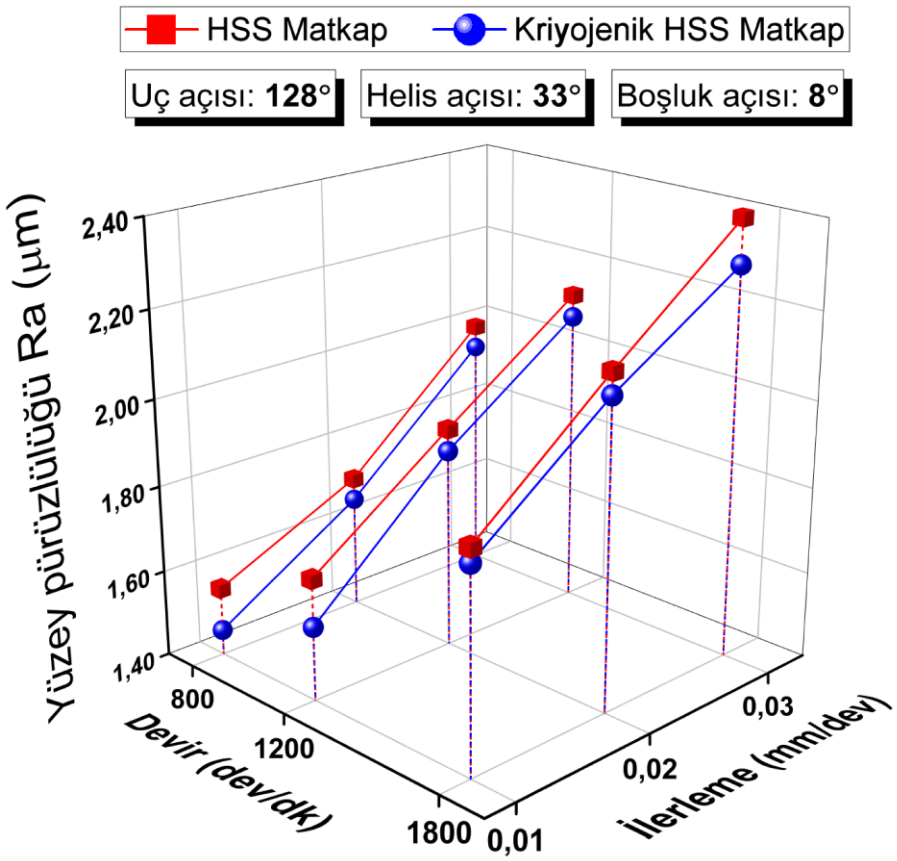
Şekil 4.47. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.47'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



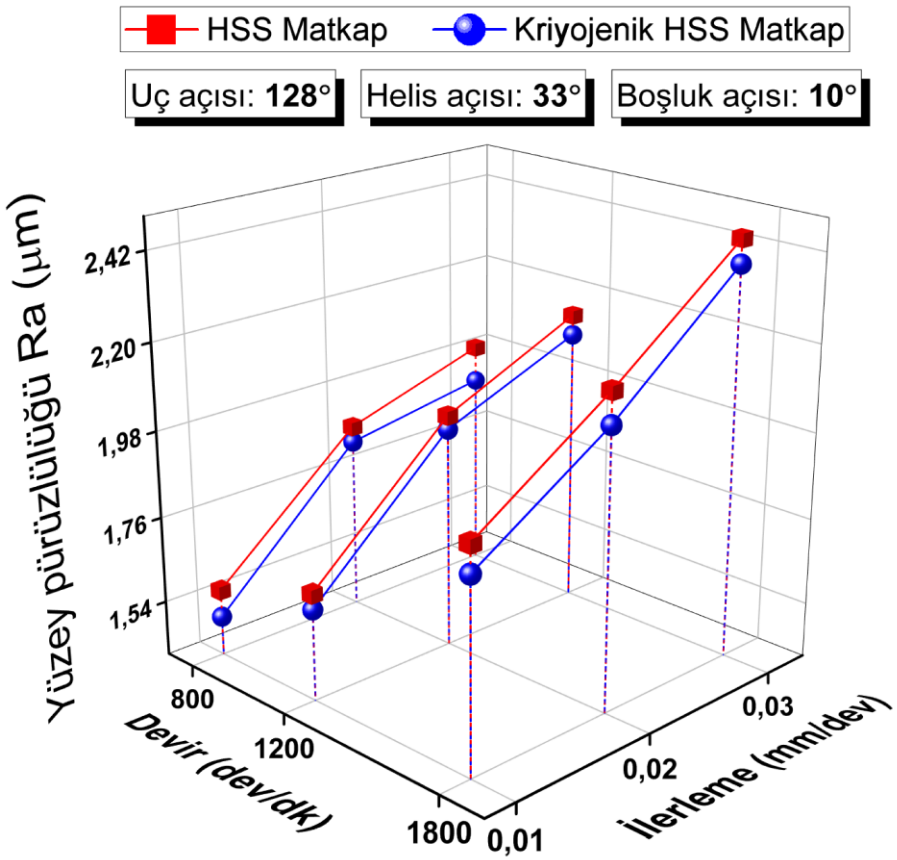
Şekil 4.48. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.48'deki grafik incelendiğinde, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



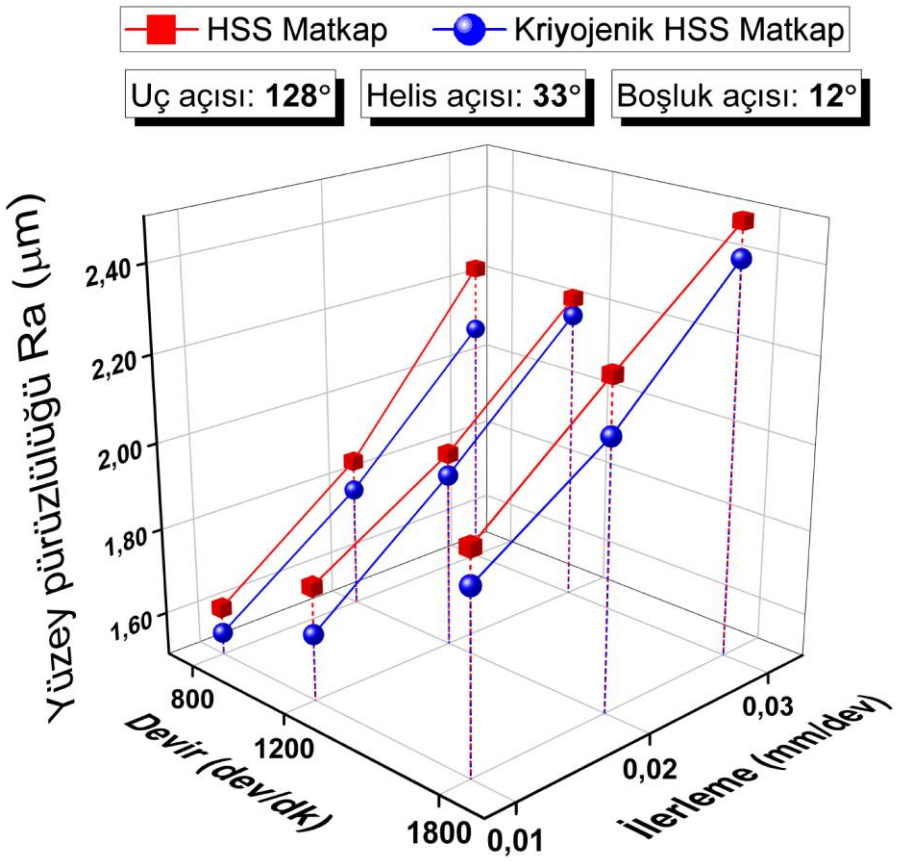
Şekil 4.49. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.49'daki grafiğe bakıldığında, 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



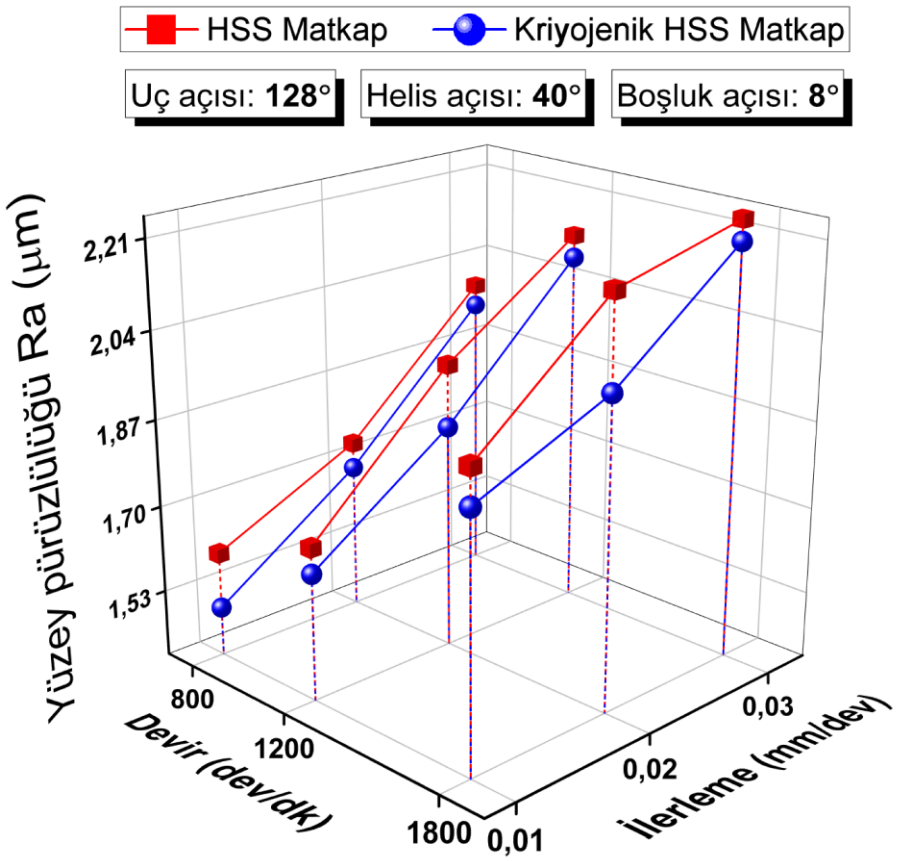
Şekil 4.50. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.50'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



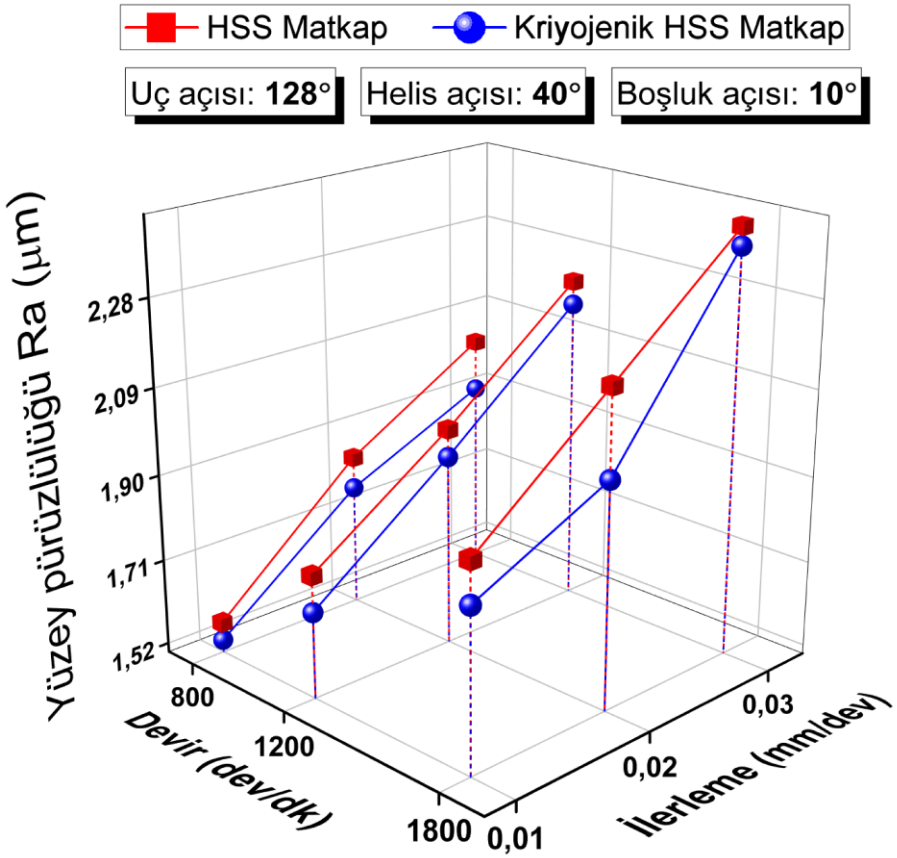
Şekil 4.51. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.51'deki grafik incelendiğinde, 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



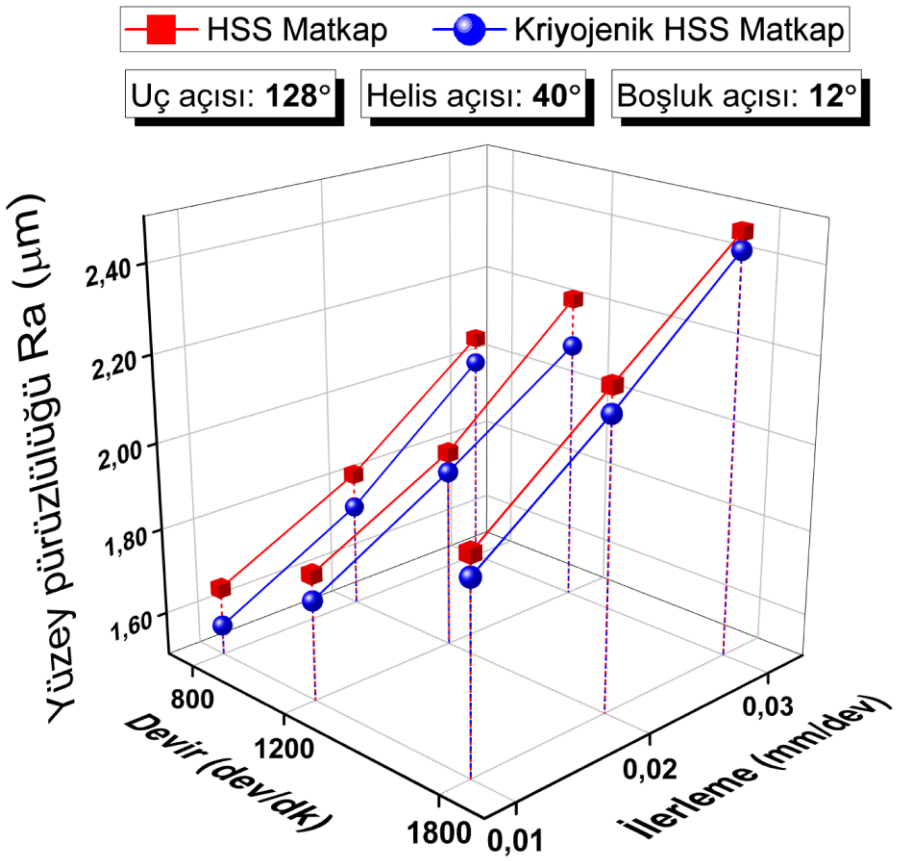
Şekil 4.52. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.52'deki grafiğe bakıldığında, 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



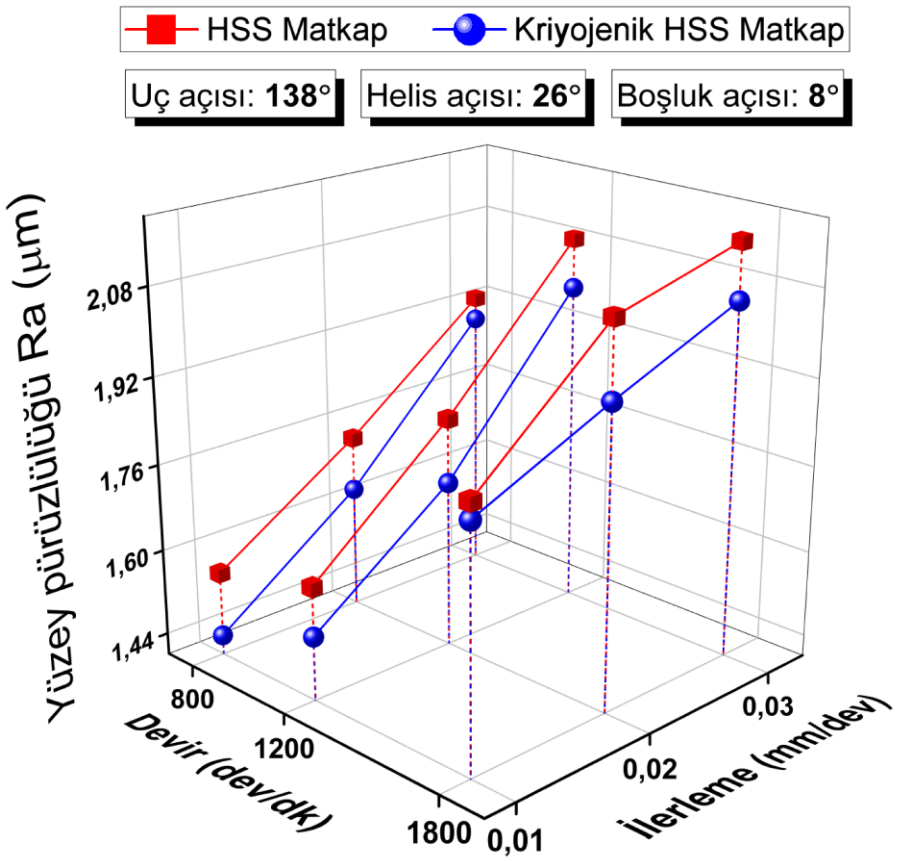
Şekil 4.53. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.53'teki grafikten anlaşıldığı gibi, 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



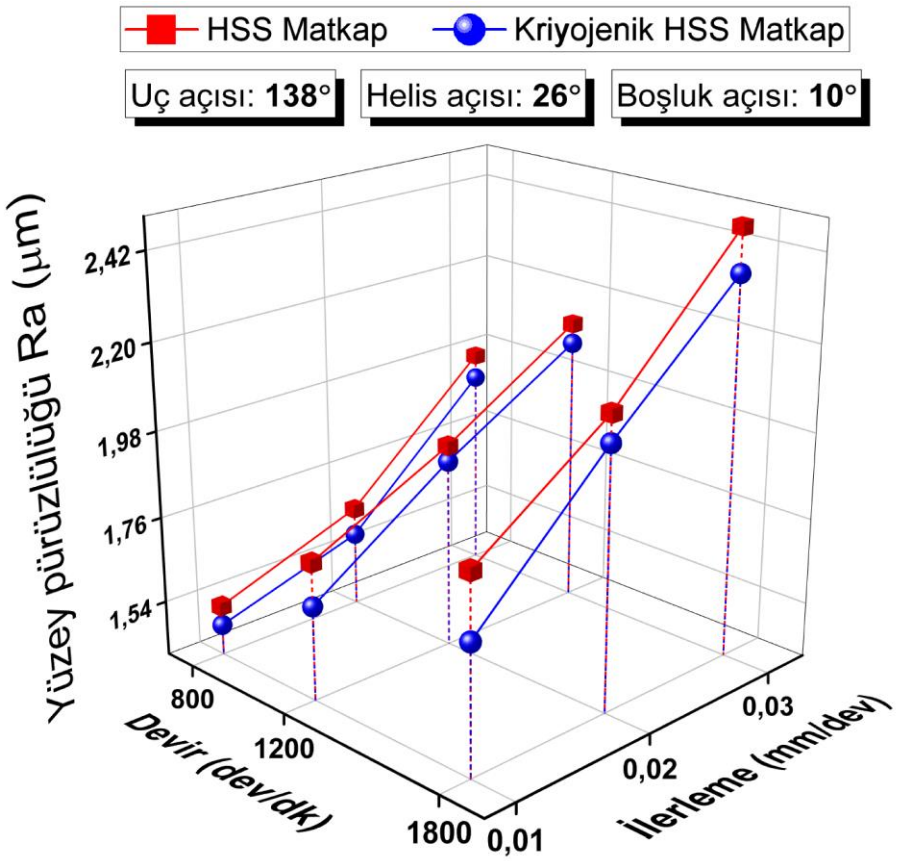
Şekil 4.54. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.54'teki grafik incelendiğinde, 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



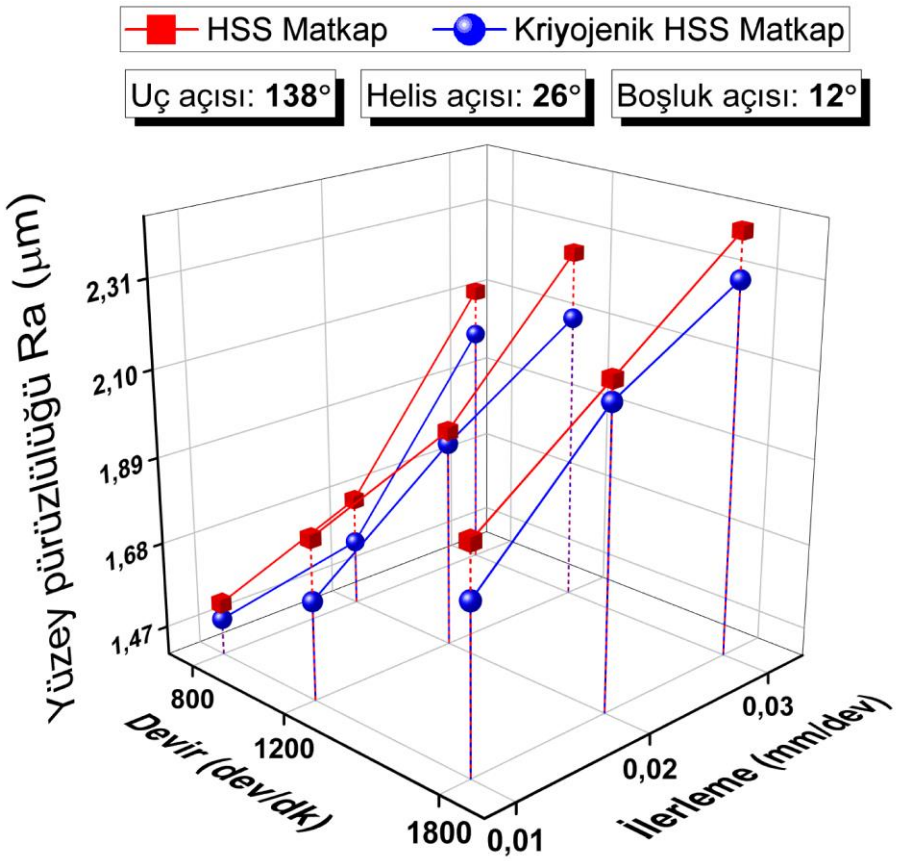
Şekil 4.55. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.55'teki grafiğe bakıldığında, 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



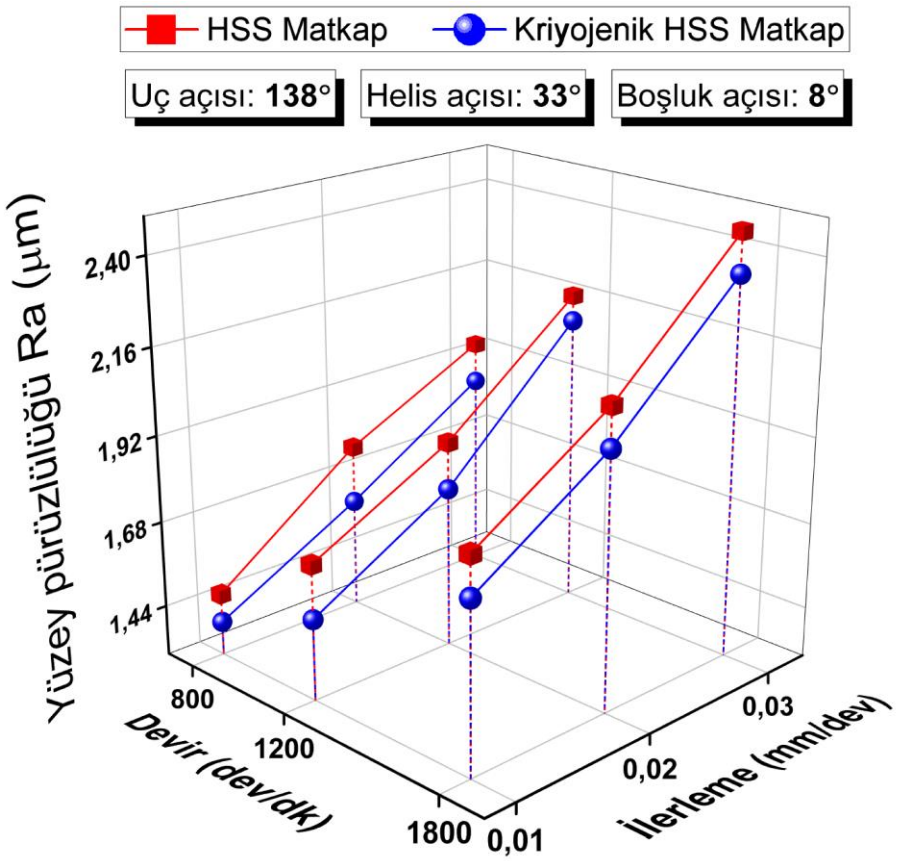
Şekil 4.56. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.56'daki grafikten anlaşıldığı gibi, 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



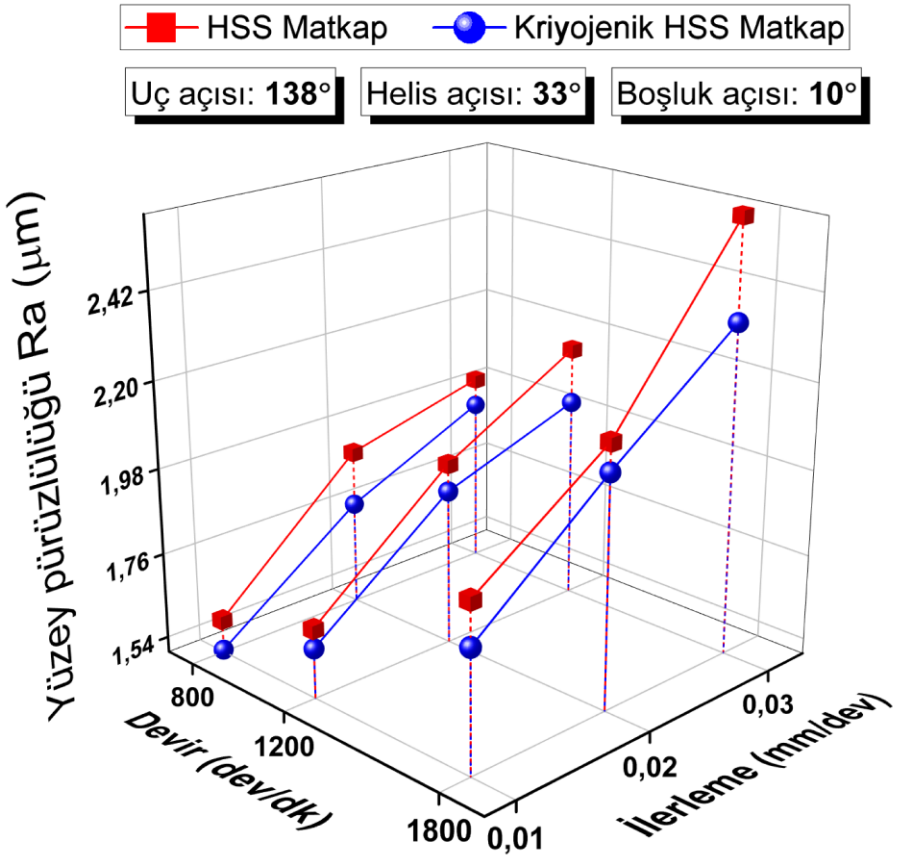
Şekil 4.57. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.57'deki grafik incelendiğinde, 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



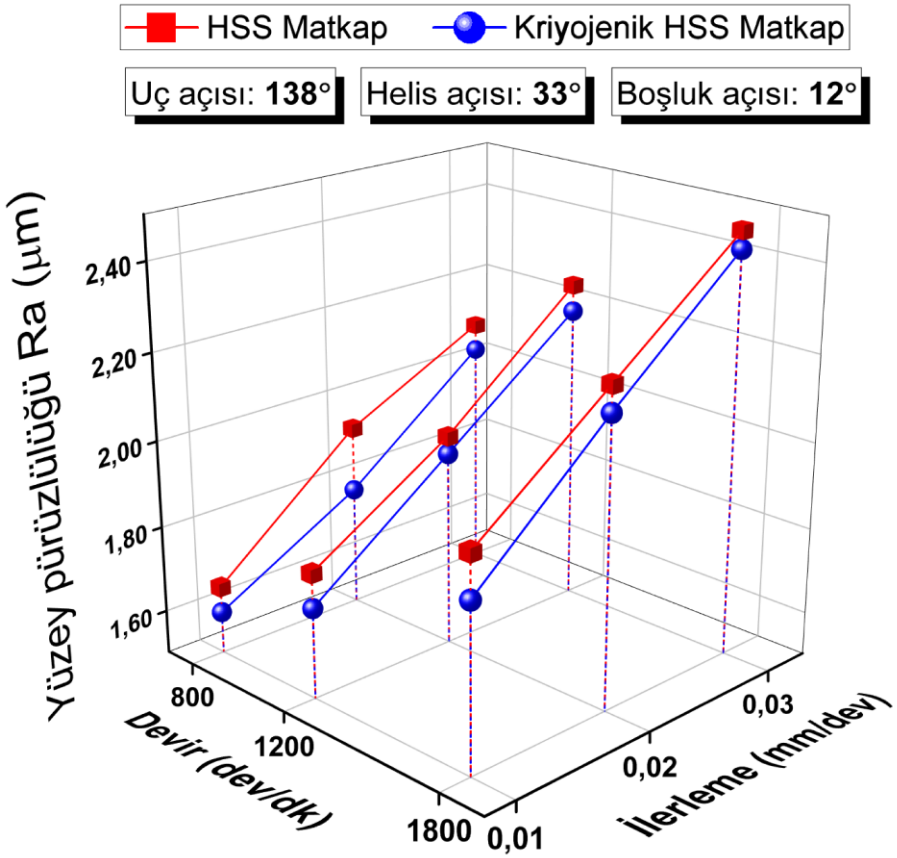
Şekil 4.58. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.58'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



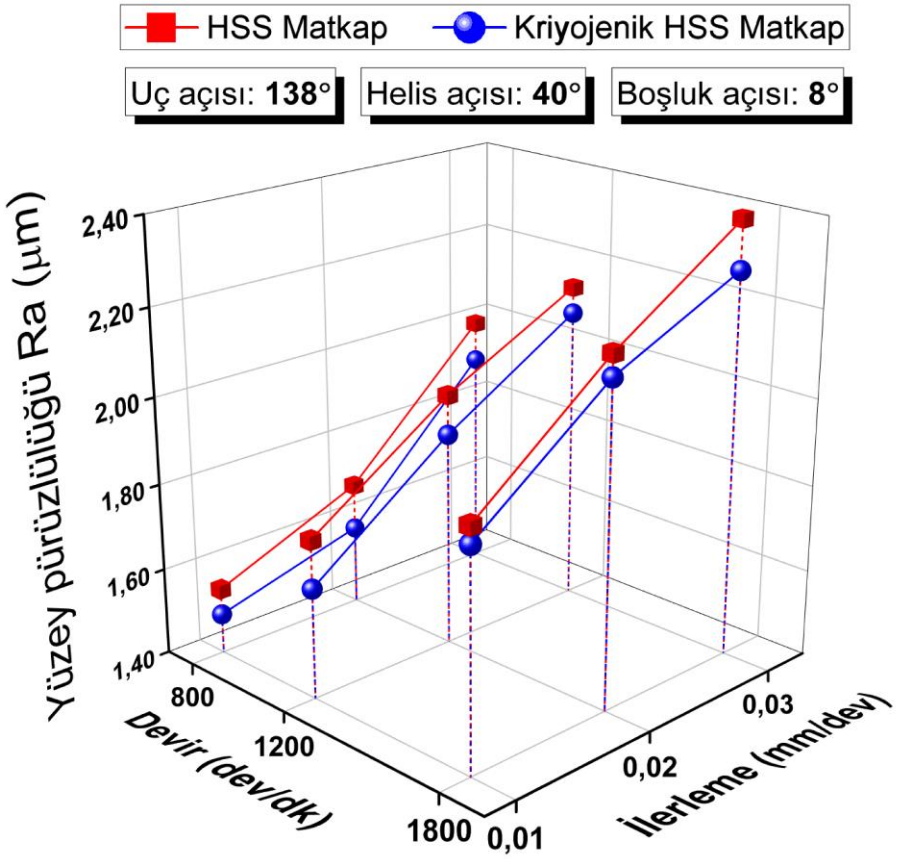
Şekil 4.59. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.59'daki grafiğe bakıldığında, 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



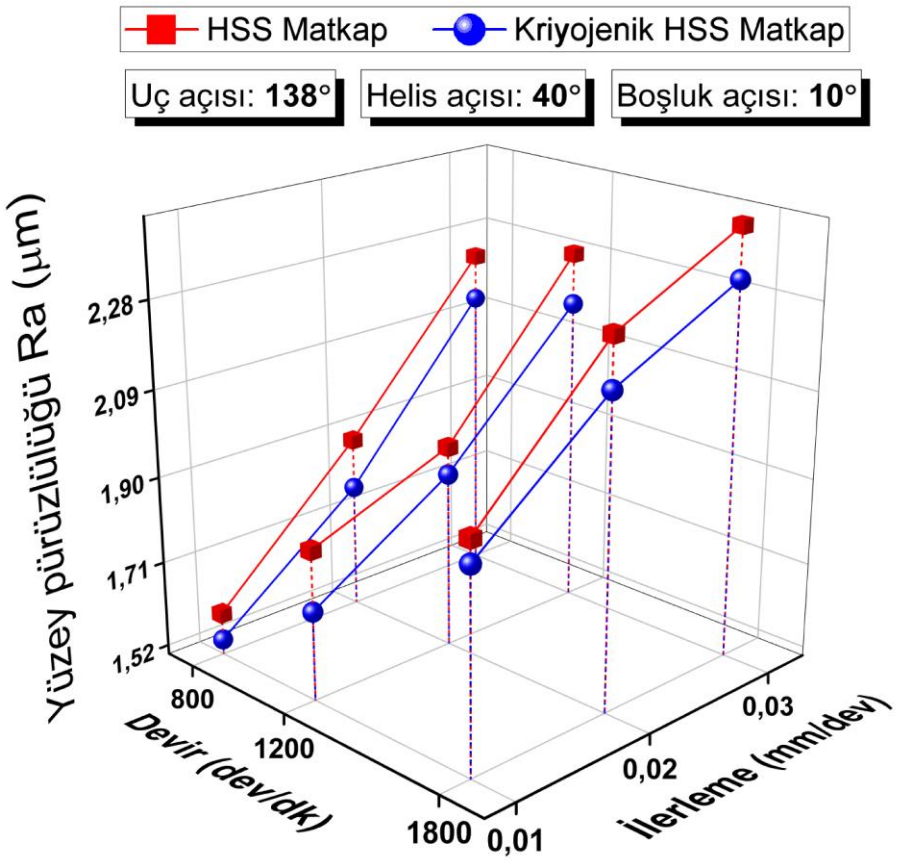
Şekil 4.60. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.60'taki grafik incelendiğinde, 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



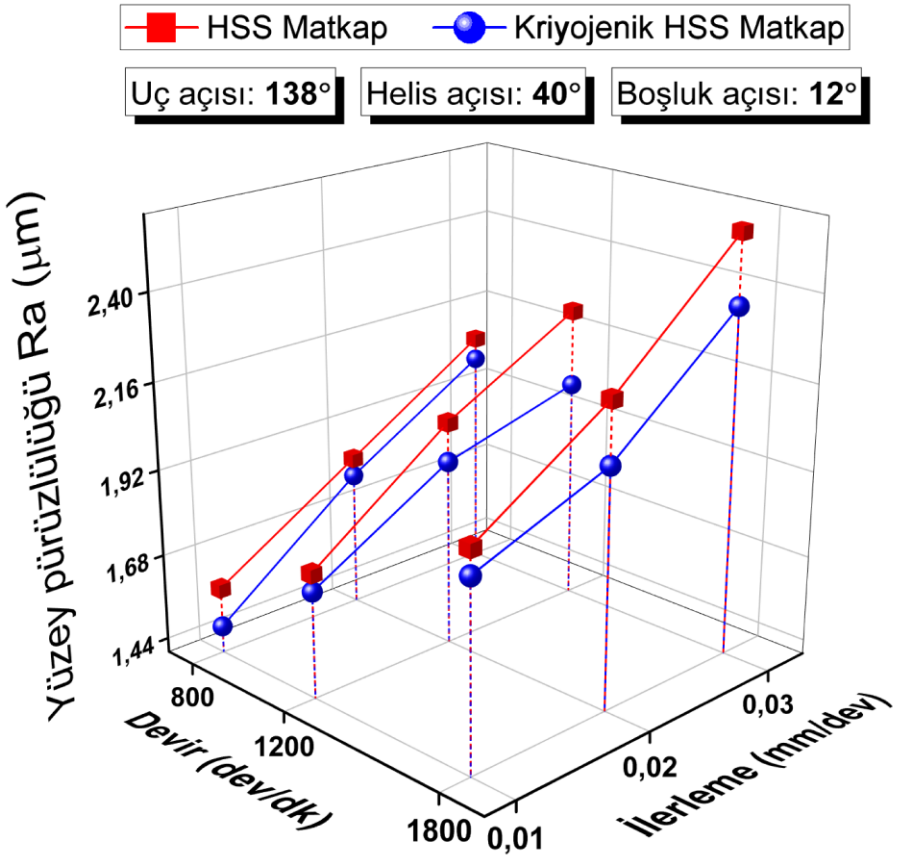
Şekil 4.61. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.61'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.62. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.62'deki grafiğe bakıldığında, 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.63. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede yüzey pürüzlülüğü

Şekil 4.63'teki grafikten anlaşıldığı gibi, 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.

Kesici takımlarla işlenen kompozit iş parçasının yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düşük olmasının istendiği bilinmektedir. Düşük olması istenen kompozit iş parçası delik yüzeyinin pürüzlülük değerlerini ise kesici takım geometrisi, kesme parametreleri gibi birçok faktör doğrudan etkilemektedir. İstenilen düşük pürüzlülük değerleri ise düşük devirlerde ve düşük ilerleme hızlarında elde edilmektedir (Davim, Reis, ve António, 2004). Şekil 4.37 ile Şekil 4.63 arasındaki grafikler, EK-2 tablosu ve Şekil 4.34 ile Şekil 4.35'teki Taguchi analizi grafiklerinde görüldüğü gibi genel olarak, düşük devir sayılarında ve düşük ilerlemelerde daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edildiği görülmüştür.

Şekil 4.37 ile Şekil 4.63 arasındaki grafiklerden ve delme işlemlerinin uygulandığı kompozit malzemenin delik yüzeylerinden ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının verildiği EK-2 tablosunda da görüldüğü gibi, kompozit malzeme üzerinde açılan deliklerde ölçülen en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 2,56 μm'dir. Bu en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri HSS matkap kullanılarak, 1800 dev/dk ve 0,03 mm/dev ilerleme parametrelerinde elde edilmiştir. Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkap ile elde edilen en yüksek yüzey pürüzlülüğü de yine 1800 dev/dk ve 0,03 mm/dev ilerleme ile 2,46 μm olarak bulunmuştur. Bu iki en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri kıyaslandığında, kriyojenik işlem görmüş HSS matkabın, aynı kompozit malzemeyi delmelerine rağmen, HSS matkabına göre yüzey pürüzlülüğü değerinin %3,91 daha az olduğu görülmektedir.

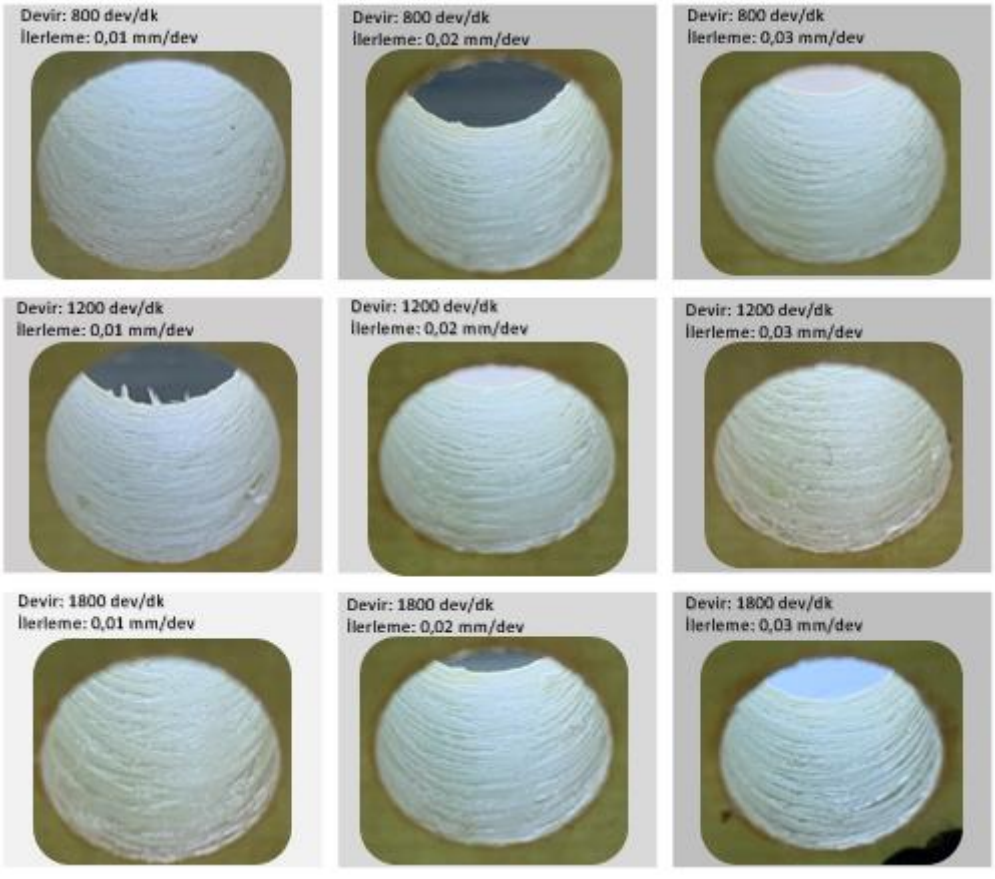
Kompozit iş parçasında HSS matkaplar ile yapılan delme işlemleri sonucunda elde edilen en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 1,29 μm'dir. Bu en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 800 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme parametrelerinde elde edilmiştir. Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile yapılan delme işlemlerinde ise en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 1,2 μm'dir. Elde edilen bu en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü yine 800 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme parametrelerinde elde edilmiştir. Bu iki en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri kıyaslandığında, kriyojenik işlem görmüş HSS matkabın, aynı kompozit malzemeyi delmelerine rağmen, HSS matkabına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin %6,98 daha az olduğu görülmektedir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ile ilgili verilen grafikler ve deney sonuçlarının verildiği Ek-2 tablosunda da görüldüğü gibi, kompozit iş parçasının delik yüzeylerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplarda genel olarak daha az olduğu görülmektedir.

Kriyojenik ve temperleme işlemleri uygulanmış HSS matkabın mikrosertlik değerinin normal HSS matkaba göre yaklaşık %14 oranında artmış olduğu mikrosertlik analizi kısmında belirtilmişti. Kriyojenik ve temperleme işlemi uygulanmış kesici takımın mikroyapı incelemesinin temel amacı, belirtilen işlemlerin uygulandığı malzemenin artan mikrosertlik değerlerinin ve iyileştirilen kesici takım ömrünün nedenlerini açıklamaktır. Kesici takımların performansları, mikro yapısında bulunan karbürlerin özellikleri ile ilgilidir. HSS matkapların mikro yapılarında bulunan bu karbürlerin tane boyutları da bu yüzden çok nemlidir (Gimenez ve Iturriza, 2003; Kıvak, 2012). Mikro yapı incelemesinde, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapta, karbür hacimlerinin küçülerek daha homojen dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, çekilen SEM görüntüleri üzerinde Imagej programı ile yapılan 100X100 birim alandaki karbür yoğunluğu ölçümleri ile XRD analizi sonuçları da bu durumu desteklemektedir.

Kesici takımın aşınma durumu ve delik açılan iş malzemesinin yüzey pürüzlülüğü arasında doğrudan bir etkileşim olduğu literatürdeki çalışmalardan da bilinmektedir (Ekmen, 2021; Kara ve ark., 2020). Yukarıda belirtilen durumlar birlikte değerlendirildiğinde, kriyojenik ve temperleme işlemi uygulanmış HSS matkabın, mikro yapısındaki karbürlerin boyutsal olarak küçülerek daha homojen olarak dağılmalarının, kompozit iş parçasında açılan deliklerin yüzey pürüzlülüğünü azaltarak iyileştirmiş olduğu görülmüştür (Ekmen, 2021).

Devir sayısı, ilerleme, talaş açısı, kesme derinliği, işlenen malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen birçok faktör bulunmaktadır (Kıvak, 2012; Singh ve Rao, 2007). Şekil 4.37 ile Şekil 4.63 arasındaki grafiklerden ve delme işlemlerinin uygulandığı kompozit malzemenin delik yüzeylerinden ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının verildiği Ek-2 tablosunda da görüldüğü gibi, devir sayısının artışı ile birlikte, ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, hem HSS matkap ile delinen ve hem de kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile delinen kompozit malzemelerde artış trendinde olduğu görülmektedir. Devir sayısının ve ilerlemenin artışına bağlı olarak, ortalama yüzey pürüzlülüklerinin artışı, kesme bölgesinde oluşan sıcaklık artışının etkisiyle iş parçasının daha kolay deformasyon olmasından kaynaklanmaktadır (Çiftçi, 2005; Okay ve Islak, 2021). Burada, devir sayısının artışına bağlı olarak, delik açılan bölgede ısı artışı meydana gelmekte, kompozit iş parçasının ısı iletme yeteneğinin

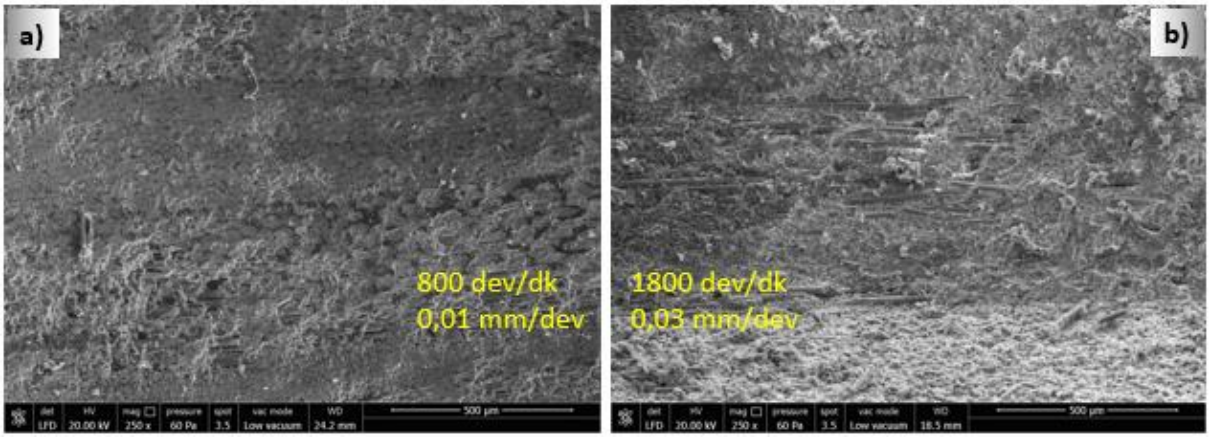
düşüklüğü nedeniyle de kompozit iş parçası yumuşamaya başlayarak daha kolay delinmektedir (Faraz ve ark., 2009; Kishore ve ark., 2009; Krishnaraj ve ark., 2012; Palanikumar, 2011; Xu ve ark., 2014). Sıcaklığın olumsuz etkisi, Şekil 4.64'teki kompozit iş parçası üzerindeki deliklerden alınan makro resimlerden ve Şekil 4.65'te verilen SEM görüntülerinde de görülebileceği gibi yüzey pürüzlülüklerinin daha kötü olmasına neden olmaktadır. Bu durumu destekleyecek şekilde, kompozit malzeme üzerinde yapılan delme deneyleri sırasında, termal kamera ile ölçülen sıcaklık değerleri de devir sayısı ve ilerleme arttıkça, iş parçasının işlenmesi esnasında çıkan talaşın sıcaklığının artmış olduğunu göstermektedir (Şekil 4.33). Ayrıca, kompozit malzemenin Tablo 4.1'de verilen mikrosertlik değerinin (36,3 HV) az olması, yani yumuşak yapıda olması da devir ve ilerleme miktarının artışına bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerini olumsuz etkilemektedir.



Şekil 4.64. Devir ve ilerleme artışına bağlı yüzey pürüzlülükleri değişimleri

Şekil 4.64'te, dinamometre cihazı bağlı olmadan, ardı ardına, kompozit iş parçası altına tahta konularak, üzerinde devir ve ilerleme parametrelerine göre açılan tam

deliklerin delik içi yüzeyleri gösterilmiştir. Bu çoklu delmeler esnasında (yaklaşık 300 delik), matkap ve kompozit malzeme oldukça ısınmıştır. Bu yüzden, yüzey pürüzlülükleri, tekli açılan ve dinamometre ile ölçümleri yapılan kör deliklere göre daha yüksektir.



Şekil 4.65. Farklı devir ve ilerlemelerde delinen kompozitlerin delik duvarı SEM görüntüleri

Şekil 4.65'te, kompozit iş parçaları üzerinde tekli matkaplarla açılan kör deliklerin delik duvarı SEM görüntüleri verilmiştir. Burada, 800 dev/dk ve 0,01 mm/dev (a) ile kör delik açılan kompozit malzemenin delik duvarı yüzey pürüzlülüğünün, 1800 dev/dk ve 0,03 mm/dev (b) ile açılandan daha iyi olduğu görülmektedir.

Şekil 4.37 ile Şekil 4.63 arasındaki grafiklerde gösterilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine bakıldığında, ilerlemedeki artışa bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüklerinin de arttığı görülebilmektedir. Bu durum, oluşan yüksek sıcaklık, malzemenin yumuşak yapısı, sıcaklığın etkisi ile malzeme bütünlüğündeki bozulma, kesici takımda meydana gelen aşınma ve de çıkarılan talaş hacminin artışına bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin artışından kaynaklanmaktadır (Çiftçi, 2005; Faraz ve ark., 2009; Kishore ve ark., 2009; Krishnaraj ve ark., 2012; Okay ve Islak, 2021; Palanikumar, 2011; Xu ve ark., 2014).

Kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ile ilgili olarak, Şekil 4.37 ile Şekil 4.63 arasındaki grafikler ve Taguchi analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, en optimum uç açısının 128° olduğu bulunmuştur. Aynı şekilde, ortalama yüzey pürüzlülükleri ve Taguchi analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde ise en iyi helis açısının 26° olduğu görülmektedir.

Kompozit malzemelerin delinmesinde, matkap ucuna ait ana kesici kenarların, iş parçasında açılan deliklerin duvarlarının yüzey pürüzlülükleri üzerinde daha etkili olduğu bilinmektedir (Ogawa ve ark., 1997). Ayrıca, bu tez çalışmasında, genel olarak helis açısı büyüdükçe yüzey pürüzlülüklerinin olumsuz etkilendiği görülmektedir. Ortalama yüzey pürüzlülükleri ve Taguchi analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde ise en iyi boşluk açısının ise 8° olduğu görülmektedir. Yüzey pürüzlülükleri ile ilgili olarak elde edilen tüm sonuçlar, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile bu çalışmada kullanılan kompozit malzeme üzerinde açılan kör deliklerin yüzey pürüzlülüklerinin, HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin yüzey pürüzlülüklerinden daha iyi olduğunu göstermektedir.

4.5. Delaminasyon Faktörünün Değerlendirilmesi

4.5.1. Delaminasyon faktörü için Taguchi analiz sonuçları

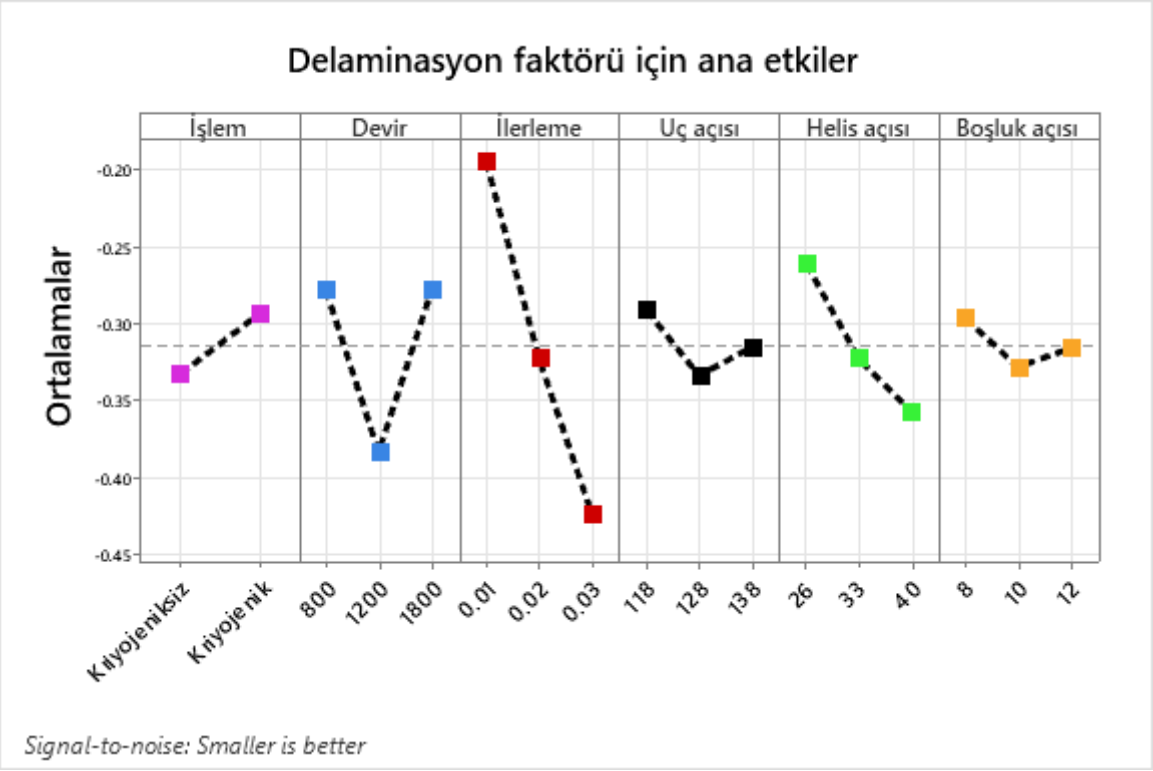
Taguchi deney düzeneğine göre hazırlanmış olan ve Tablo 3.1'de belirtilen parametre ve seviyelere göre üzerinde delme işlemleri yapılan kompozit iş parçasında açılan kör deliklerin etrafında meydana gelen delaminasyonlar, mikroskop cihazı ile görüntülendikten sonra Imagej programı sayesinde mikron seviyesinde ölçülerek delaminasyon faktörleri hesaplanmıştır. Hesaplanan delaminasyon faktörleri Minitab yazılım programında kullanılarak Taguchi analizleri yapılmıştır. Program sayesinde, Tablo 4.4, Şekil 2.24 ile Şekil 2.25'de de görülebildiği gibi, etki faktörleri, ana etkiler ve normal olasılık sonuçları elde edilmiştir. Tablo 4.4 ve Şekil 4.66'da verilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, delaminasyon faktörü değerleri için en etkin parametrenin ilerleme faktörü olduğu ayrıca sırasıyla, devir sayısı, helis açısı, uç açısı, işlem (Kriyojeniksiz/kriyojenikli) ve boşluk açısı olduğu görülmüştür.

Tablo 4.4. Delaminasyon faktörleri için etki faktörleri

Seviye	İşlem	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dev)	Uç açısı (°)	Helis açısı (°)	Boşluk açısı (°)
1	-0.3331	-0.2791	-0.1942	-0.2914	-0.2612	-0.2963
2	-0.2941	-0.3840	-0.3227	-0.3340	-0.3227	-0.3284
3		-0.2768	-0.4239	-0.3155	-0.3569	-0.3162
Delta	0.0390	0.1060	0.2297	0.0426	0.0957	0.0321
Etki sırası	5	2	1	4	3	6

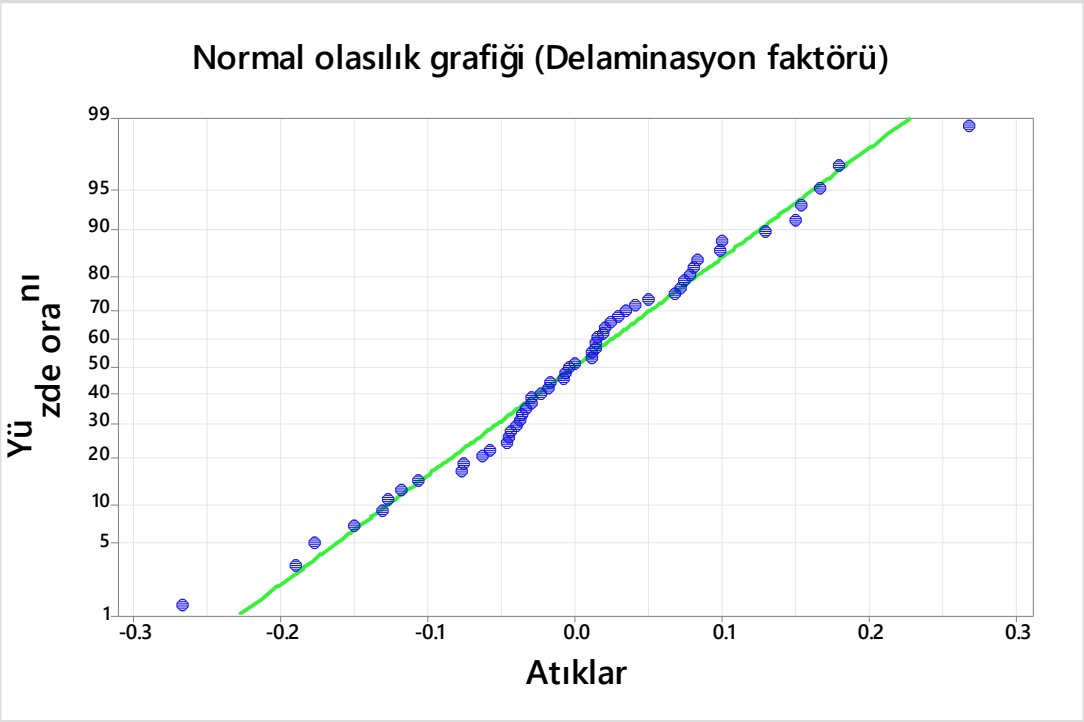
Kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin etrafında meydana gelen delaminasyonlara göre hesaplanan delaminasyon faktörü değerlerine bağlı olarak, "En küçük değer daha iyi" fonksiyonuna göre Taguchi analizi ile elde edilen sonuçlar Şekil 4.66'da verilmiştir. Şekil 4.66'daki delaminasyon faktörü için ana etkiler grafiğine bakıldığında, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş matkaplardan alınan sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir.

Delme işlemleri yapılan kompozit iş parçası için en uygun işleme parametrelerinin (delaminasyon faktörü için), devir sayısı için 1800 dev/dk ve ilerleme hızı için ise 0,01 mm/dev olduğu bulunmuştur. Ayrıca, delme işlemi yapılan bu kompozit malzeme için kullanılacak olan en uygun matkabın (delaminasyon faktörü için) geometrik özelliklerinin, uç açısı için 118°, helis açısı için 26° ve boşluk açısı için ise 8° olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.66. Parametrelerin delaminasyon faktörü üzerindeki ana etkileri

Şekil 4.67'deki normal olasılık grafiğine baktığımızda, artık değerlerin, yeşil renkteki lineer çizgi etrafında düzgün bir dağılıma sahip olduğu görülmekte olup elde edilen bu sonuçlar, delaminasyon faktörü için oluşturulan modelin tutarlı olduğunu göstermektedir.

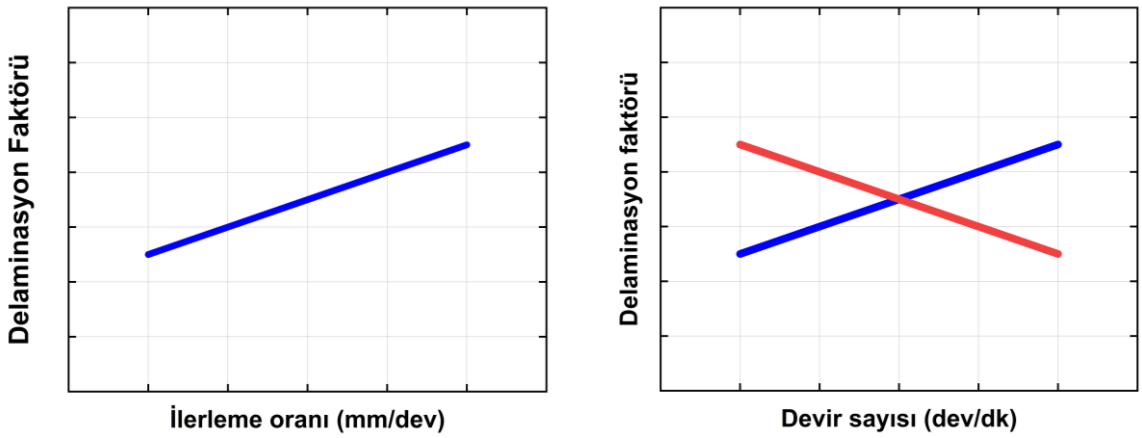


Şekil 4.67. Parametrelerin delaminasyon faktörü için normal olasılık grafiği

4.5.2. Delaminasyon Faktörü

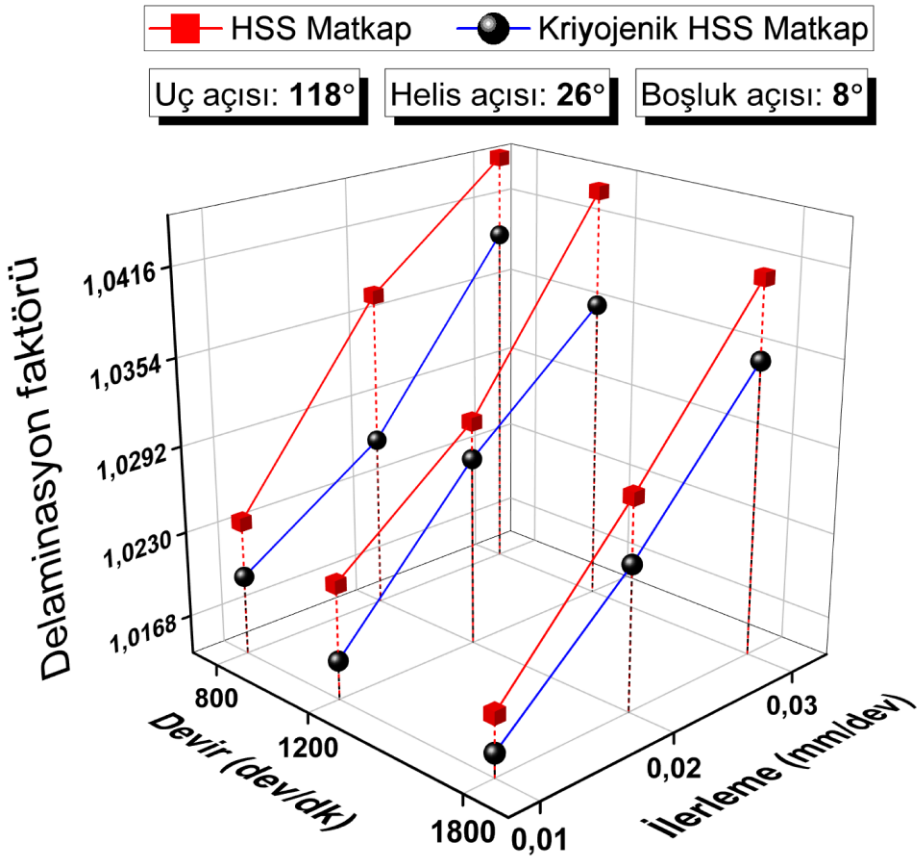
Kompozit malzemelerin işlenmesi esnasında meydana gelen elyaf kopması veya tabaka ayrılması olarak ta bilinmekte olan delaminasyon, kompozit malzemeler üzerinde delik açılmasında da sıklıkla karşılaşılmaktadır (kompozit malzemenin delik giriş ve çıkışında). Delaminasyon, kesici takım ucunun kompozit malzeme üzerinde talaş kaldırma sürecinde oluşan çekme kuvvetinden veya uygulanan ilerleme kuvveti nedeniyle oluşan bir durumdur (Giasin, 2016; Yenigün, 2018). Kompozit malzemelerde yapılan delme işlemleri sırasında meydana gelen delaminasyonlar nedeniyle, uçak endüstrisinde kullanılan kompozit parçaların %60'ı kullanılamaz bir duruma gelmektedir (Liu ve ark., 2012). Cam elyaf takviyeli kompozitler üzerinde delme işlemleri ile ilgili olarak çalışma yapan araştırmacılar, ilerleme oranının artışına bağlı olarak delaminasyon faktörünün arttığını belirtmişlerdir (S. Arul ve ark., 2006; Davim, Reis, ve Antonio, 2004; Gaitonde ve ark., 2008; Khashaba, 2004; Rubio ve ark., 2008; Sardinas ve ark., 2006; Tsao ve Hocheng, 2005). Bu konuyla ilgili olarak yapılan çalışmalarda, bu tür kompozitlerin delinmesi esnasında uygulanan devir sayısına bağlı olarak meydana gelen

delaminasyon faktörleri ile ilgili olarak farklı sonuçlar bulunmuştur. Bazı çalışmalarda, devir sayısının artışına bağlı olarak, delaminasyon faktörünün arttığını (Davim ve Reis, 2003; Davim, Reis, ve Antonio, 2004; Sardinas ve ark., 2006), bazı çalışmalarda ise devir sayısının artışına bağlı olarak delaminasyon faktörünün azaldığını (S. Arul ve ark., 2006; Gaitonde ve ark., 2008; Karnik ve ark., 2008; Khashaba, 2004; Khashaba ve ark., 2010a; Rubio ve ark., 2008; Tsao ve Hocheng, 2005) belirtmişlerdir (Şekil 4.68). Burada, kompozit malzeme üzerinde yapılan delme işlemleri sırasında uygulanan devir sayısı ile delaminasyon faktörü arasındaki bağlantıyı belirlemek amacıyla kesme kuvvetine bakılması gerekmektedir. Meydana gelen kesme kuvvetinin artışına bağlı olarak delaminasyon faktörünün de arttığı bilinmektedir (Yenigün, 2018). Yapılan bu tez çalışmasında, devir sayısının artışına bağlı olarak kesme kuvvetinin azaldığı bulunmuştur. Bu yüzden, delaminasyon faktörü de devir sayısının artışına bağlı olarak azılmıştır. Şekil 4.68, literatürde bulunan çalışmaların devir sayısı ve ilerlemelerine bağlı olarak delaminasyon faktörlerinin değişimini göstermektedir.



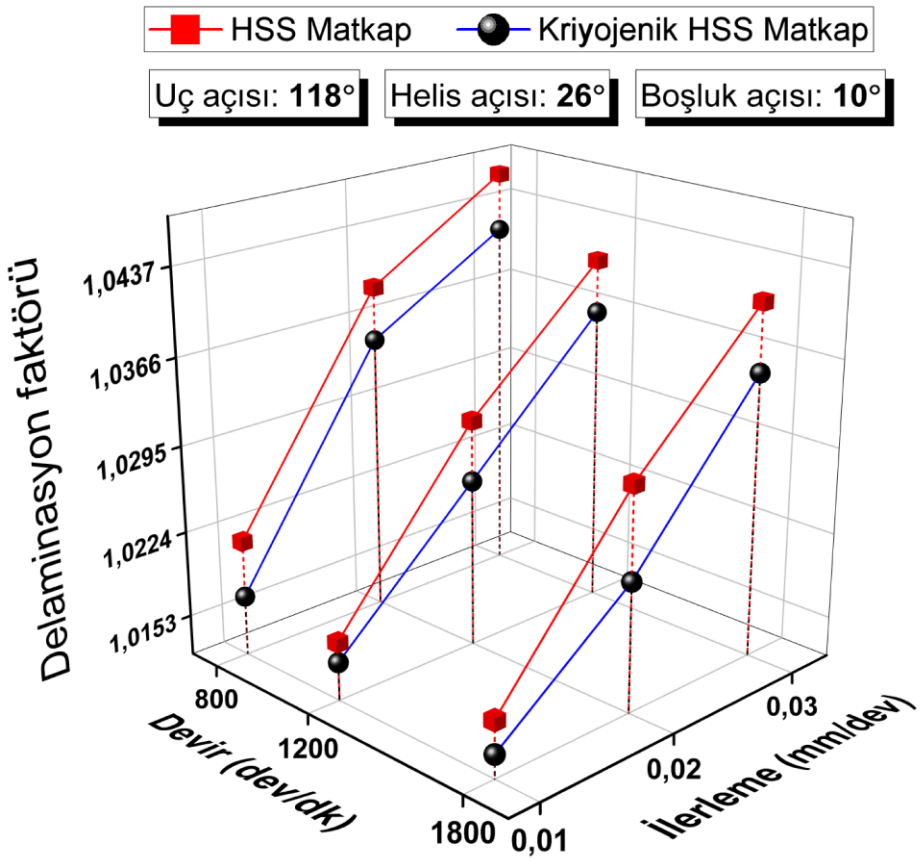
Şekil 4.68. Literatürdeki devir sayısı ve ilerlemelere göre delaminasyon faktörleri (Yenigün, 2018)

Tablo 3.1'de belirtildiği gibi, Taguchi deney dizaynına göre HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperlenmiş HSS matkaplar kullanılarak delme işlemleri yapılan kompozit iş parçasında açılan kör deliklerin etrafında meydana gelen delaminasyonlar hesaplanarak elde edilen delaminasyon faktörleri değerleri EK-3'te çizelge halinde sunulmuştur. Belirtilen bu çizelgedeki değer ile birlikte Taguchi analiz sonuçları da kullanılarak elde edilen grafikler Şekil 4.69 ile Şekil 4.95 arasında aşağıda gösterilmiştir.



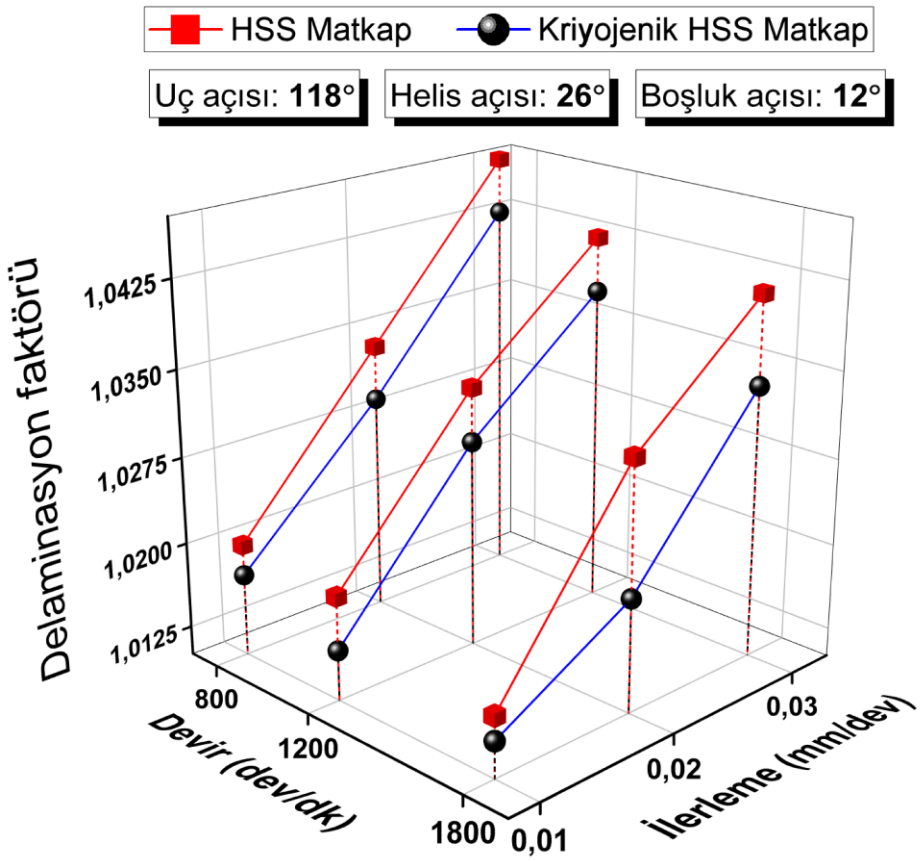
Şekil 4.69. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.69'daki grafik incelendiğinde, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



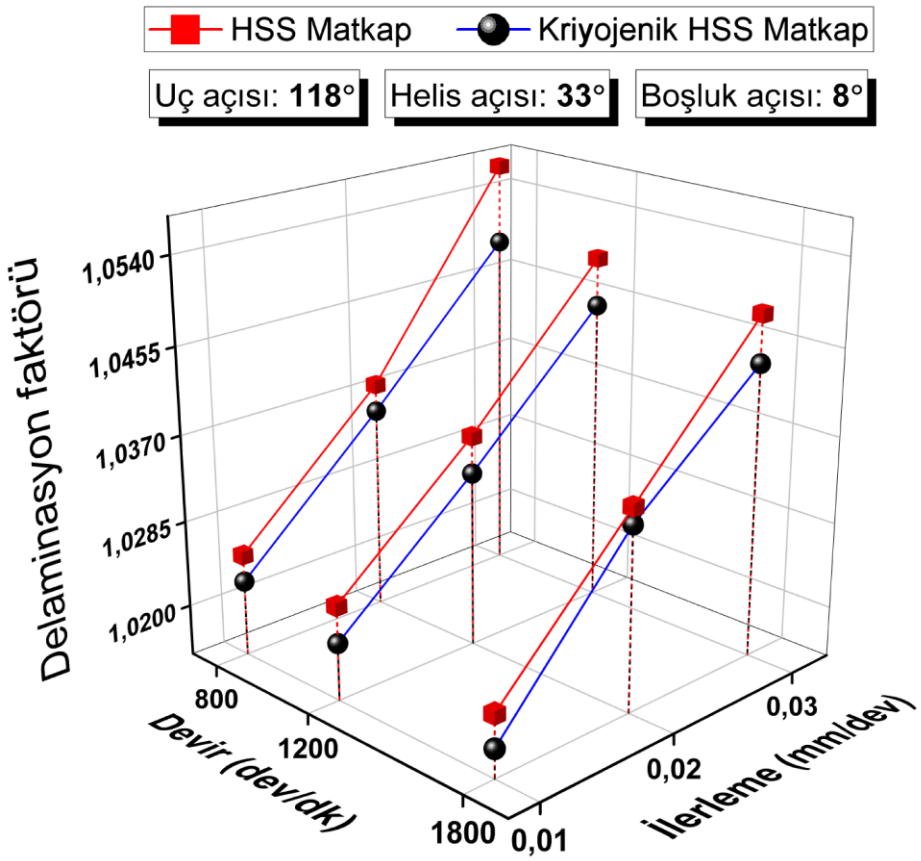
Şekil 4.70. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.70'deki grafiğe bakıldığında, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



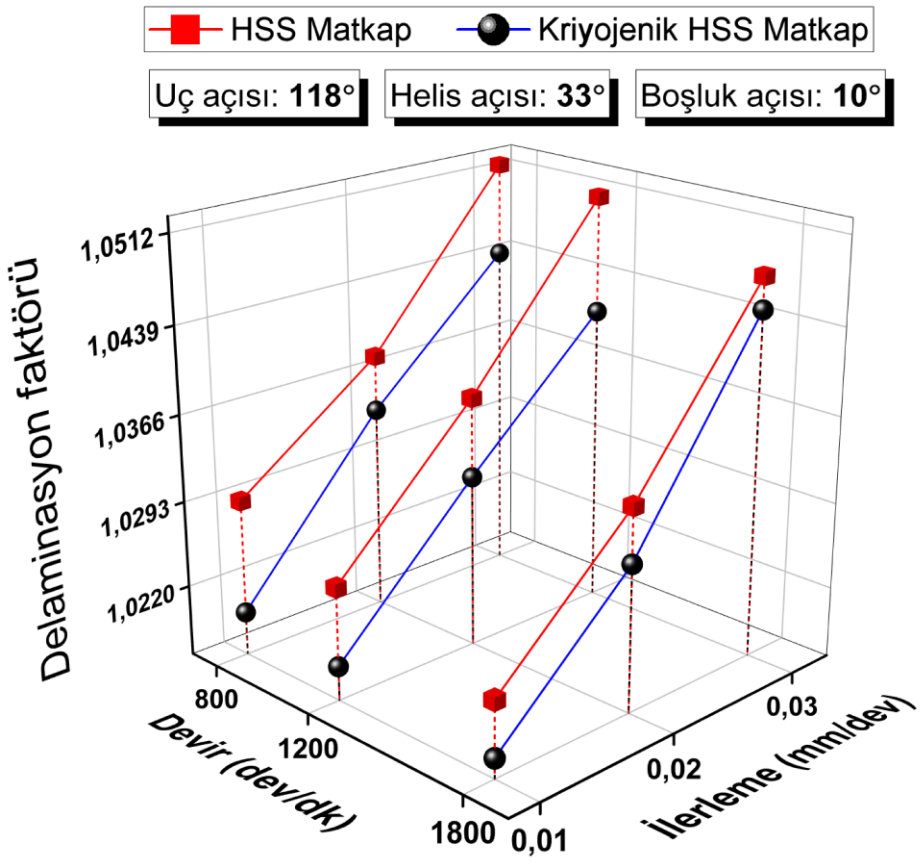
Şekil 4.71. 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.71'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



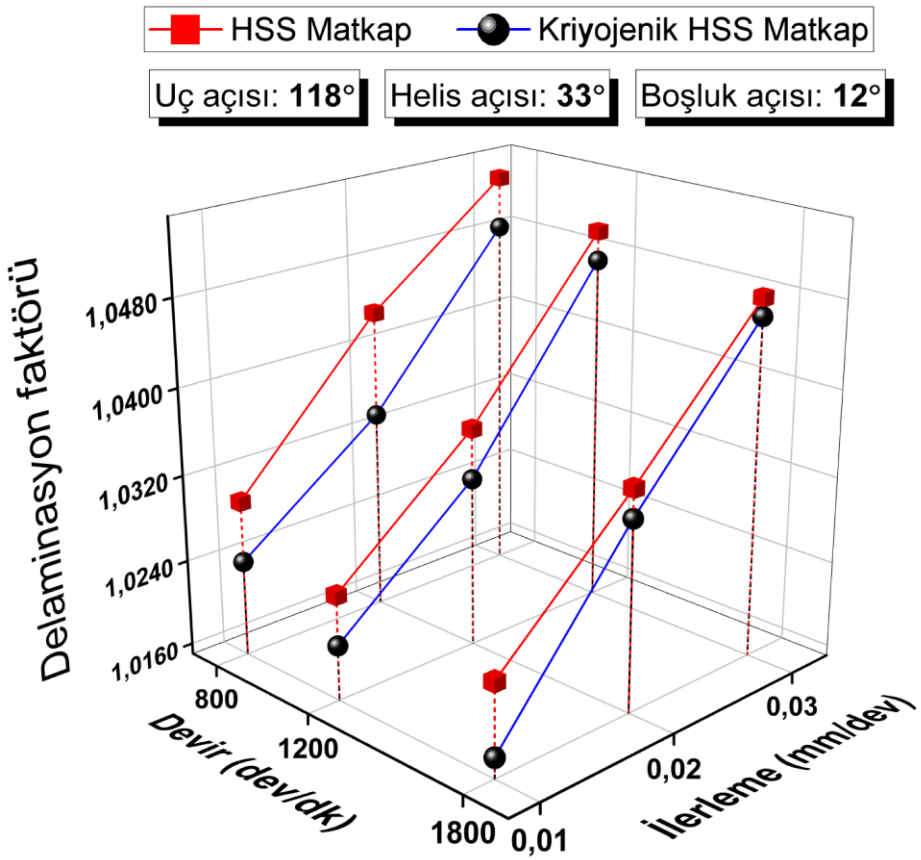
Şekil 4.72. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.72'deki grafik incelendiğinde, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



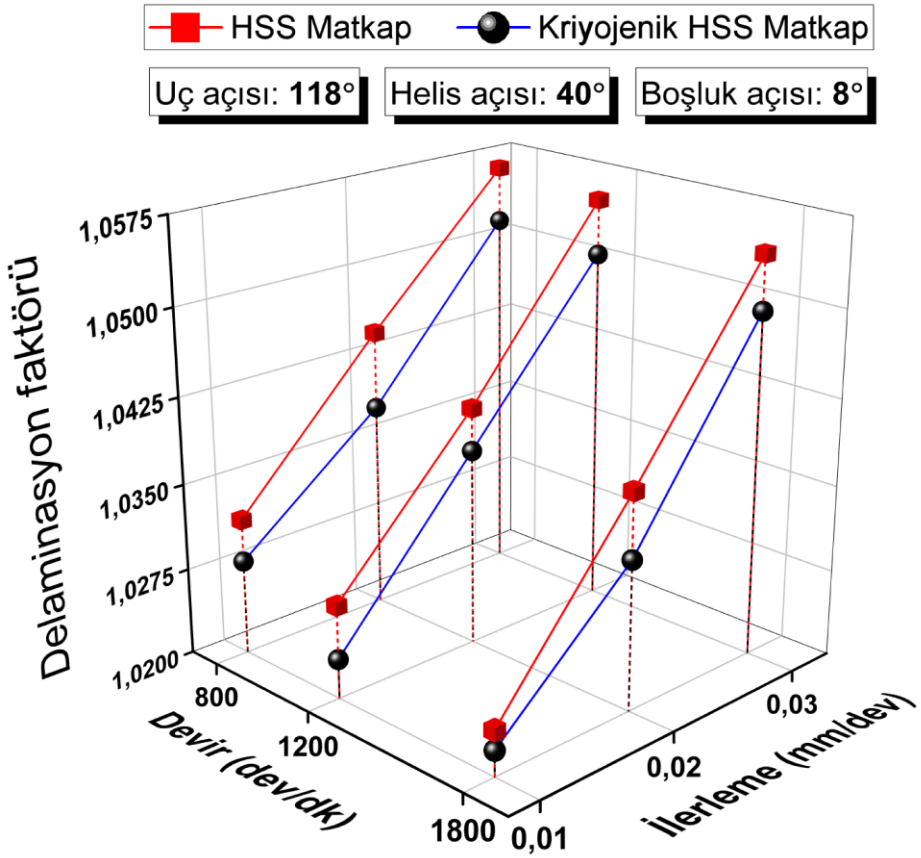
Şekil 4.73. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.73'teki grafiğe bakıldığında, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



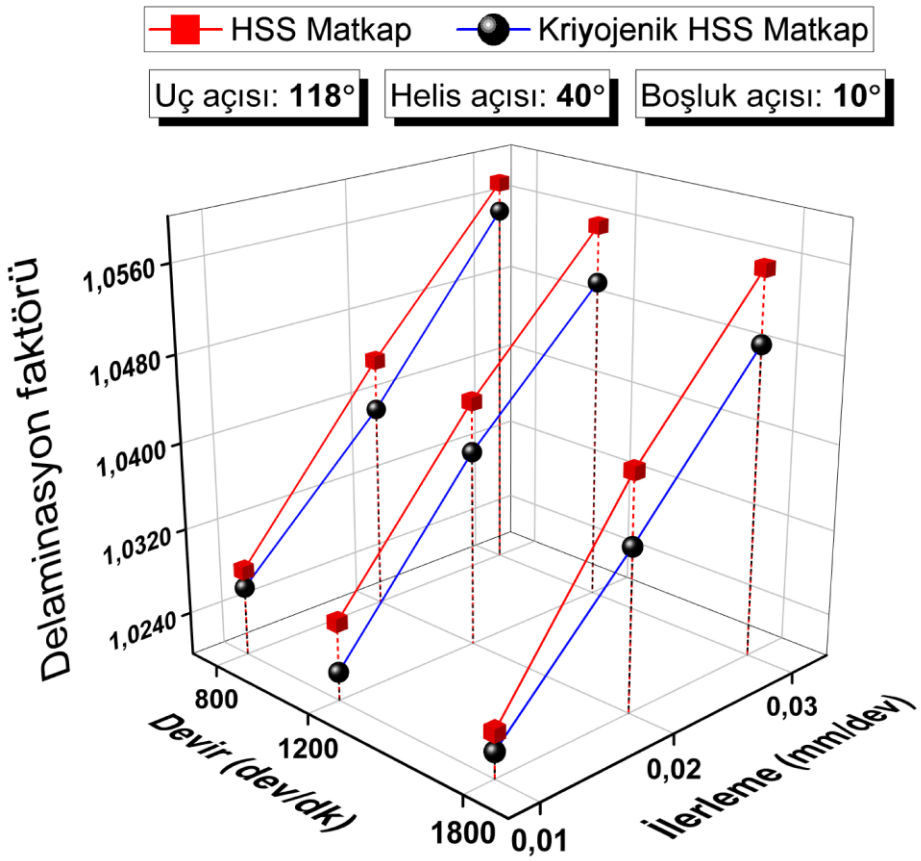
Şekil 4.74. 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.74'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



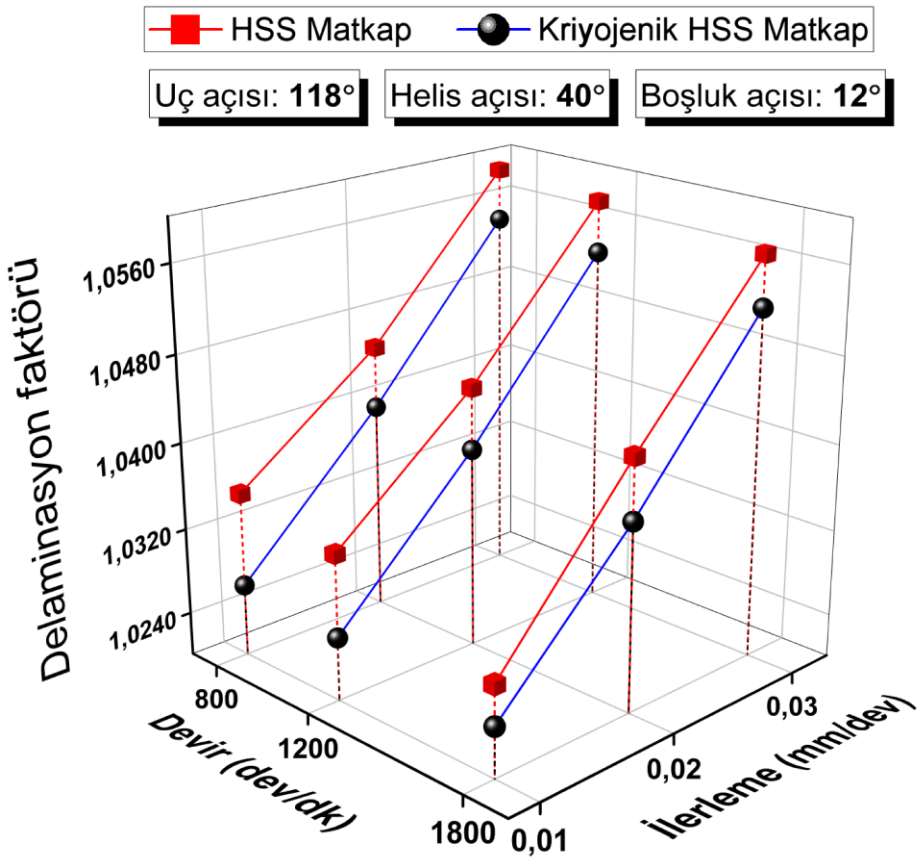
Şekil 4.75. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.75'teki grafik incelendiğinde, 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



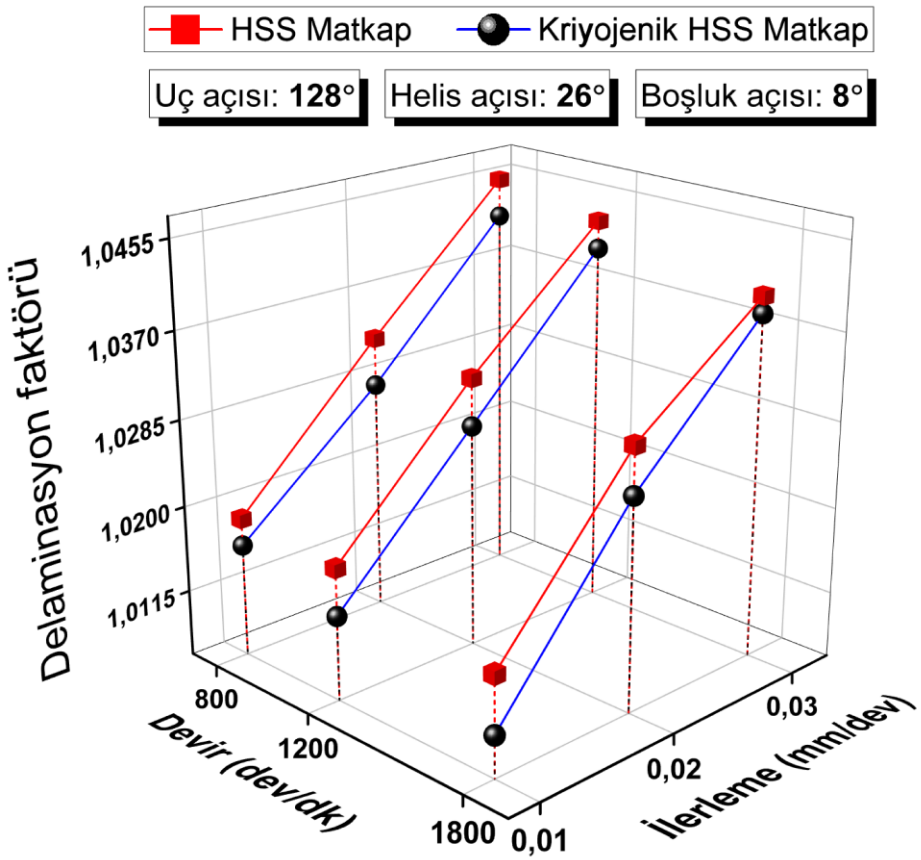
Şekil 4.76. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.76'daki grafiğe bakıldığında, 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



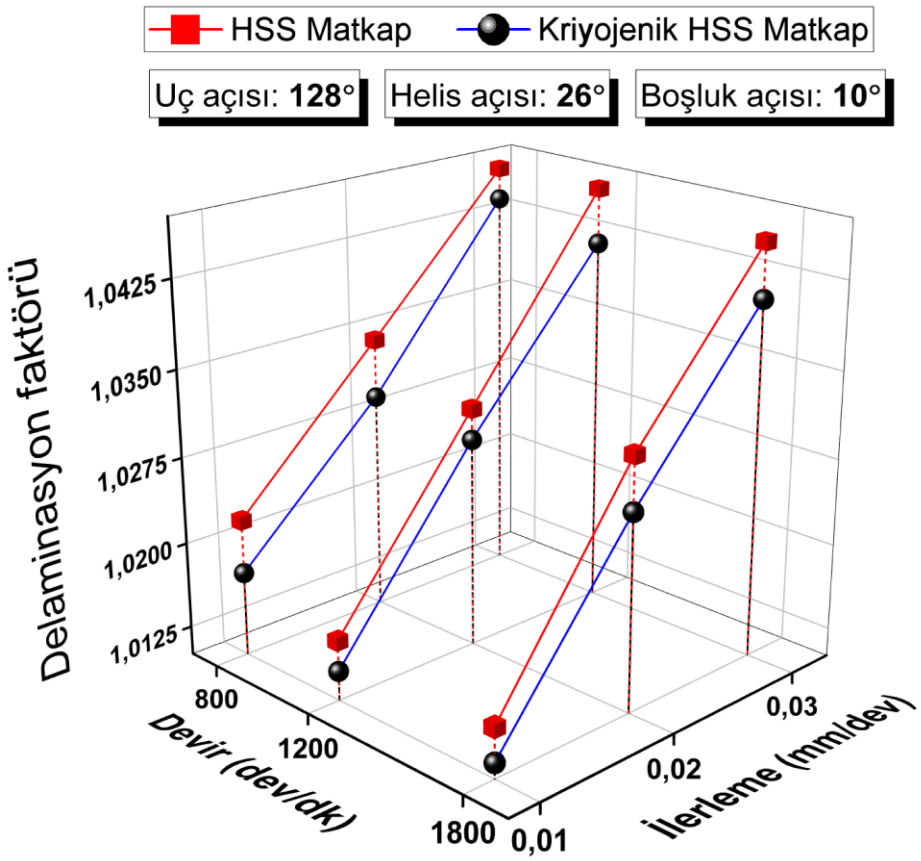
Şekil 4.77. 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.77'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 118° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



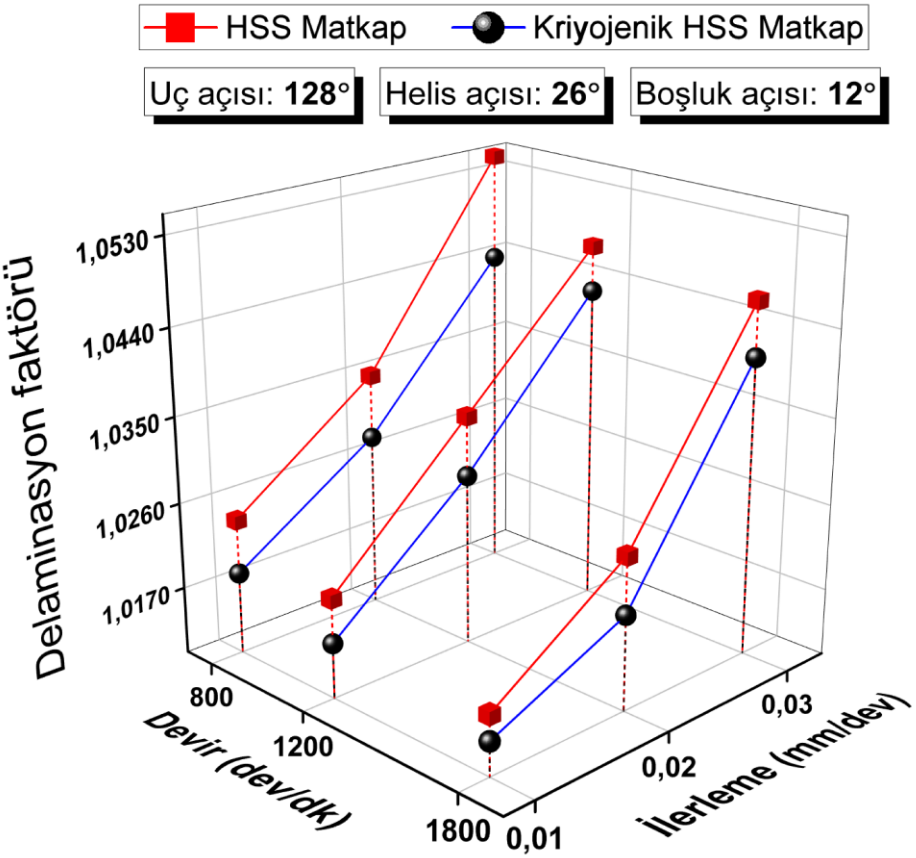
Şekil 4.78. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.78'deki grafik incelendiğinde, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



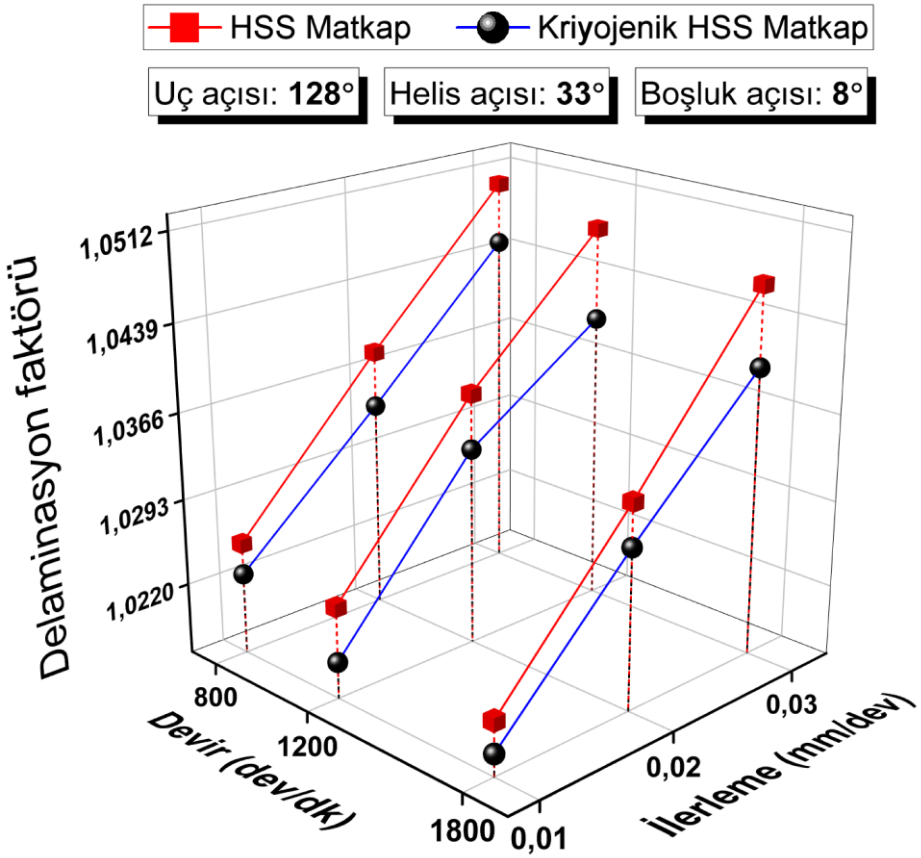
Şekil 4.79. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.79'daki grafiğe bakıldığında, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



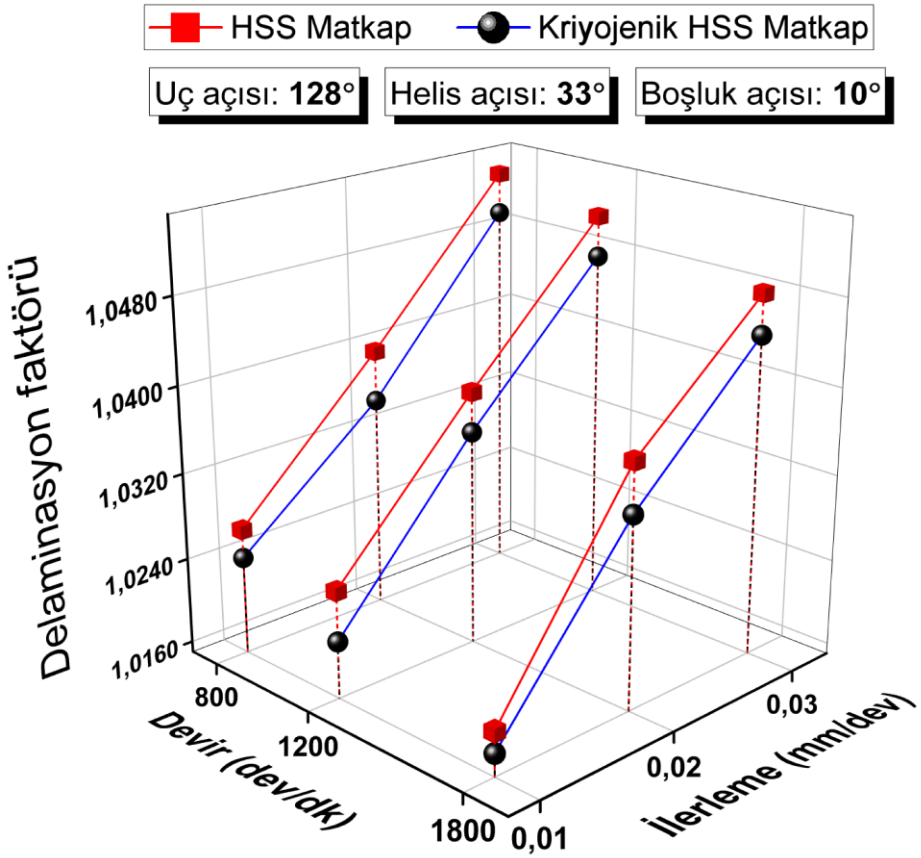
Şekil 4.80. 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.80'deki grafikten anlaşıldığı gibi, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



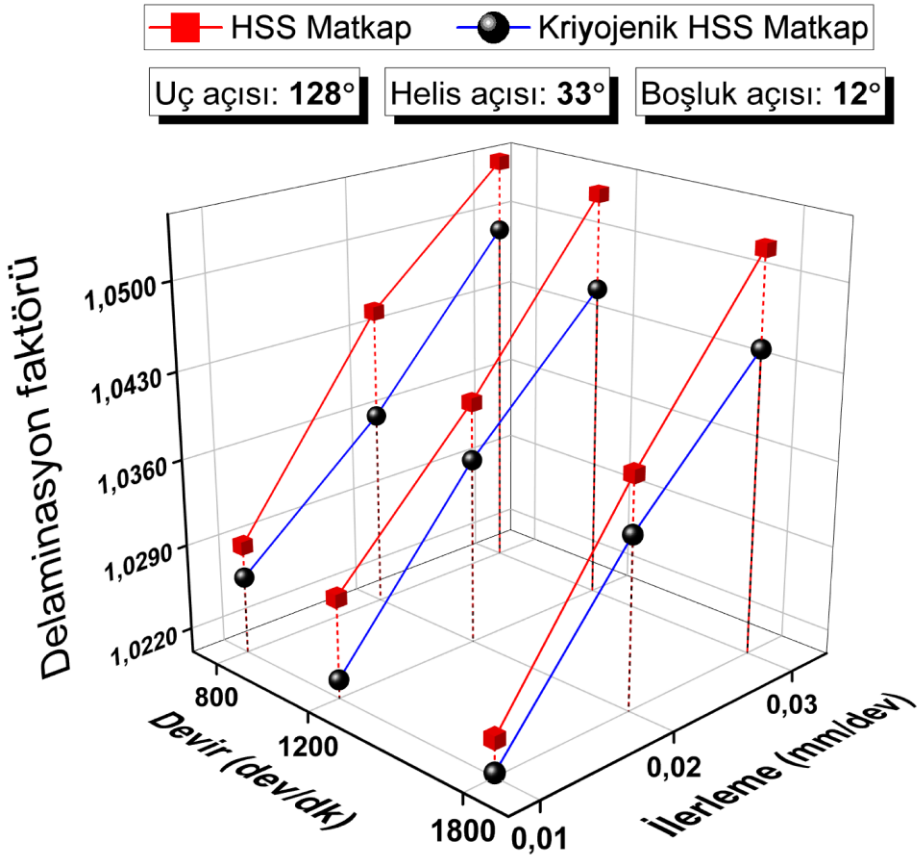
Şekil 4.81. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.81'deki grafik incelendiğinde, 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



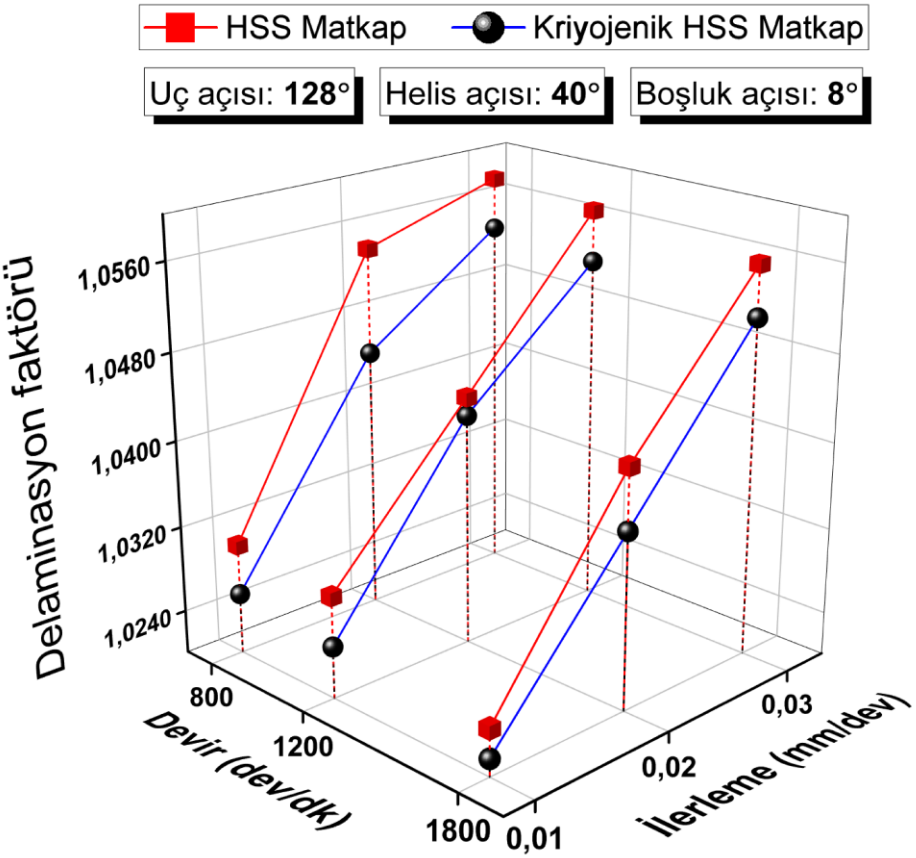
Şekil 4.82. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.82'deki grafiğe bakıldığında, 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



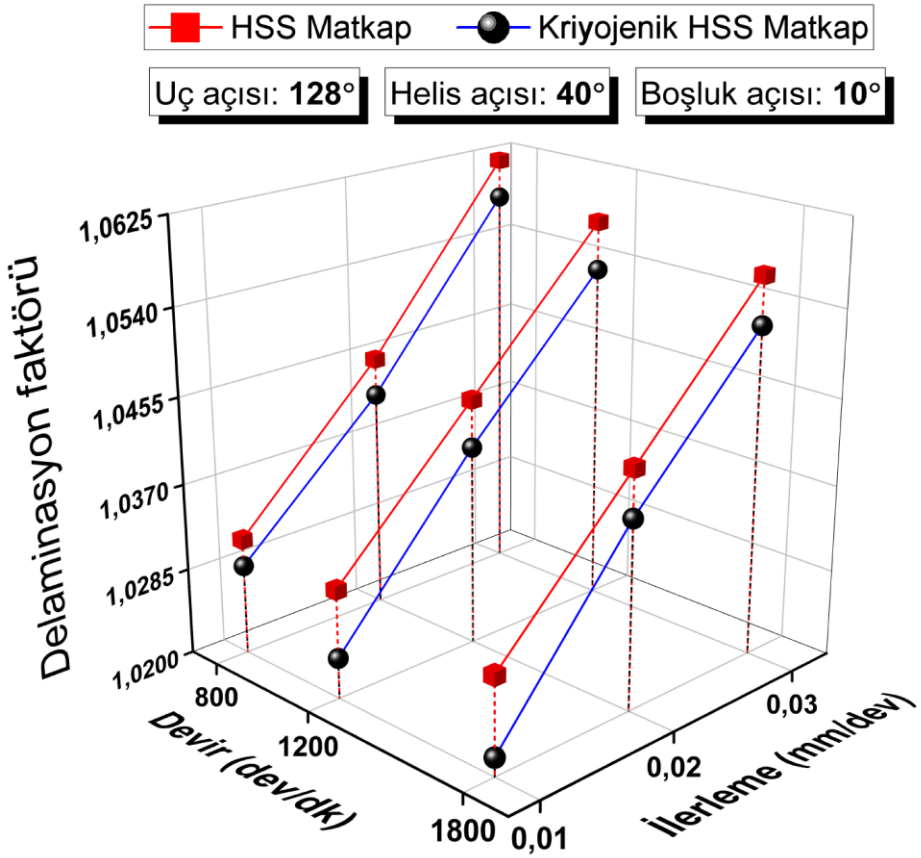
Şekil 4.83. 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.83'teki grafikten anlaşıldığı gibi, 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



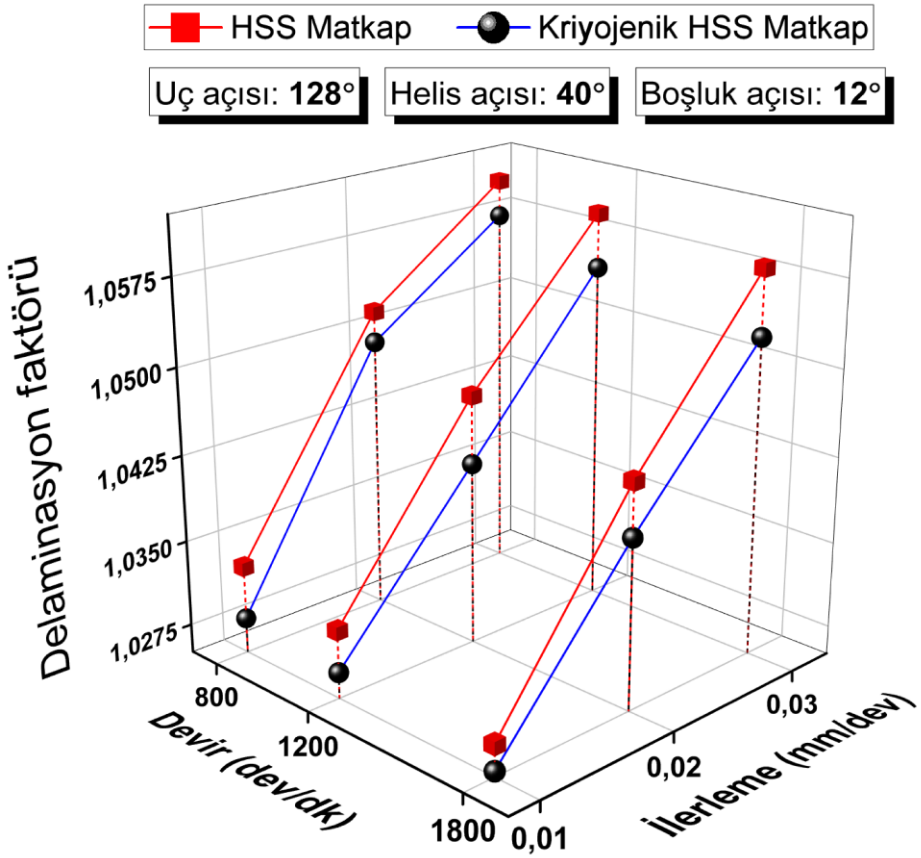
Şekil 4.84. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.84'teki grafik incelendiğinde, 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



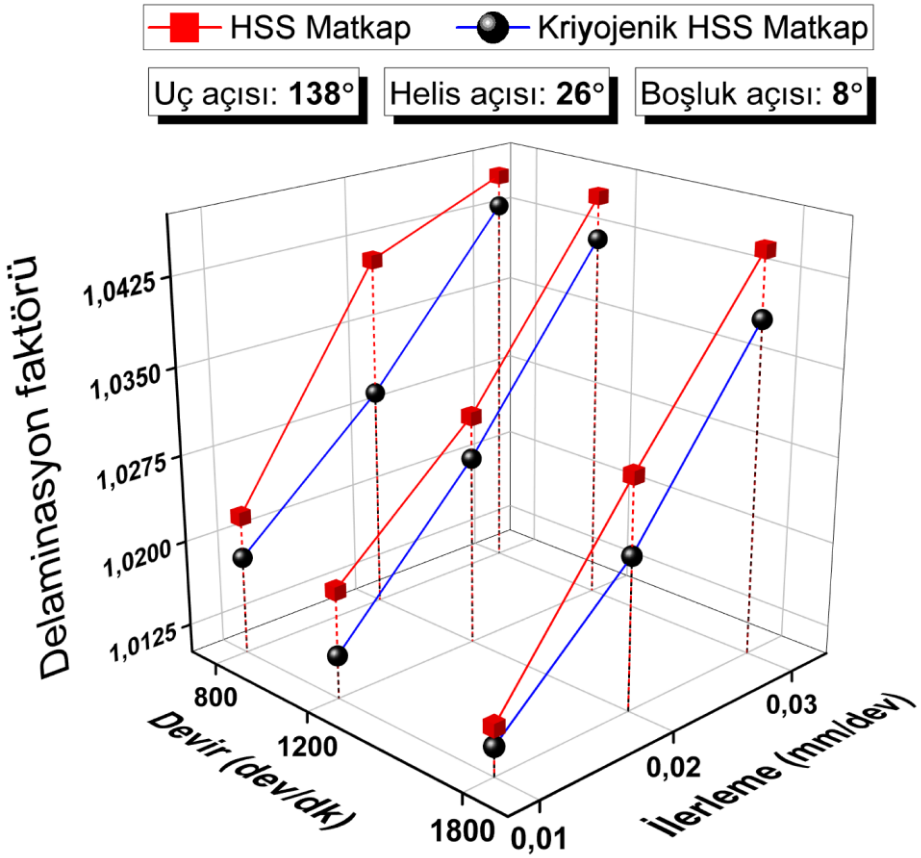
Şekil 4.85. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.85'teki grafiğe bakıldığında, 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



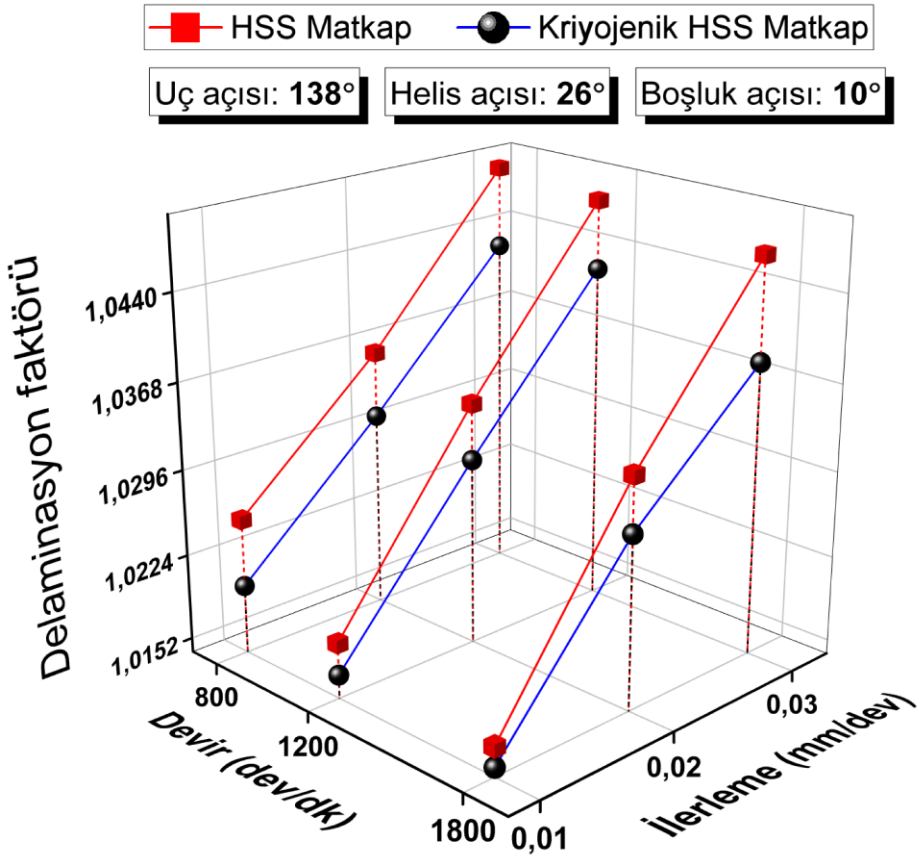
Şekil 4.86. 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.86'daki grafikten anlaşıldığı gibi, 128° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



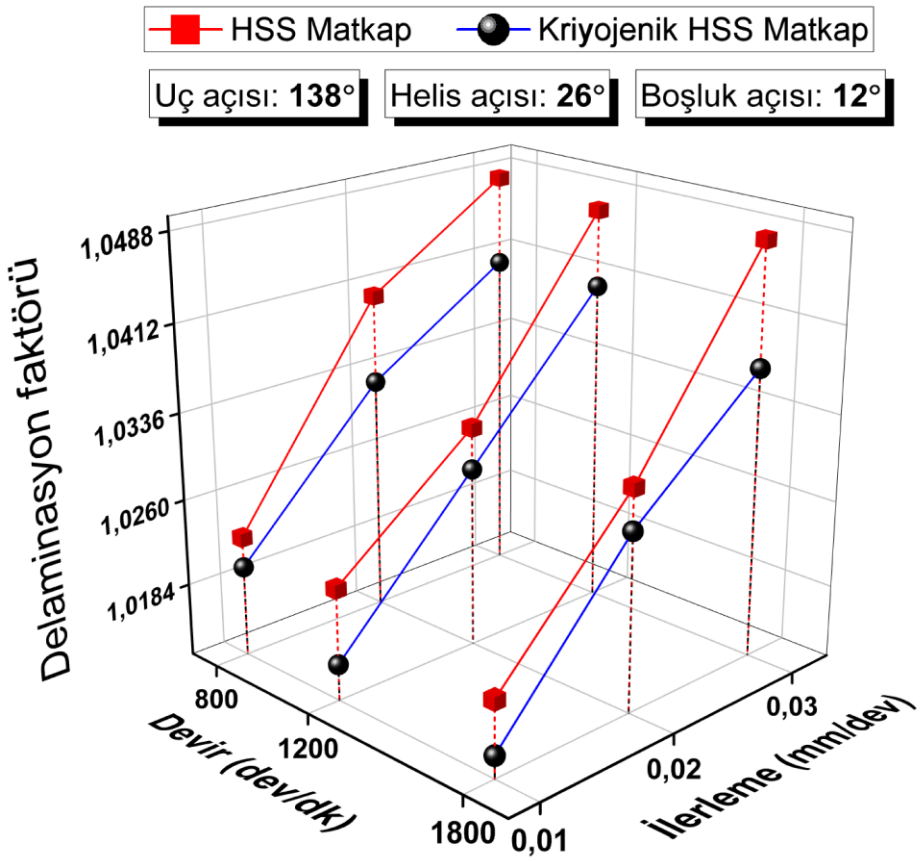
Şekil 4.87. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.87'deki grafiğe bakıldığında, 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



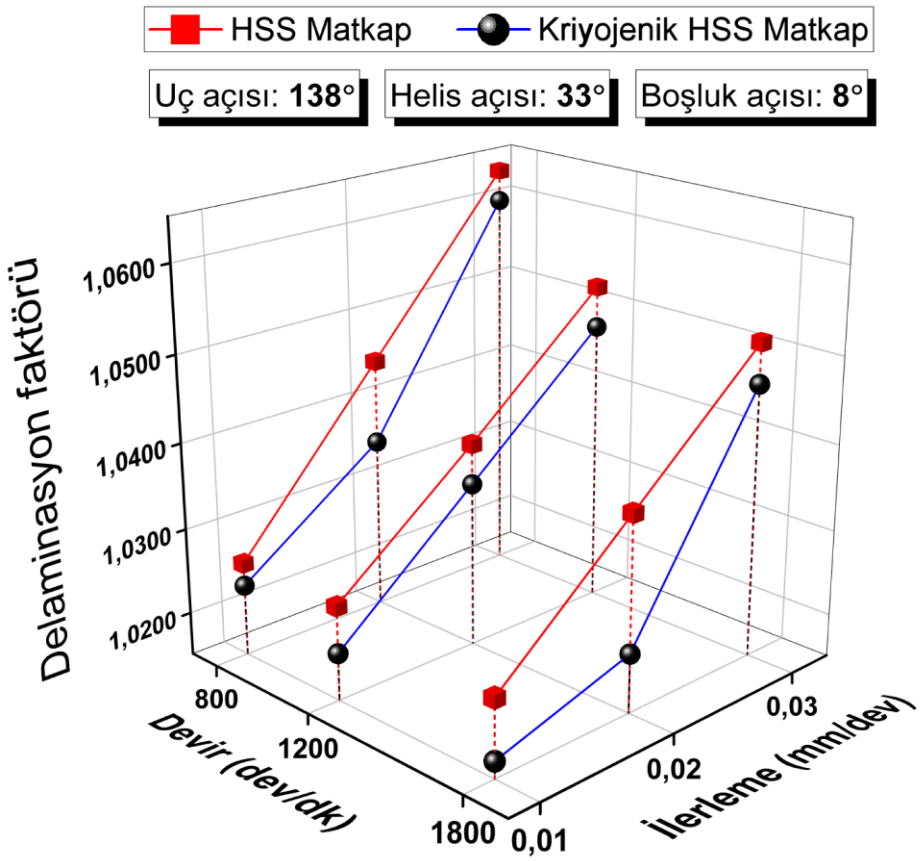
Şekil 4.88. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.88'deki grafik incelendiğinde, 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



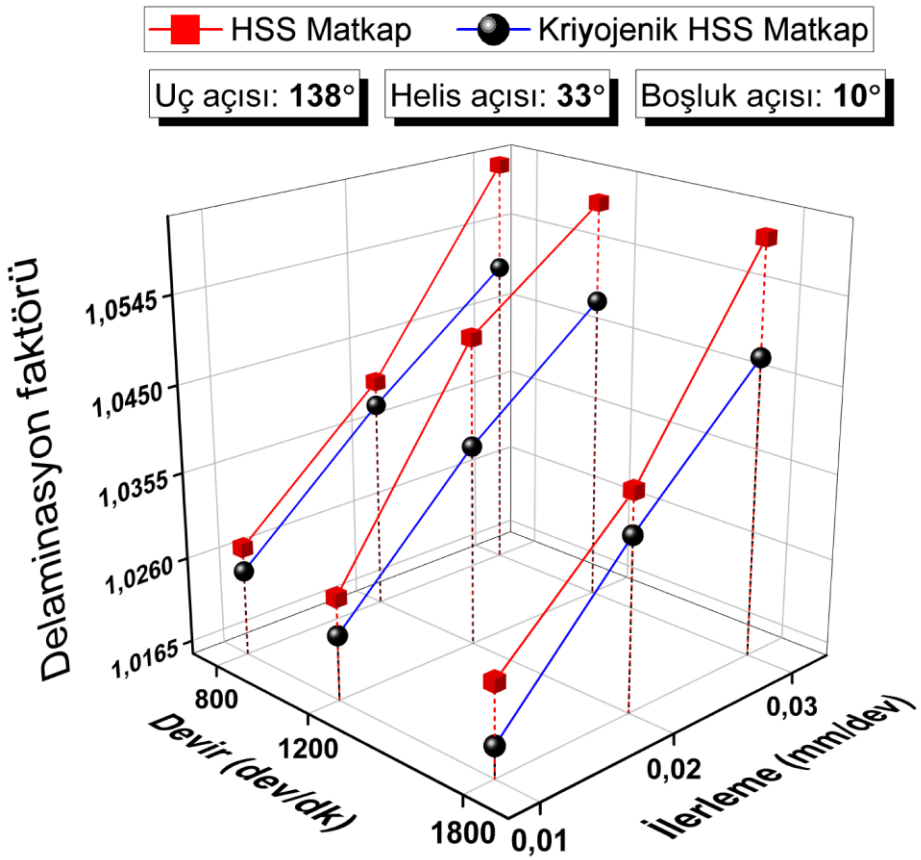
Şekil 4.89. 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.89'daki grafiğe bakıldığında, 138° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



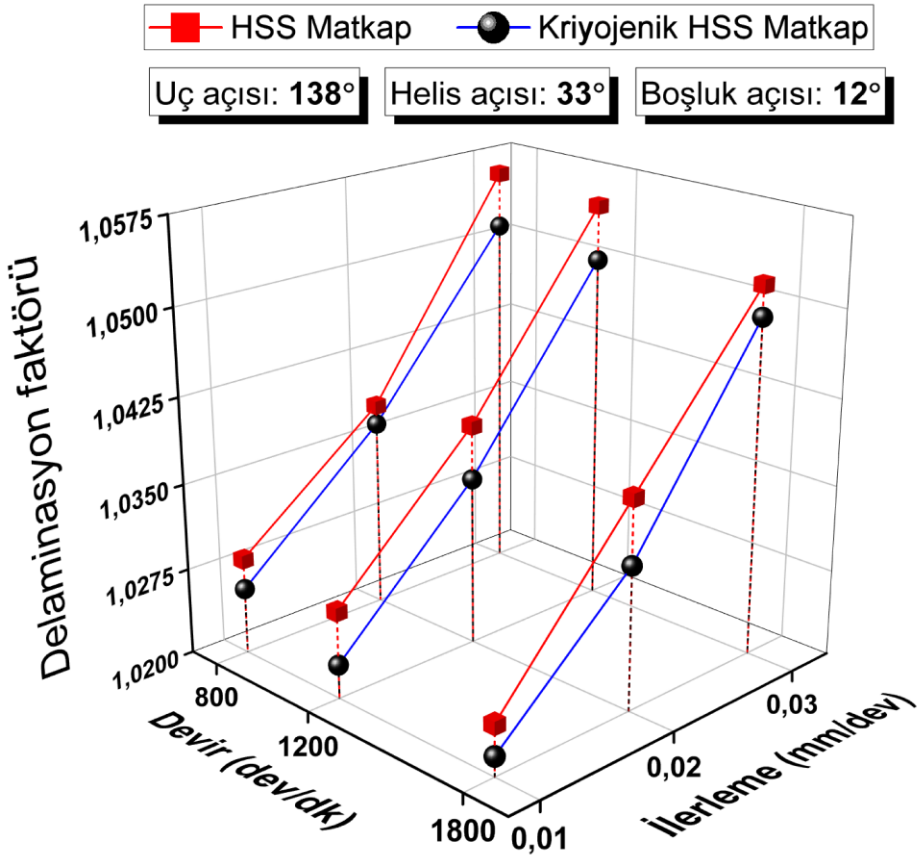
Şekil 4.90. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.90'daki grafikten anlaşıldığı gibi, 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



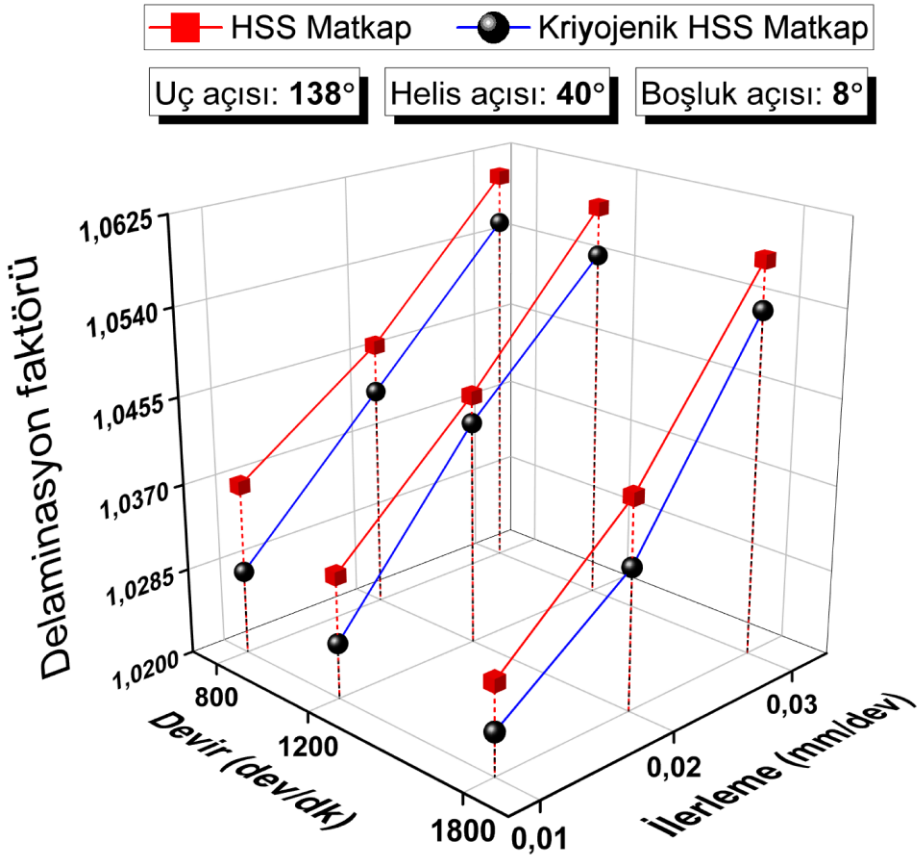
Şekil 4.91. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.91'deki grafik incelendiğinde, 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.



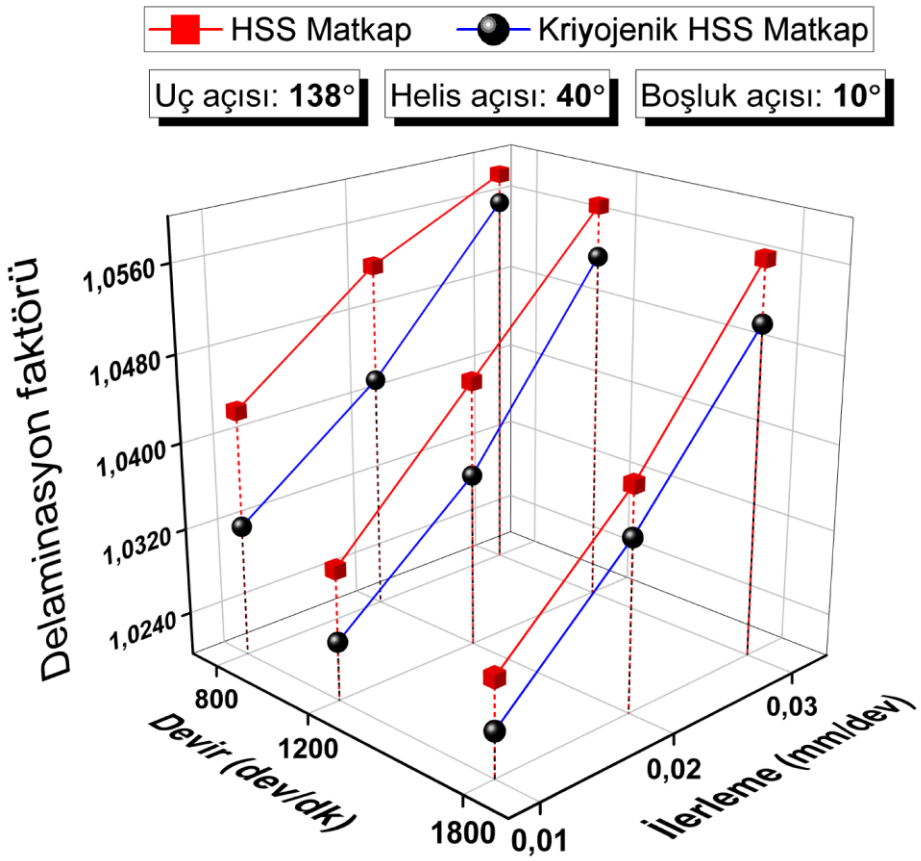
Şekil 4.92. 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.92'deki grafiğe bakıldığında, 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



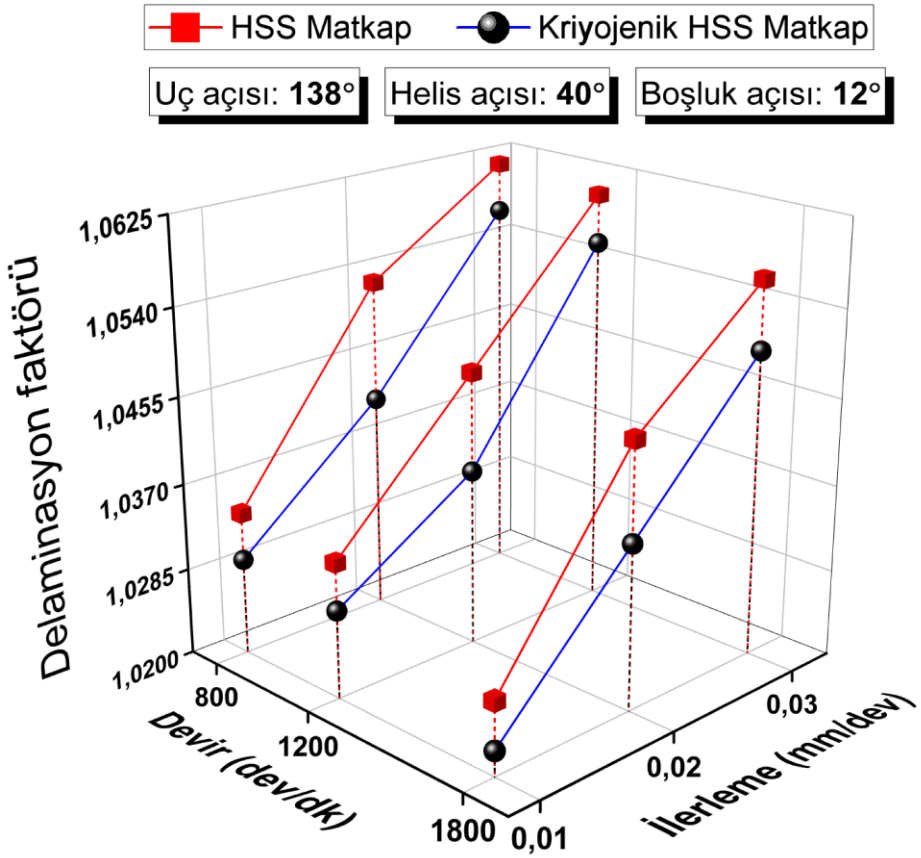
Şekil 4.93. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.93'teki grafikten anlaşıldığı gibi, 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.94. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.94'teki grafik incelendiğinde, 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu belirlenmiştir.



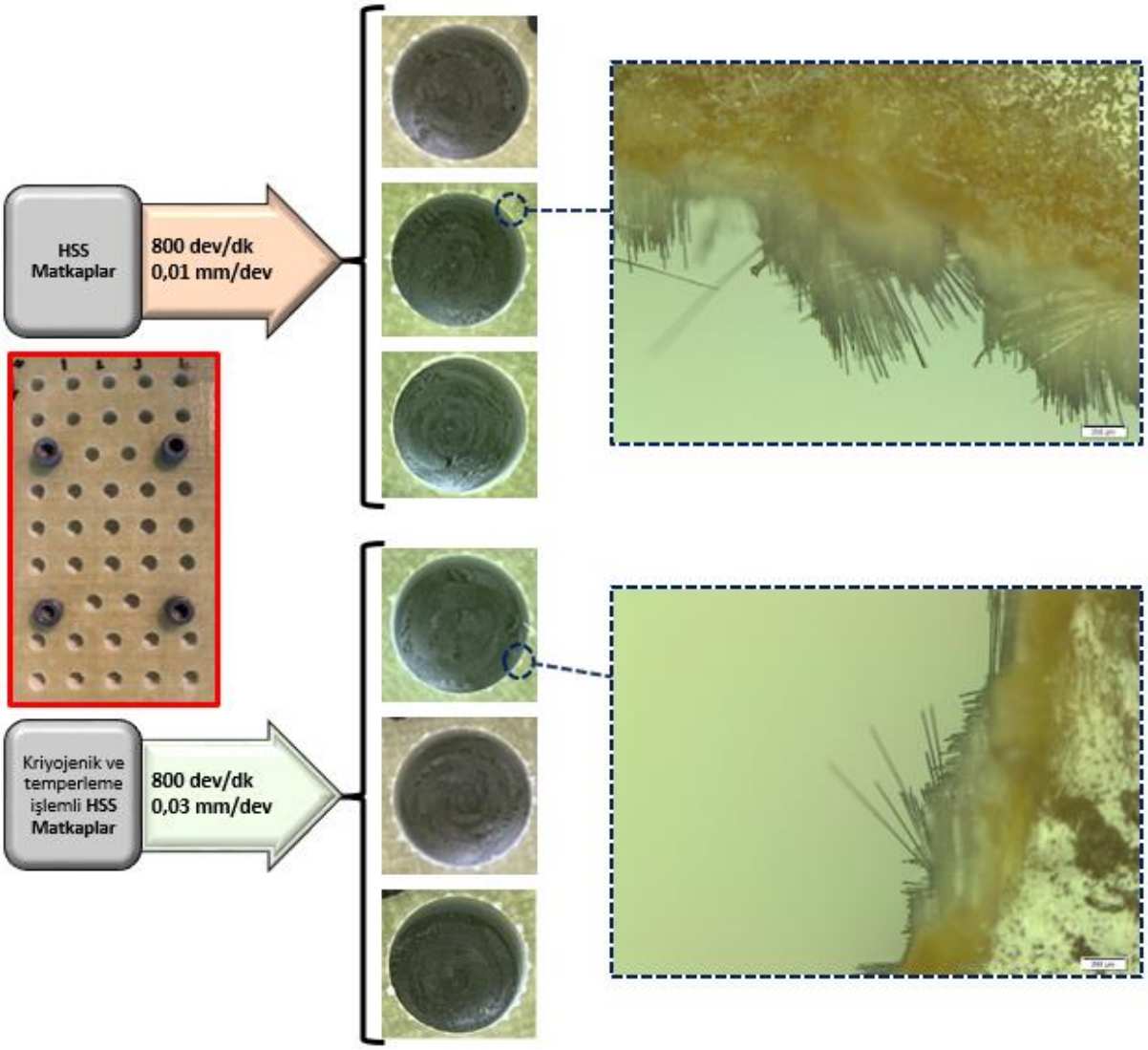
Şekil 4.95. 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açılı matkaplar ile işlemede delaminasyon faktörü

Şekil 4.95'teki grafiğe bakıldığında, 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin girişlerindeki delaminasyon faktörü değerlerinin, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan kör deliklerin girişinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerlerinin HSS matkaplar ile açılanlardan daha az olduğu tespit edilmiştir.

Kesici takımlarla işlenen kompozit iş parçalarının delaminasyon faktörü değerlerinin düşük olması istendiği bilinmektedir (Khashaba, 2004). Düşük olması istenen kompozit iş parçası delik yüzeyi etrafındaki delaminasyon faktörü değerlerini ise uygulanacak olan işleme parametreleri ve kesici takım geometrisi doğrudan etkilemektedir (Davim ve Reis, 2003; Giasin, 2016).

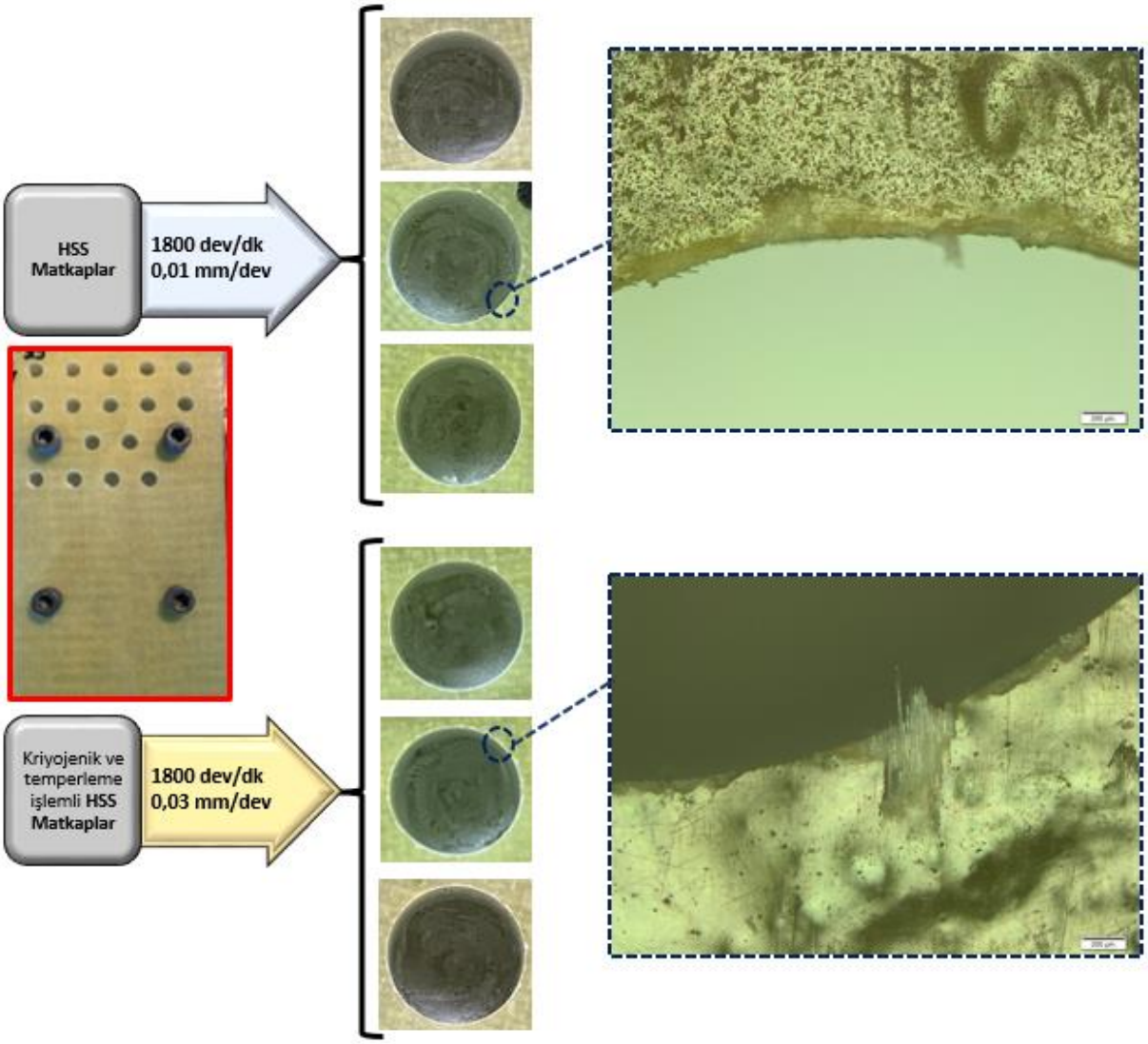
Şekil 4.69 ile Şekil 4.95 arasındaki grafiklerde görüldüğü gibi, genel olarak, yüksek devir sayılarında ve düşük ilerleme hızlarındaki delaminasyon faktörlerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar, S. Arul ve ark. (2006), Gaitonde ve ark. (2008), Karnik ve ark. (2008), Khashaba (2004), Khashaba ve ark. (2010a) ve Tsao ve Hocheng (2005)'ın yapmış oldukları araştırma sonuçları ile paralel olmaktadır.

Farklı matkaplar ile tekli kör delme işlemlerinin yapıldığı ve Şekil 4.96 ile Şekil 4.97'de, makro ve mikro görüntüleri çekilen kompozit malzeme üzerinde açılan delik girişlerinin kenarları görülmektedir. Bu görüntülerden de anlaşıldığı gibi, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan deliklerin kenarında meydana gelen delaminasyonların, HSS matkaplar ile açılan deliklerin kenarlarındaki delaminasyonlara göre daha az olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, mikro yapısındaki karbürler daha homojen yapıda ve küçük hacimli olan ve sertliği daha yüksek olan kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile delinen kompozit iş parçasındaki delaminasyon faktörlerinin, ilerleme değerleri daha yüksek olmasına rağmen daha küçük değerlerde olduğu da görülebilmektedir.



Şekil 4.96. Farklı matkaplar ile açılan deliklerin kenarlarının makro ve mikro resimleri

Şekil 4.96 ve Şekil 4.97'deki görüntüler karşılaştırıldığında, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile açılan deliklerin etrafındaki delaminasyonların daha küçük olduğu görülebilmektedir. Ayrıca, bu her iki görüntü incelendiğinde, 1800 dev/dk ile delinen kompozitlerin etrafında meydana gelen delaminasyonların daha az olduğu görülebilmektedir. İlaveten, bu durum, Taguchi analiz sonuçları ile de tutarlı olmaktadır.

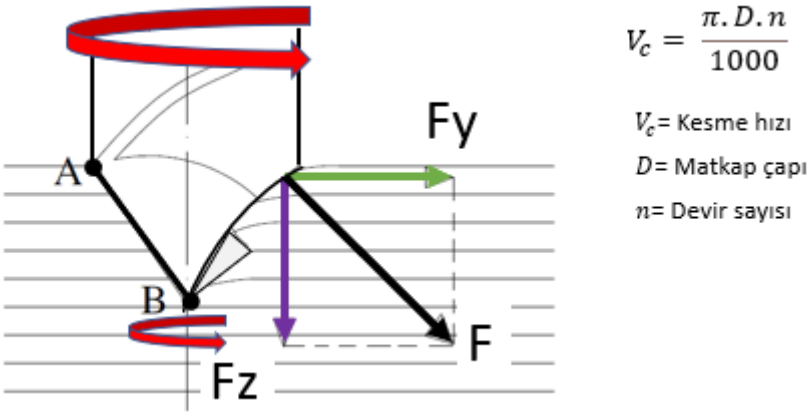


Şekil 4.97. Farklı matkaplar ile açılan deliklerin kenarlarının makro ve mikro resimleri

Şekil 4.69 ile Şekil 4.95 arasındaki grafiklerden ve delme işlemlerinin uygulandığı kompozit malzeme üzerinde bulunan delik yüzeylerinin kenarlarından ölçülerek hesaplanan delaminasyon faktörlerinin sonuçlarının verildiği Ek-3 tablosunda da görüldüğü gibi, en yüksek delaminasyon faktörü değeri 1,0671'dir. Bu en yüksek delaminasyon faktörü değeri, HSS Matkap kullanılarak, 800 dev/dk ve 0,03 mm/dev ilerleme parametrelerinde elde edilmiştir. Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkap ile elde edilen en yüksek delaminasyon faktörü de yine 800 dev/dk ve 0,03 mm/dev ilerleme ile 1,0618 olarak bulunmuştur. Bu iki en yüksek delaminasyon faktörü değeri kıyaslandığında, kriyojenik işlem görmüş HSS matkabın, aynı kompozit

malzemeyi delmelerine rağmen, HSS matkabına göre delaminasyon faktörü değerinin yaklaşık olarak %0,5 daha az olduğu görülmektedir.

Kompozit iş parçası üzerinde HSS matkaplar ile yapılan delme işlemleri sonucunda elde edilen en düşük delaminasyon faktörleri değeri 1,019 'dur. Bu en düşük delaminasyon faktörü değeri 1800 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme parametrelerinde elde edilmiştir. Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile yapılan delme işlemlerinde ise en düşük delaminasyon faktörü değeri 1,012'tür. Elde edilen bu en düşük delaminasyon faktörü yine 1800 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme parametrelerinde elde edilmiştir. Bu iki en düşük delaminasyon faktörü değeri kıyaslandığında, kriyojenik işlem görmüş HSS matkabın, aynı kompozit malzemeyi delmelerine rağmen, HSS matkabına göre delaminasyon faktörü değerinin %0,7 daha az olduğu görülmektedir. Burada görüldüğü gibi, kompozit malzemenin yapısı, küçük sapmalar ve değer aralığının çok küçük olmasından dolayı sonuçlar birbirine çok yakın bulunmuştur. Ancak, genel olarak yüksek devir ve düşük ilerlemelerde, delaminasyon faktörü değerlerinin daha iyi olduğu görülebilmektedir.

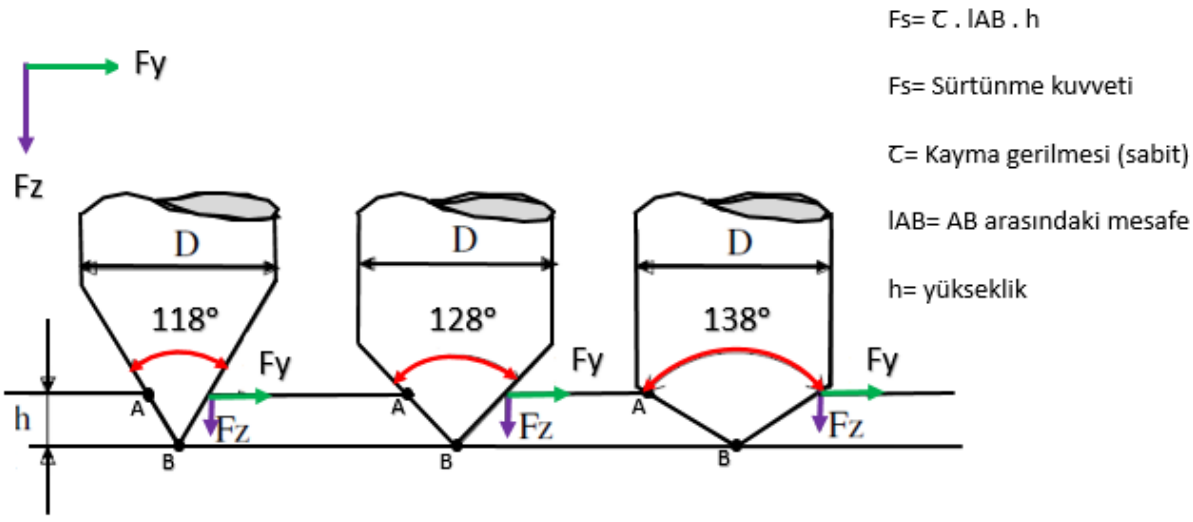


Şekil 4.98. Delik bölgesinde meydana gelen kuvvetler (Ekici, 2009)

Delik giriş kenarındaki delaminasyon faktörünün devir sayısının artışına bağlı olarak azalmasını, kesme hızı formülü ile açıklamak mümkün olabilmektedir (Şekil 4.98). Kesme hızı formülünde de görülebileceği gibi, devir sayısı arttıkça kesme hızı da artmaktadır. Şekil 4.98'de bulunan A noktasındaki devir en yüksek olurken, aşağıya doğru matkabın uç kısmına doğru gittikçe (çap küçüldüğünden) devir sayısının ve dolayısıyla da kesme hızının azaldığı görülebilmektedir. Kompozit malzeme üzerinde delik işlemi esnasında üst tarafta bulunan yüzey hizasında (A) yüksek kesme hızı ve artan sıcaklık nedeniyle plastik deformasyon daha hızlı olacağından, kompozit malzemenin

kesilmesi daha kolay olmaktadır. Burada, kesme hızının artışı ile birlikte aktif şekilde kesme olayı gerçekleştiğinden kopma olayı meydana gelmemektedir. Bu yüzden de delaminasyon daha az yaşanmaktadır (Ekici, 2009; Motorcu ve ark., 2020; Pawar ve ark., 2015). Ayrıca, delaminasyon faktöründe, devir sayısının artışına bağlı olarak meydana gelen azalma, kompozit malzemenin yapısının artan sıcaklığa bağlı olarak yumuşamasından da kaynaklanmaktadır (Pawar ve ark., 2015).

Kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin kenar yüzeylerinden ölçülen delaminasyon faktörü değerleri ile ilgili olarak, Şekil 4.69 ile Şekil 4.95 arasındaki grafikler ve Taguchi analiz sonuçları (Şekil 4.66 ve Şekil 4.67) birlikte değerlendirildiğinde, en optimum uç açısının 118° olduğu bulunmuştur. Kör delik açılan kompozit malzemenin delik kenarlarındaki delaminasyonların, uç açısının artışına bağlı olarak arttıkları, hesaplanan delaminasyon faktörlerinin verildiği Ek-3'teki tablo ve Şekil 4.69 ile Şekil 4.95 arasındaki grafikler ve ayrıca Şekil 4.66'daki Taguchi analizleri grafiğinden de görülebilmektedir. Bu sonucun ortaya çıkmasında, matkap uç açısının artışına bağlı olarak, radyal kesme kuvvetinin (Fy) ilerleme kuvvetinden daha etkin olmaya başlamasıdır. Kompozit malzemenin deformasyon olan bölgesindeki bu radyal kuvvetlerin etkisi nedeniyle, oluşan talaş parçaları X ve Y ekseni doğrultularında itildiklerinden daha fazla hasarlı delikler meydana gelmektedir (Ekici, 2009; Motorcu ve ark., 2020). Şekil 4.99'da bu durum görülebilmektedir.



Şekil 4.99. Delik girişinde oluşan kuvvetler ve matkap uç açısının etkileri (Ekici, 2009)

Kör delme işlemin yapıldığı kompozit malzemenin giriş bölgesinde aynı yükseklikte (h) işlem yapıldığı düşünüldüğünde, Şekil 4.99'da belirtilen sürtünme kuvveti formülüne göre, kayma gerilmesinin (C) aynı (sabit) olması nedeniyle A ve B noktaları arasındaki uzunluk (l_{AB}), matkap uç açısının artışına bağlı olarak arttığından, sürtünme kuvveti de artmış olacaktır. Böylece, sürtünme kuvvetinin artması nedeniyle kompozit malzemeden talaşın kopması zorlaşacağından deformasyon alanı da artış göstermektedir. Artış gösteren bu deformasyon alanı nedeniyle de delik çevresindeki delaminasyon da artış gösterir (Ekici, 2009). Ayrıca, kompozit malzemeleri delen matkapların uç açısının artışına bağlı olarak delaminasyon faktörünün de arttığı, literatürde bulunan çalışmalarla da uyumlu olmaktadır (Reddy ve ark., 2013; Rubio ve ark., 2008; Singh ve ark., 2008).

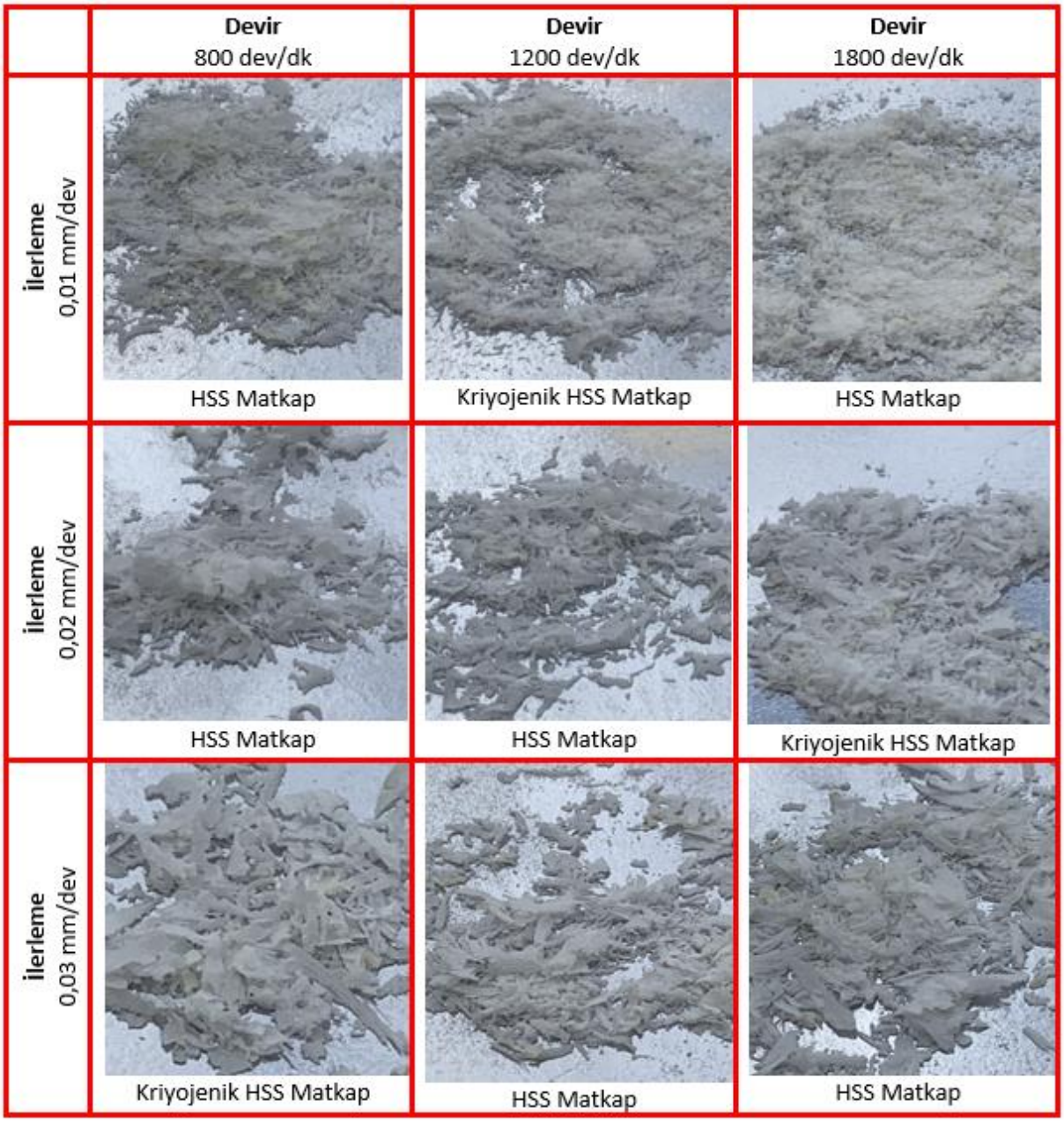
Kompozit iş parçası üzerinde açılan kör deliklerin kenar yüzeylerinden ölçülen delaminasyon faktörü değerleri ile ilgili olarak, Şekil 4.69 ile Şekil 4.95 arasındaki grafikler ve Taguchi analiz sonuçları (Şekil 4.66 ve Şekil 4.67) birlikte değerlendirildiğinde, en optimum helis açısının 26° ve boşluk açısının da 8° olduğu anlaşılmaktadır. Kör delik açılan kompozit malzemenin delik kenarlarındaki delaminasyonların, helis açısı ve boşluk açısı artışına bağlı olarak genel olarak arttıkları, hesaplanan delaminasyon faktörlerinin verildiği Ek-3'teki tablo ve Şekil 4.69 ile Şekil 4.95 arasındaki grafikler ve ayrıca Şekil 4.66'daki Taguchi analizleri grafiğinden de görülebilmektedir. Burada görüldüğü gibi, kompozit malzemenin yapısı ve değer aralığının çok küçük olmasından dolayı hem helis açısı için hem de boşluk açısı için delaminasyon faktörleri sonuçları birbirine çok yakın bulunmuştur. Ancak, genel olarak, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısı parametreleri ile delaminasyon faktörü değerlerinin daha iyi olduğu görülebilmektedir. Elde edilen bu sonuçlar ile ilgili olarak literatüre bakıldığında, kompozit malzemeler üzerindeki araştırmalarda, helis ve boşluk açısının, delaminasyon faktörü değerleri üzerindeki etkisinin çok az olduğunu belirten sonuçlarda bulunmaktadır (Shyha ve ark., 2009).

4.6. Kompozit İş Parçasının Delinmesi Esnasında Çıkan Talaşların İncelenmesi

Kompozit malzemelerin kesici takımlar ile işlenmesi esnasında oluşan talaşın şekli, fiziksel özellikleri bakımından, kompozit malzemenin farklı yönlerine göre değişiklik göstermesi (anizotropik), düşük mukavemeti ve plastik deformasyona karşı zayıf yapısı nedeniyle metal işlemelerinden farklıdırlar (Azmi, 2013; Rao ve ark., 2007; Sheikh-Ahmad, 2009). Kompozit malzemelerde bulunan fiber ve matrisler, kesici takım ile işlenen iş parçasının talaş oluşumu üzerinde etkindirler. Kompozit malzemelerde bulunan takviye lifleri, cam liflerde olduğu gibi güçlü, kırılgan ve zayıf bir termal iletkenliğinde, matris ise daha az sert yapıda ve zayıf olmakta, ayrıca, yüksek sıcaklıklar karşısında da oldukça hassas olmaktadırlar (Sheikh-Ahmad, 2009). Kompozit malzemelerde bulunan fiber/matrisin kırılgan yapısı nedeniyle, işleme sırasında, fiber ve matris parçalarından oluşan kesintili talaşlar oluşmaktadır (Azmi, 2013). Kompozit malzemelerde talaş oluşumunun tipi, öncelikle uygulanan kesme parametrelerine, kompozit yapıda kullanılan fiberin fiziksel ve mekanik özelliklerine ve matris içeriğine bağlıdır (Azmi, 2013; Sheikh-Ahmad, 2009). Matris malzemeleri, fibere göre daha zayıf olmasından dolayı kesme kuvvetlerine etkileri az olmaktadır. Ancak, talaşın oluşumuna etkileri bulunmaktadır. Cam fiberler ise yönlerine bağlı olarak kesme kuvvetleri üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Cam fiberler, gevrek kırılma sergileyerek fiber çapından daha küçük ve aşındırıcı küçük talaşlar oluştururlar (Sheikh-Ahmad, 2009).

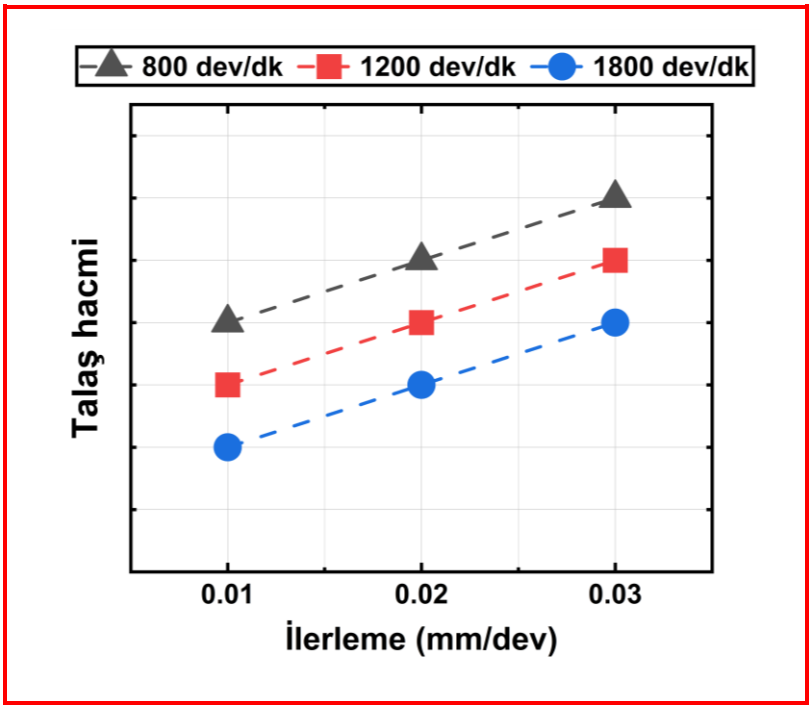
Şekil 4.100'de, HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapların kompozit malzeme üzerinde kuru şartlarda, kör delik açtığı sırada oluşan talaşların makro görüntüleri verilmiştir. Bu makro görüntüler incelendiğinde hem HSS matkaplar ve hem de kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş matkaplar ile yapılan delmeler sırasında oluşan talaşların, aynı ilerleme hızında iken devir sayıları arttırıldığında, talaş hacimlerinin küçüldüğü görülmektedir. Bu durum özellikle Şekil 4.100'deki makro resimlerde de görülebildiği gibi 0,03 mm/dev ilerleme hızında daha belirgin olmaktadır. Burada, matkap ile delme işlemi esnasında, düşük devirde, kesici takımın sarmal yapısı nedeniyle çıkan talaşlar çok kısa bir kıvrılma göstererek, helisel kanallar aracılığıyla dışarı atılmışlardır. Oluşan talaşlar çok kısa kıvrılırlar çünkü cam fiber kompozitler, yeterli sünekliği sahip değillerdir. Camın kırılgan özelliği kendini burada göstermektedir. Bu yüzden de talaş çok kısa uzunlukta şekillenerek oluşur. Sabit ilerleme hızında ise devir sayısı arttıkça, oluşan talaşlar dışarı geç çıkarak, kesici takım ile iş parçası arasında sıkışarak ezilmektedirler. Ayrıca, sabit devirde, ilerleme miktarı

arttıkça kesici takımın iş parçasından kopardığı talaşın hacmi artacağından, çıkan talaşların da hacmi büyük olmaktadır. Diğer yandan, devir ve ilerleme hızının bir bütün olarak birlikte arttığı düşünüldüğünde ise, ilerleme ile artan talaş hacmine, devir sayısının artışı etki ederek talaş hacminde küçülmeye neden olmaktadır (Azmi, 2013; Ramulu ve ark., 1996; Sheikh-Ahmad, 2009).



Şekil 4.100. Farklı devir sayısı ve ilerlemelerde oluşan talaşların görüntüsü

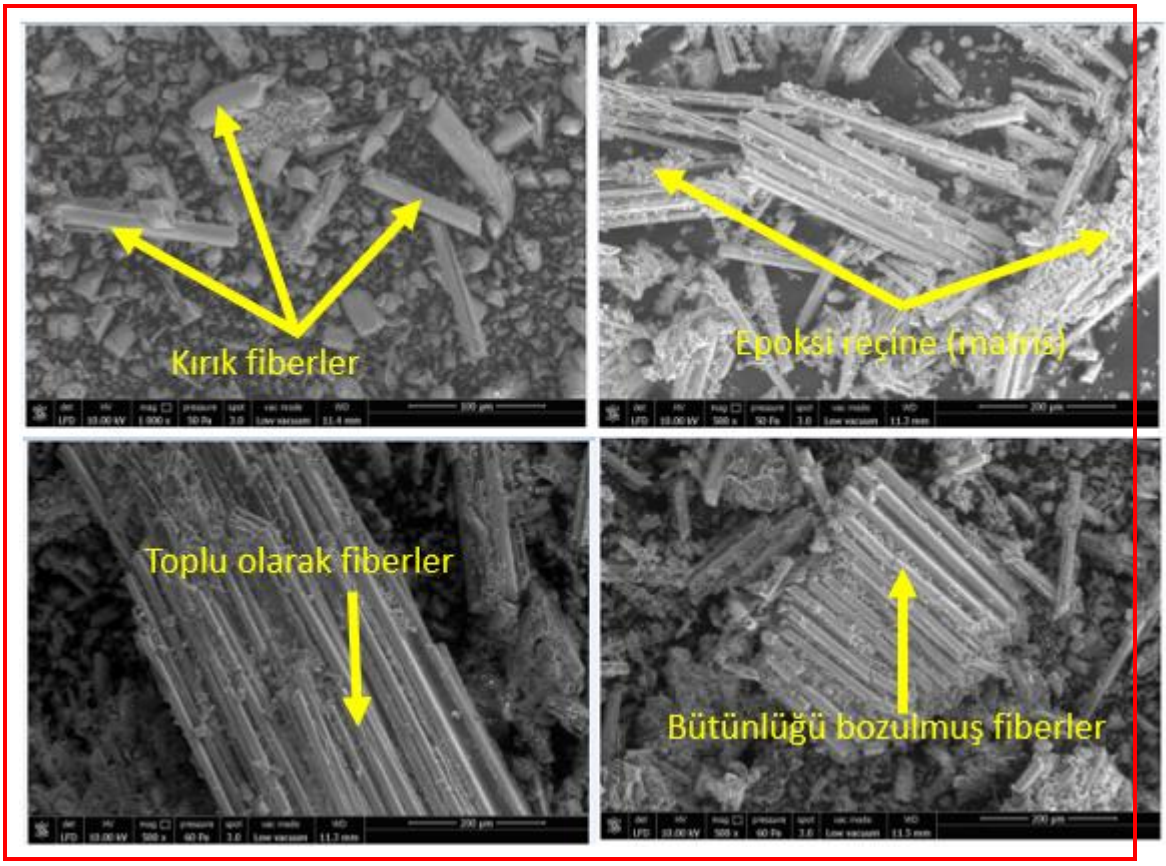
HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapların kompozit malzeme üzerinde, kör delik açtığı sırada oluşan talaşlar birbiri ile karşılaştırıldığında ise dikkate değer bir fark görülmemiştir.



Şekil 4.101. Devir ve ilerleme hızına bağlı olarak talaş hacmi değişimi

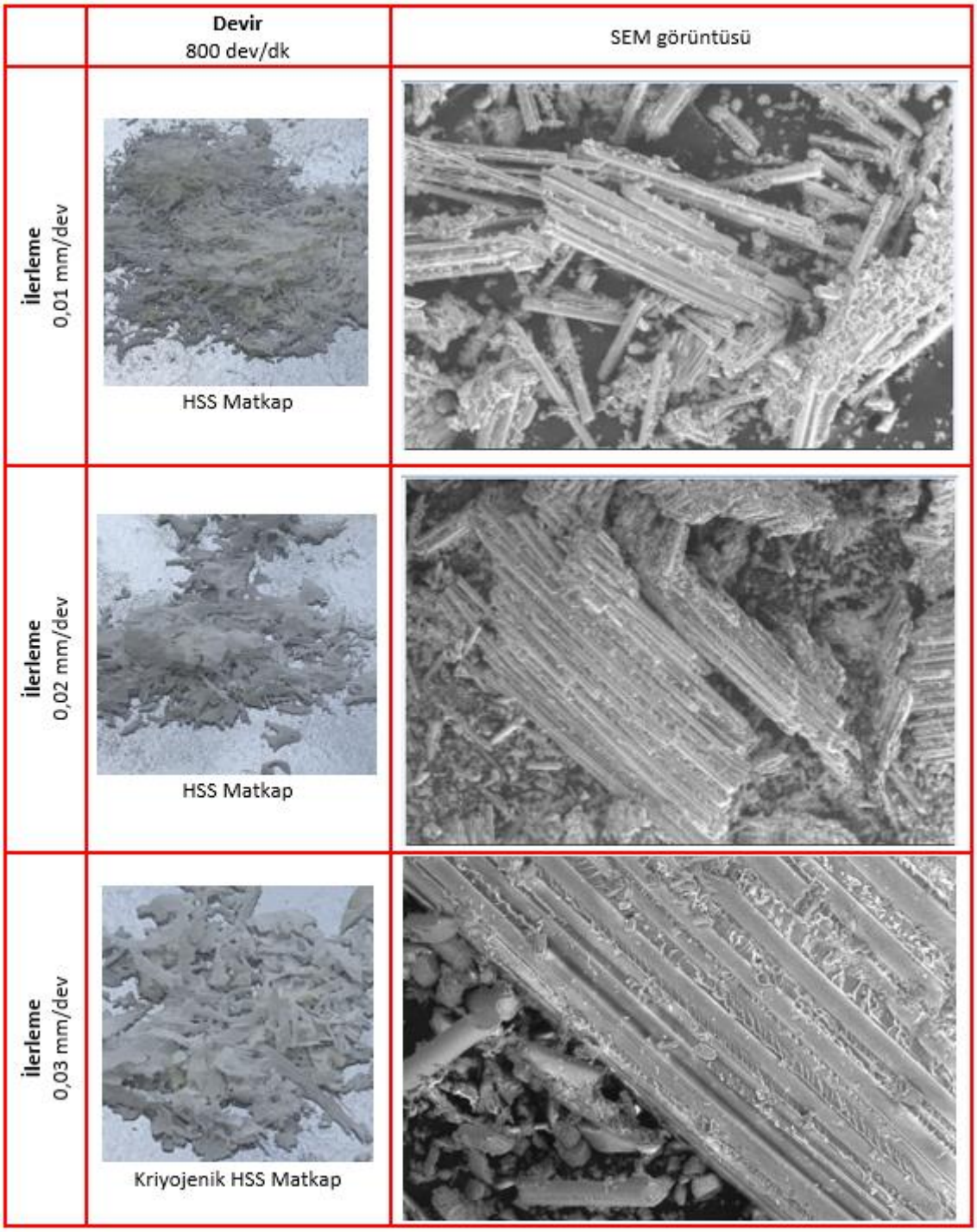
Şekil 4.101'de görülebildiği gibi, kompozit iş parçası üzerinde kör delme işlemleri yaparken, devir sayıları sabit tutulduğunda ilerleme hızının artışına bağlı olarak talaş hacminin artış gösterdiğini, devir sayısı artırıldığında ise ilerleme hızı artış göstermesine rağmen daha düşük devir sayısına göre daha küçük talaş hacimleri oluşmuştur.

Bu tez çalışmasında kullanılan kompozit malzeme, İzoreel firması tarafından, el ile yayma (Hand-layup) metodu kullanılarak üretimi yapılmıştır. Kompozit malzemenin takviye açıları 0°/90° 'dir. Üretim aşamasında, cam fiberlerin aralarına epoksi reçine (matris) sürülmesi şeklinde tatbik edilerek, üst üste tabakalar olarak konmuşlardır. Cam fiber oranı %60-%70 arasındadır. Belirtilen bu özellikteki kompozit iş parçasının talaşlarından alınan SEM görüntüleri Şekil 4.102'de gösterilmiştir. Kırılmış fiberler ve matris malzemesi olan epoksi reçine parçaları görülebilmektedir.



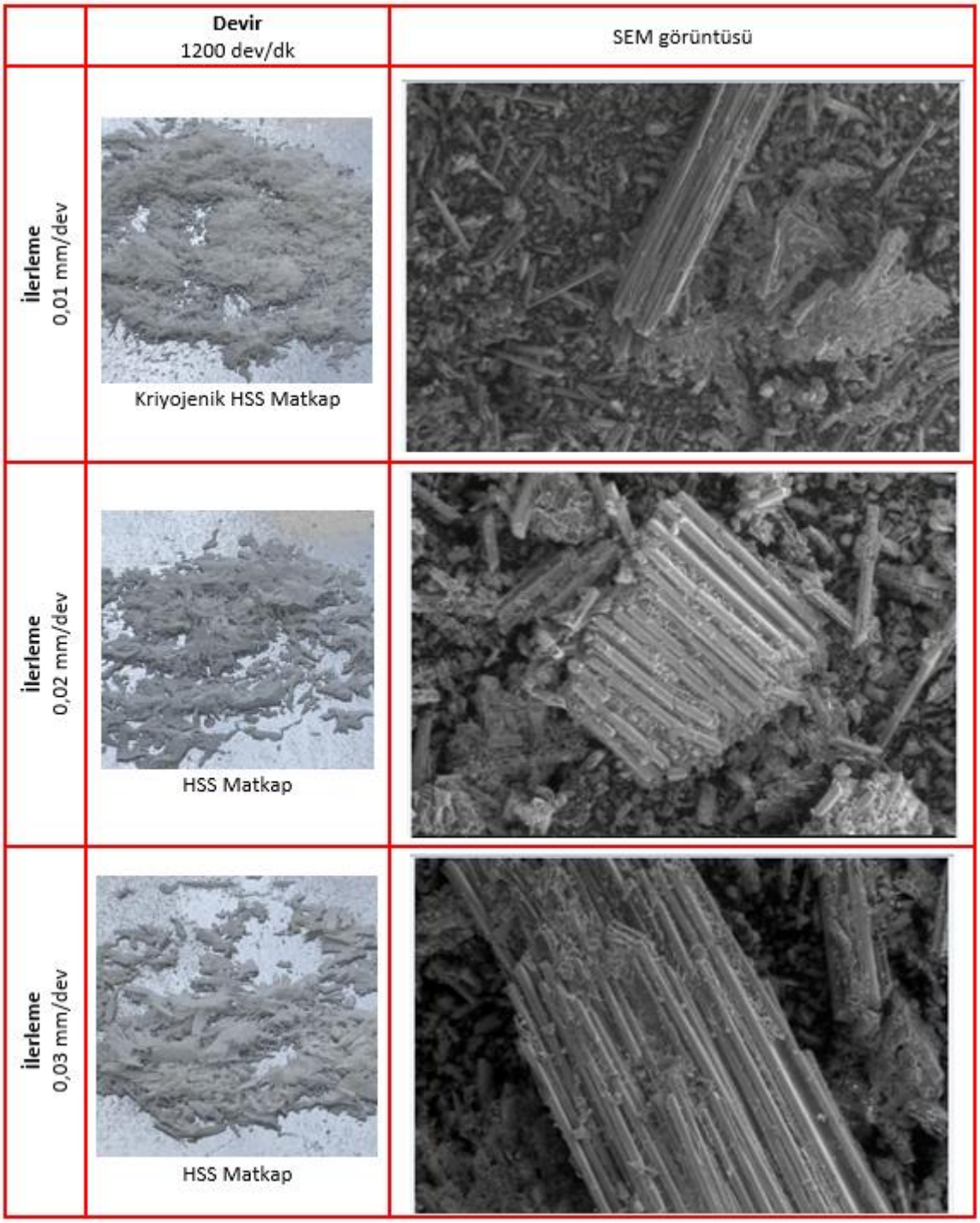
Şekil 4.102. Farklı parametrelerde açılmış deliklerden çıkan talaşların SEM görüntüleri

Kompozit iş parçası üzerinde kör delme işlemleri yaparken oluşan talaşların kırılma yapılarının anlaşılması amacıyla Şekil 4.102'de görüldüğü gibi farklı büyütme oranlarında SEM görüntüleri çekilmiştir. Şekil 4.102'deki SEM görüntüleri incelendiğinde, kırık olan fiberlerin tüm SEM görüntülerinde olduğu görülebilmektedir. Aynı durum epoksi reçine içinde geçerlidir. Ancak, bazı fiberlerin çok daha küçük ebatta oldukları görülebilmektedir. Ayrıca, toplu halde yani epoksi reçine ile birlikte parça olarak kopan fiberlerde görünmektedir. Yukarıda, nedenleri belirtildiği gibi, fiber kırıklarının büyük parçalar şeklinde olması, düşük devir ve yüksek ilerlemelerden kaynaklanmakta, fiber kırıklarının küçük olması ise düşük ilerleme hızları esnasındaki devir sayısının yüksekliği nedeniyle talaşın işlem yapılan bölgeden talaş kanalları vasıtasıyla çıkmaya imkân bulamadan kesici takım ile iş parçası arasında sıkışarak kırılmalarından kaynaklanmaktadır.



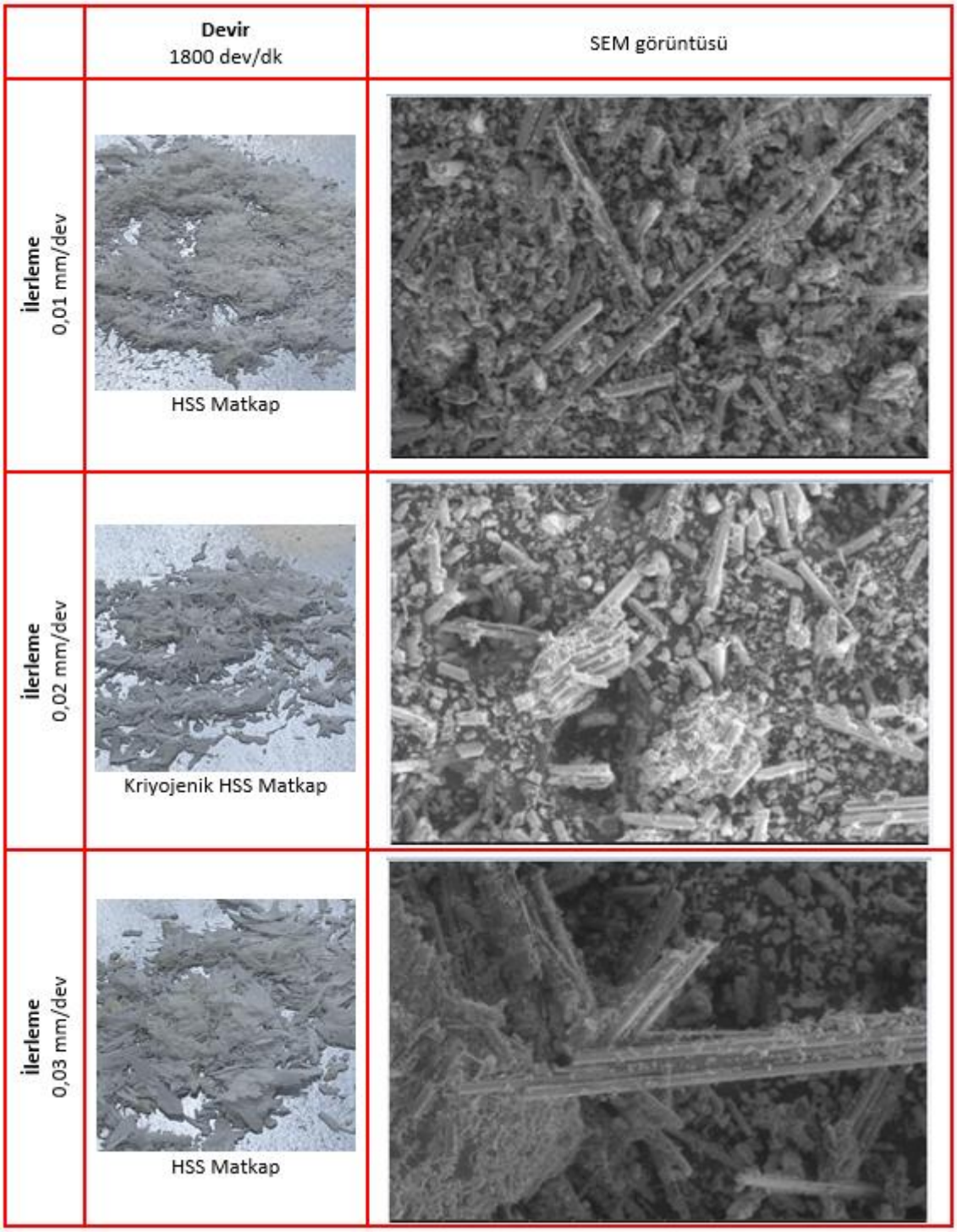
Şekil 4.103. Sabit devir sayısı ve farklı ilerlemelerde oluşan talaşların makro ve SEM görüntüleri

Şekil 4.103'teki makro ve SEM görüntüleri incelendiğinde, dakikada 800 devir sayısının sabit kalması ile birlikte ilerleme hızı artışının, çıkan talaşın hacmini ve kırık fiberlerin oranını arttırdığı görülebilmektedir.



Şekil 4.104. Sabit devir sayısı ve farklı ilerlemelerde oluşan talaşların makro ve SEM görüntüleri

Şekil 4.104'deki makro ve SEM görüntüleri incelendiğinde, dakikada 1200 devir sayısının sabit kalması ile birlikte ilerleme hızı artışının çıkan talaşın hacmini artırdığı ve ayrıca kırık fiberlerin oranının ise 800 dev/dk 'ya göre daha da arttığı görülebilmektedir. Ayrıca, epoksi reçinenin de bütünlüğünün daha çok bozulduğu görülmektedir.



Şekil 4.105. Sabit devir sayısı ve farklı ilerlemelerde oluşan talaşların makro ve SEM görüntüleri

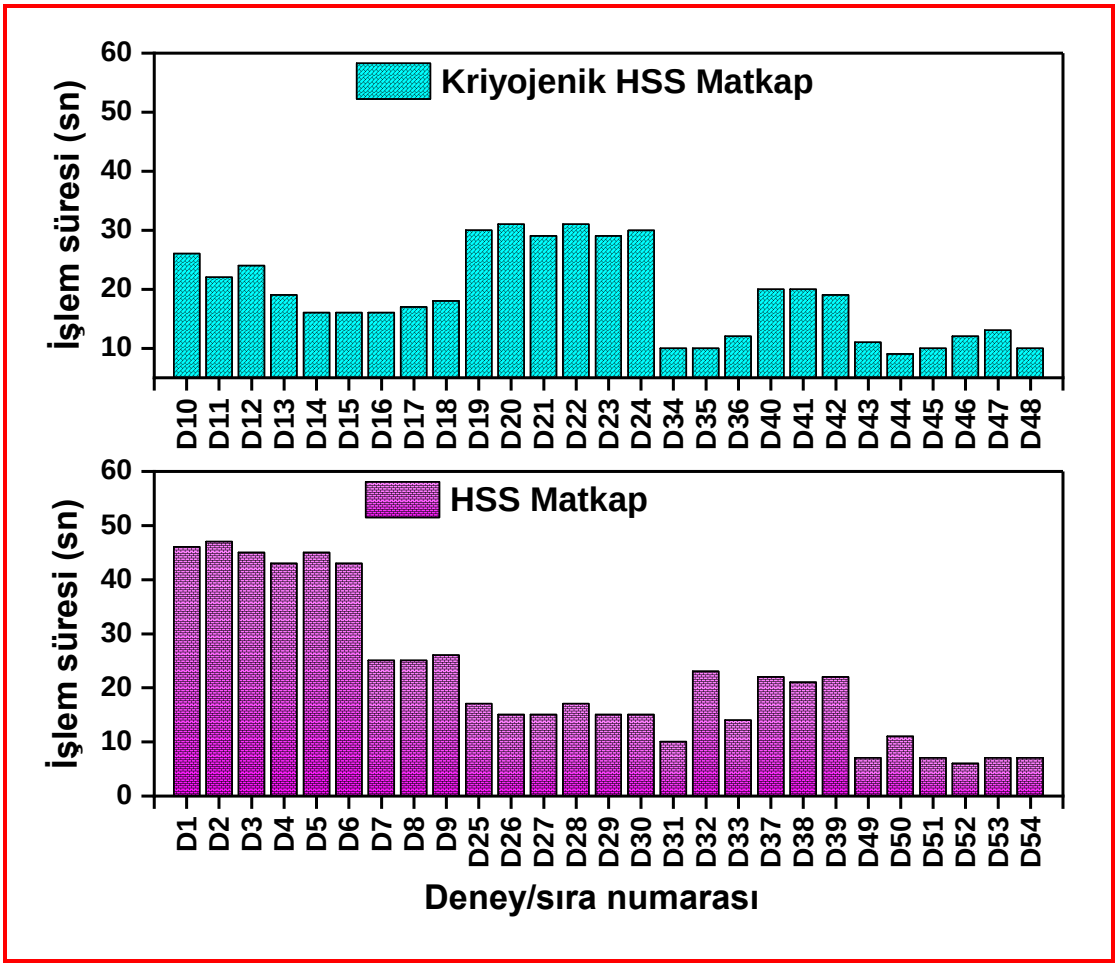
Şekil 4.105'teki makro ve SEM görüntüleri incelendiğinde, dakikada 1800 devir sayısının sabit kalması ile birlikte ilerleme hızı artışının çıkan talaşın hacmini artırdığı ve kırık fiberlerin oranının ise 800 dev/dk ve 1200 dev/dk 'ya göre daha da arttığı görülebilmektedir. Ayrıca, epoksi reçinelerin hacminin ve oluşan yüksek ısıdan dolayı yapısal şekil ve bütünlüğünün daha da çok bozulduğu görülmektedir.

4.7. Kompozit Malzemelerde Açılan Kör Deliklerin İşlem Süresi

Matkap ile delme işlemlerinin yapıldığı iş parçalarının ne kadar bir süre içerisinde bitirildiği de önemli bir konu olmaktadır. Özellikle imalat endüstrisinde, delik delmenin uygulandığı iş parçasına bu işlemlerin tatbik edilmesi, imalat süreçleri için kullanılan sürenin üçte birine tekabül etmektedir. Delik işlemi için harcanan bu süre hem zaman ve hem de kullanılan kesici takımın ömrü yününden oldukça maliyet oluşturmaktadır. Bu yüzden, en kısa sürede en iyi kalitede delik açılması önemli bir kazanım olmaktadır (Ben Meftah ve ark., 2019; Pamukoğlu ve Göloğlu, 2004; Üstün ve Turgut, 2020). Bu yüzden bu tez çalışmasında, delinen kör delik işlemlerinin bitirilme süreleri, dinamometre ile kesme kuvvetleri ile ölçüm yapılırken, yazılım programı sayesinde, delik girişindeki kuvvet değişimi anından delik işleminin bittiği ve kuvvet ölçümünün bitirildiği ana kadar olan süre ölçülerek hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan kompozit iş parçasının kalınlığının 11 mm olması ve kuvvetlerin hassas bir ölçümü için kör delikler 10 mm derinliğe kadar açıldığından, 10 mm kalınlık üzerinden süre hesabı yapılmıştır. Özel olarak tek delme işlemi için imal edilen 54 adet matkabın olması ve CNC dik işleme merkezi için de sürenin kıymetli olması nedeniyle EK-4'te belirtilen tabloya göre delme işlemleri yapılmıştır. EK-4'teki tabloda da görülebildiği gibi delme işlemlerinin yapılacağı CNC dik işleme merkezi için devir ve ilerleme hızlarına göre düzenleme yapılmıştır. Bu yüzden de tablonun en solunda deney numarası, hemen sağ tarafında ise Taguchi analizine göre (Tablo 3.1) işlem numaraları verilmiştir.

Şekil 4.106'da 54 adet özel imal edilmiş matkap ile delinmiş kompozit iş parçasının 10 mm kalınlık üzerinden kör delmeye göre işlem süreleri görülebilmektedir. HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapların işleme süreleri kıyaslandığında kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapların genel olarak işlem sürelerinin daha kısa olduğu Şekil 4.106'dan da anlaşılabilmektedir.



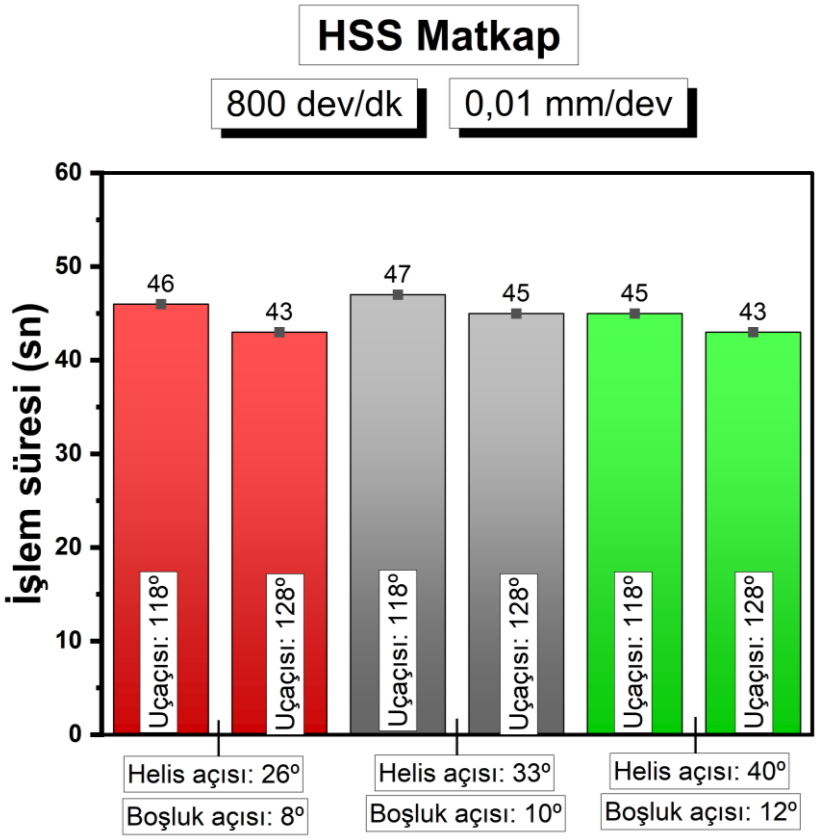
Şekil 4.106. HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperlenmiş HSS matkapların işlem süreleri

Şekil 4.106'da görüldüğü gibi HSS matkaplar için en uzun işlem süresi 47 saniye olarak D2 numaralı deney işleminde, 800 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme hızında, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısında elde edilmiştir. Yine HSS matkaplar için en kısa işlem süresi ise 6 saniye sürede D52 numaralı deney işleminde, 1800 dev/dk ve 0,03 mm/dev ilerleme hızında, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısında elde edilmiştir. Bu iki en yüksek ve en düşük işlem süreleri kıyaslandığında D52 deney numarası için kullanılan 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip HSS matkabın %87,23 daha kısa sürede işlemi bitirdiğini göstermektedir.

Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş matkaplar yönünden incelendiğinde, en uzun işlem süresi 31 saniye olarak D22 numaralı deney işleminde, 1200 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme hızında, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısında elde edilmiştir. Yine kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar için en kısa işlem süresi ise 9 saniye sürede D44 numaralı deney işleminde, 1800 dev/dk ve 0,02 mm/dev ilerleme hızında, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısında elde edilmiştir. Bu iki en yüksek ve en düşük işlem süreleri kıyaslandığında D44 deney numarası için kullanılan 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkabın %70,96 daha kısa sürede işlemi bitirdiğini göstermektedir.

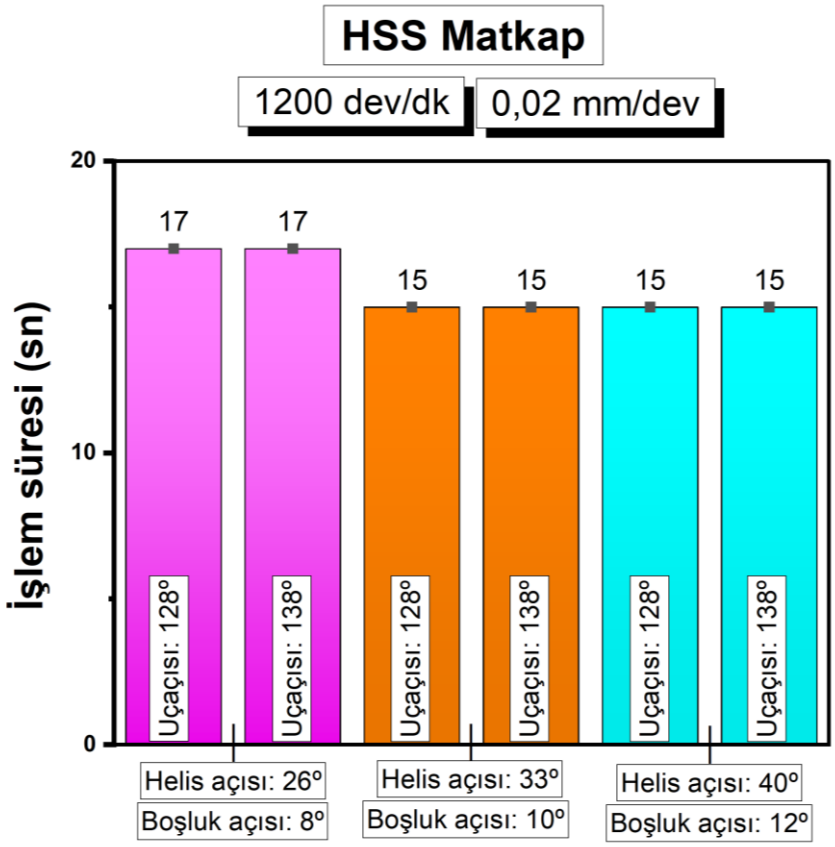
HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapların işleme süreleri en uzun ve en kısa yönden kıyaslandığında, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapların en uzun süre bakımından %34,04 daha iyi ve en kısa süre bakımından ise %50 daha iyi olduğu görülmektedir.

Şekil 4.106'da genel olarak işlem süreleri karşılaştırılmıştır. Ancak, uygulanan devir ve ilerleme hızları ile birlikte, özel olarak imal edilen bu matkapların uç açısı, helis açısı ve de boşluk açıları gibi farklı seviyelerde parametreleri bulunduğundan aşağıdaki grafiklerde görüldüğü gibi birbirleri ile işleme zamanı yönünden kıyaslamaları da yapılmıştır.



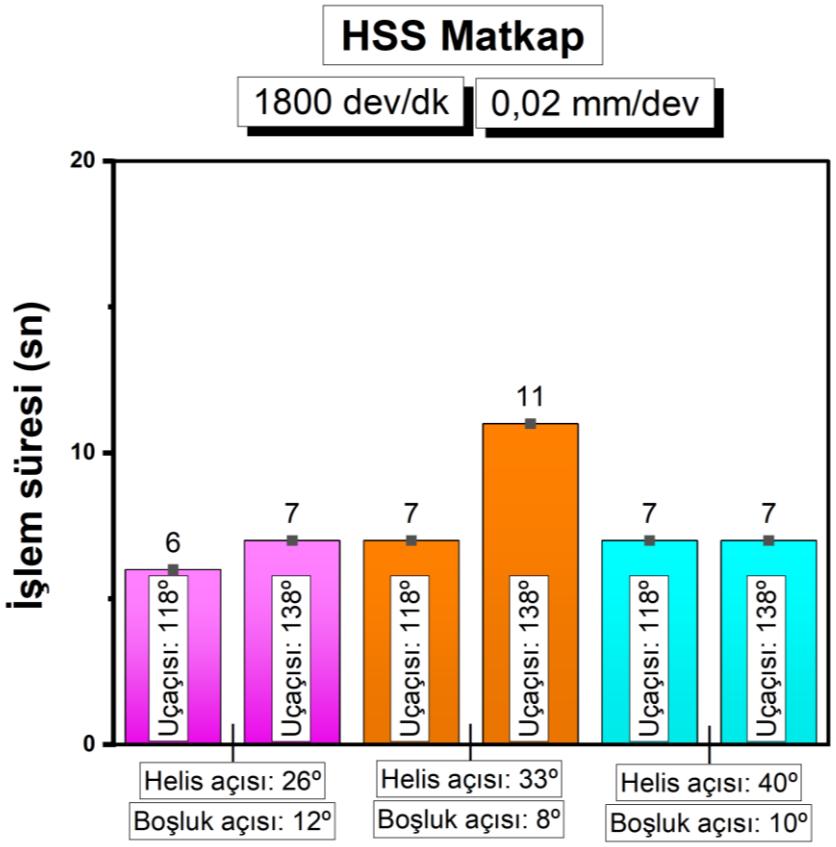
Şekil 4.107. HSS matkapların 800 dev/dk ve 0,01 ilerleme hızındaki işleme süreleri

Şekil 4.107'de görülebildiği gibi, 800 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme hızında, işleme zamanı yönünden en uzun süre, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısında 47 saniye olarak elde edilmiştir. Ayrıca, genel olarak,118° uç açısından 128° uç açısına geçişte işlem sürelerinin ortalama 2 saniyeden fazla kısaldığı görülebilmektedir. Bu yüzden, 800 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme hızındaki en uygun uç açısının 128° olduğu söylenilebilir. Helis ve boşluk açısı yönünden ise büyük bir fark görünmemektedir.



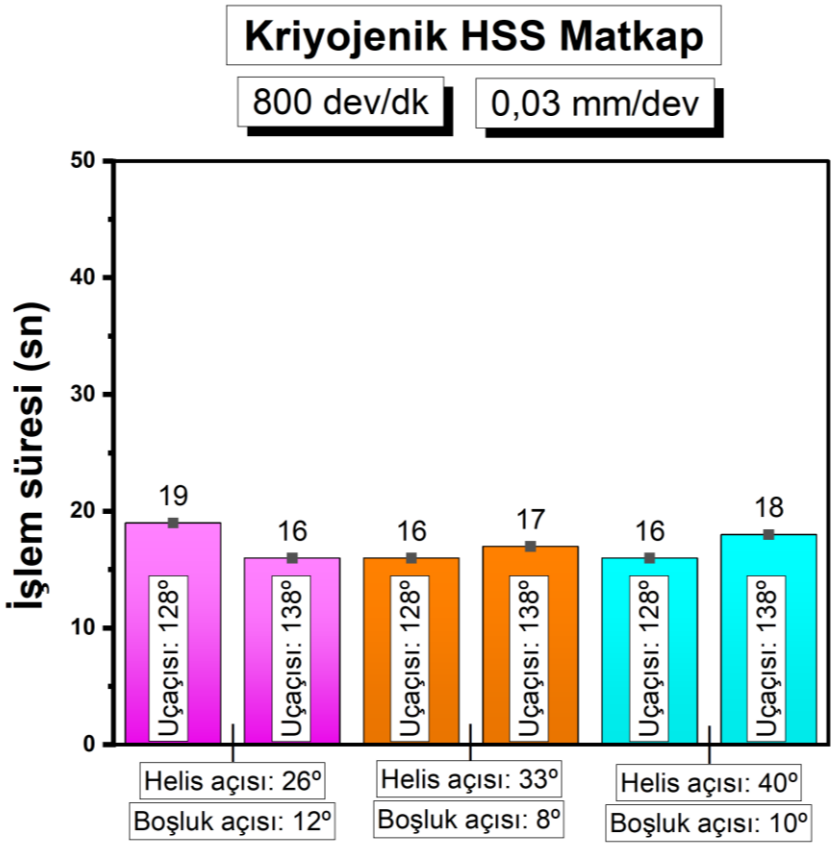
Şekil 4.108. HSS matkapların 1200 dev/dk ve 0,02 ilerleme hızındaki işleme süreleri

Şekil 4.108'de görüldüğü gibi, 1200 dev/dk ve 0,02 mm/dev ilerleme hızında, işleme zamanı yönünden en uzun süre, 128° ve 138° uç açılarında 17 saniye olarak elde edilmiştir. Ayrıca, genel olarak, 128° uç açısından 138° uç açısına geçişte işlem sürelerinde bir değişim olmamaktadır. Bu yüzden, 1200 dev/dk ve 0,02 mm/dev ilerleme hızındaki en uygun uç açılarının 128° ve 138° olduğu söylenilebilir. Helis ve boşluk açısı yönünden ise en büyük fark 26° helis açısı ve 8° boşluk açılarında görünmektedir.



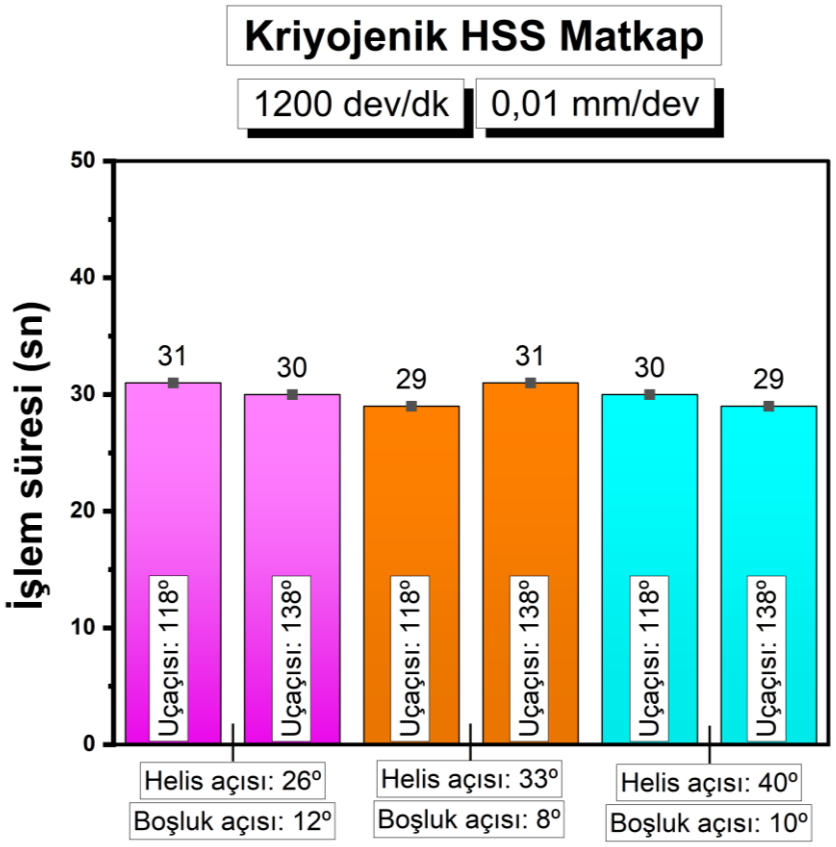
Şekil 4.109. HSS matkapların 1800 dev/dk ve 0,02 ilerleme hızındaki işleme süreleri

Şekil 4.109'da görülebildiği gibi, 1800 dev/dk ve 0,02 mm/dev ilerleme hızında, işleme zamanı yönünden en uzun süre, 138° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısında 11 saniye olarak elde edilmiştir. Ayrıca, genel olarak, 118° uç açısından 138° uç açısına geçişte işlem sürelerinin ortalama 1 saniyeden fazla uzadığı görülebilmektedir. Bu yüzden, 1800 dev/dk ve 0,02 mm/dev ilerleme hızındaki en uygun uç açısının 118° olduğu söylenilebilir. Helis ve boşluk açısı yönünden ise en uygun 26° helis açısı ve 12° boşluk açısı olmaktadır.



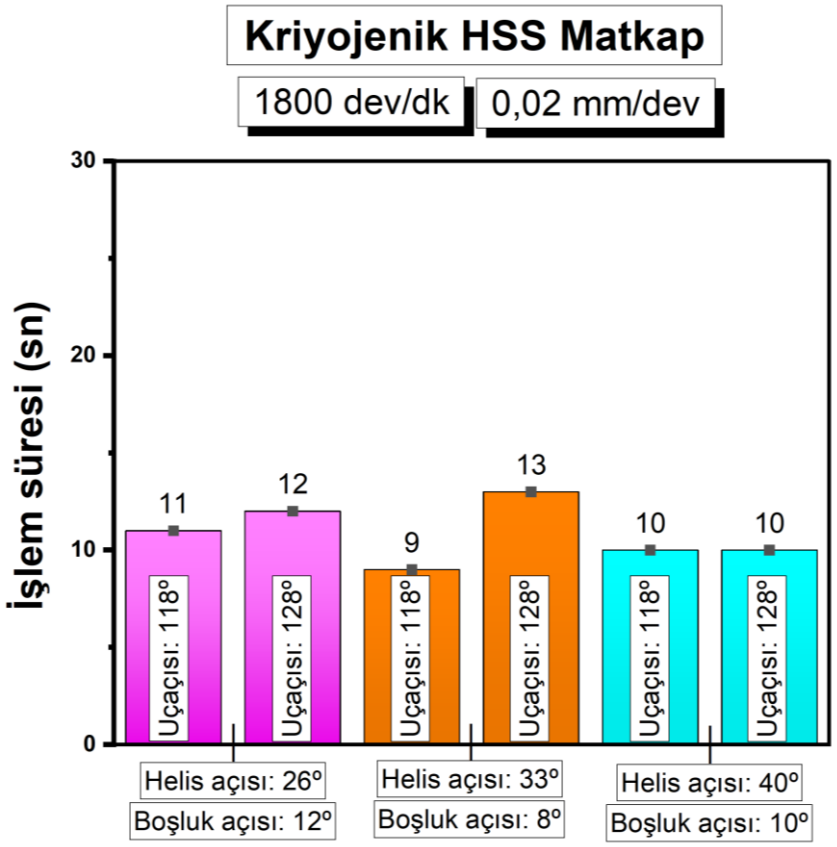
Şekil 4.110. Kriyojenik HSS matkapların 800 dev/dk ve 0,03 ilerleme hızındaki işleme süreleri

Şekil 4.110'da görüldüğü gibi, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar için 800 dev/dk ve 0,03 mm/dev ilerleme hızında, işleme zamanı yönünden en uzun süre, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısında 19 saniye olarak elde edilmiştir. 128° uç açısından 138° uç açısına geçişte işlem sürelerinin hem artış hem de azalış gösterdiği görülebilmektedir. Bu yüzden, 800 dev/dk ve 0,03 mm/dev ilerleme hızındaki en uygun uç açısının hem 128° ve hem de 138° olduğu söylenilebilir. Aynı durum, helis ve boşluk açılarında da olmaktadır.



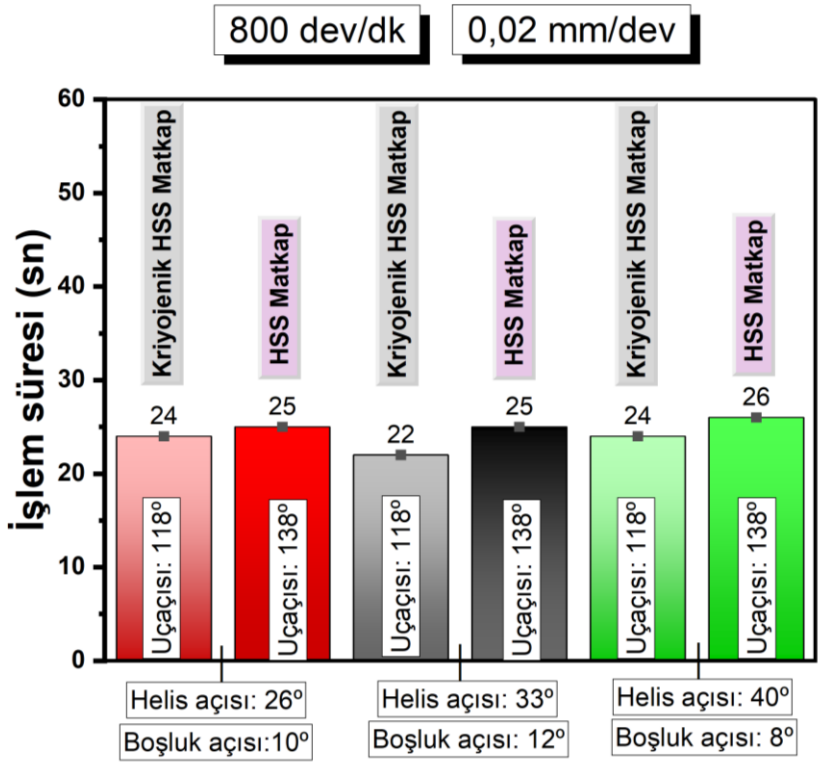
Şekil 4.111. Kriyojenik HSS matkapların 1200 dev/dk ve 0,01 ilerleme hızındaki işleme süreleri

Şekil 4.111'de görüldüğü gibi, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar için 1200 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme hızında, işleme zamanı yönünden en uzun süre, 118° ve 138° uç açılarında 31 saniye olarak elde edilmiştir. 118° uç açısından 138° uç açısına geçişte işlem sürelerinin hem artış hem de azalış gösterdiği görülebilmektedir. Bu yüzden, 1200 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme hızındaki en uygun uç açısının hem 118° ve hem de 138° olduğu söylenilebilir. Aynı durum, helis ve boşluk açılarında da olmaktadır.



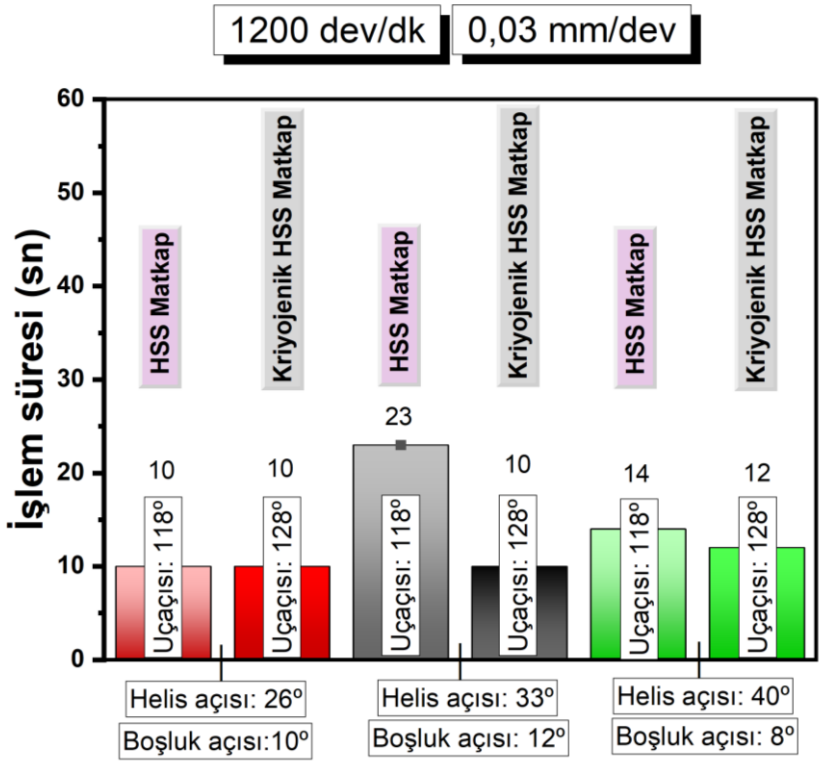
Şekil 4.112. Kriyojenik HSS matkapların 1800 dev/dk ve 0,02 ilerleme hızındaki işleme süreleri

Şekil 4.112'de görülebildiği gibi, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar için 1800 dev/dk ve 0,02 mm/dev ilerleme hızında, işleme zamanı yönünden en uzun süre, 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısında 13 saniye olarak elde edilmiştir. Ayrıca, genel olarak, 118° uç açısından 128° uç açısına geçişte işlem sürelerinin ortalama 1 saniyeden fazla uzadığı görülebilmektedir. Bu yüzden, 1800 dev/dk ve 0,02 mm/dev ilerleme hızındaki en uygun uç açısının 118° olduğu söylenilebilir. Helis ve boşluk açısı yönünden ise en uygun 33° helis açısı ve 8° boşluk açısı olmaktadır.



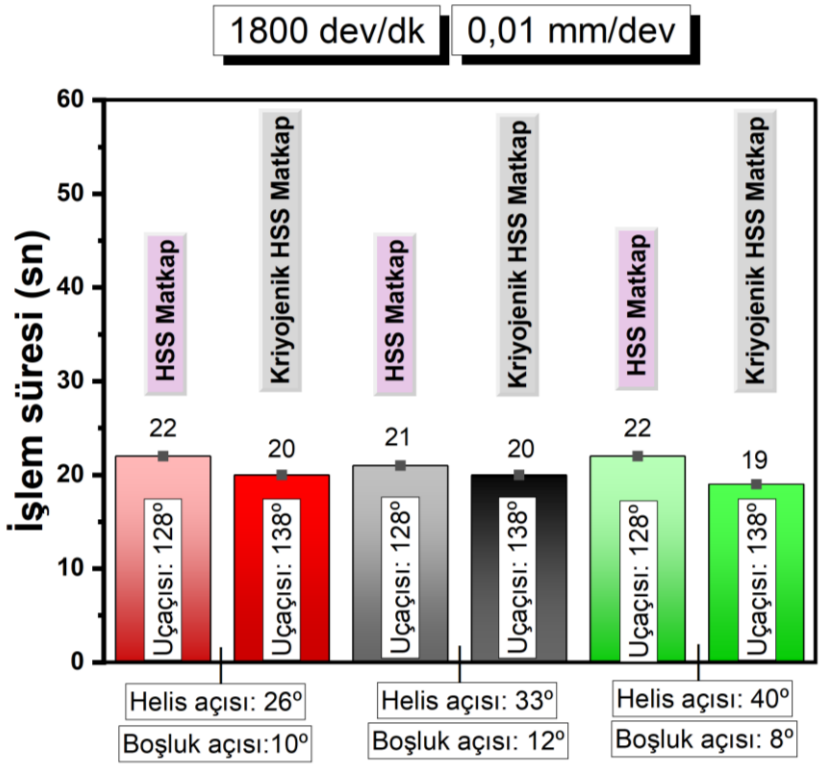
Şekil 4.113. HSS ve kriyojenik HSS matkapların aynı devir ve ilerlemedeki işleme süreleri

Şekil 4.113'te görülebildiği gibi, HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar karşılaştırıldığında, 800 dev/dk ve 0,02 mm/dev ilerleme hızında, işleme zamanı yönünden en uzun süre, 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısında HSS matkapta 26 saniye olarak elde edilmiştir. En kısa işlemi zamanı ise 22 saniye olarak kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkap ile elde edilmiştir. Ayrıca, 800 dev/dk ve 0,02 mm/dev ilerleme hızındaki en uygun uç açısının kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile 118° uç açısında olduğu söylenilebilir. Helis ve boşluk açısı yönünden ise aynı devir ve ilerleme hızında, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplarda, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısı, işleme süresi yönünden en uygun kesici takımlar olmaktadır.



Şekil 4.114. HSS ve kriyojenik HSS matkapların aynı devir ve ilerlemedeki işleme süreleri

Şekil 4.114'te görüldüğü gibi, HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar karşılaştırıldığında, 1200 dev/dk ve 0,03 mm/dev ilerleme hızında, işleme zamanı yönünden en uzun süre, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısında HSS matkapta 23 saniye olarak elde edilmiştir. En kısa işlem zamanı ise 10 saniye olarak her iki matkap türünde de elde edilmiştir. Ayrıca, 1200 dev/dk ve 0,03 mm/dev ilerleme hızındaki en uygun uç açısının her iki matkap türü içinde aynı olduğu durumlar görünmektedir. Bu durum helis ve boşluk açılarında da bulunmaktadır.

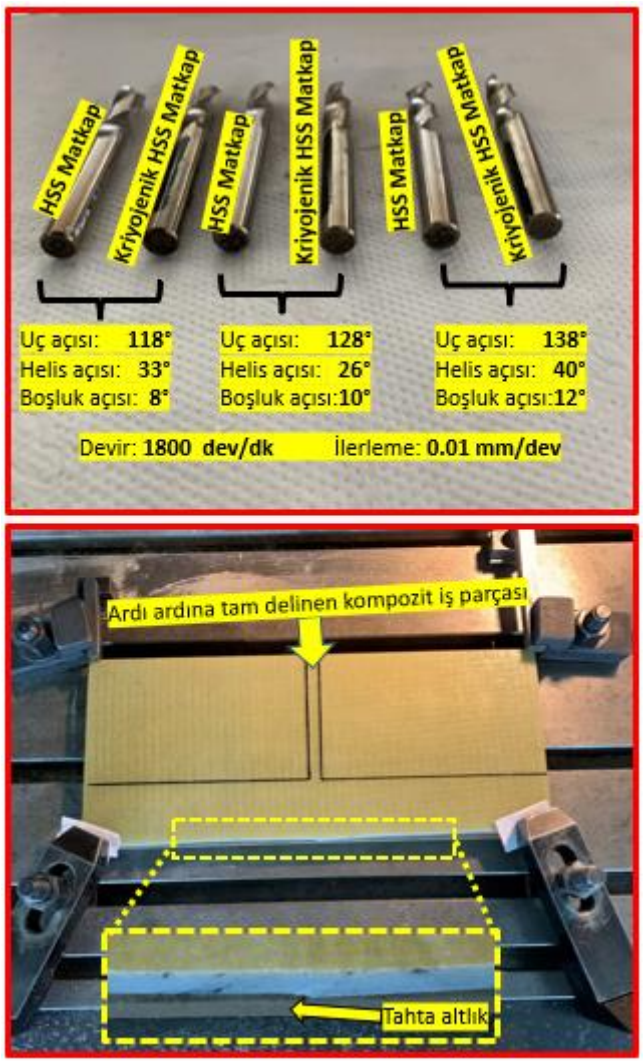


Şekil 4.115. HSS ve kriyojenik HSS matkapların aynı devir ve ilerlemedeki işleme süreleri

Şekil 4.115'te görülebildiği gibi, HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar karşılaştırıldığında, 1800 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme hızında, işleme zamanı yönünden en uzun süre, 128° uç açısı, 26° ve 40° helis açısı ile 10° ve 8° boşluk açılarındaki HSS matkaplarda 22 saniye olarak elde edilmiştir. En kısa işlemi zamanı ise 19 saniye olarak kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş, 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkap ile elde edilmiştir. Ayrıca, 1800 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerleme hızındaki en uygun matkap türünün, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısında olduğu söylenilebilir. Helis ve boşluk açısı yönünden ise aynı devir ve ilerleme hızında, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplarda, 40° helis açısı ve 8° boşluk açısı, işleme süresi yönünden en uygun kesici takımlar olmaktadır.

4.8. Kesici Takımlar İçin Ömür Deneyleri

Çalışmada kullanılan kompozit iş parçasının delinmesinde, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapların herhangi bir işlem görmeyen HSS matkaplara göre ortaya koyacağı performansı görmek amacıyla, Şekil 4.116'da görülebildiği gibi, Tablo 3.4'te belirlenen parametrelere uygun olarak özel üretilen 6 adet matkap ile ardı ardına delikler açılmıştır. Bu delikler, kuvvet ölçümü için kör delinen kompozit iş parçasının aksine, altına tahta altlık konularak tam delikler olarak ve de ardı ardına her bir matkap ile 46 delik açılarak yapılmıştır. Kompozit iş parçası üzerinde açılan delikler, kesme kuvvetleri ölçümünde olduğu gibi yine kuru şartlar altında yapılmıştır. Aşınma deneyleri için CNC dik işleme merkezinde açılan deliklerde 1800 dev/dk ve 0,01 ilerleme hızı uygulanmıştır. Aşınma deneyleri için Tablo 3.1'de belirlenen parametrelerden, literatür incelenmesinde tavsiye edildiği gibi, yüksek devir ve düşük ilerleme hızları seçilerek yapılmıştır (Giasin, 2016; Inoue ve ark., 1997; Sheikh-Ahmad, 2009). Delme deneyleri için kullanılan HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplardan, aynı geometrik özellikteki matkapların ardı ardına kullanılmasına özen gösterilmiştir. Böylece, ardı ardına aynı geometrik yapıdaki ama farklı matkaplar (Kriyojeniksiz ve kriyojenik) kullanılarak kompozit iş parçası üzerinde ilerdeki kısımda (4.8.4) bahsedilecek olan delik kenarlarında meydana gelen delaminasyonların karşılaştırılması sağlanmıştır.



Şekil 4.116. Takım ömrü deneyleri için kullanılan kesici takımlar ve kompozit iş parçası

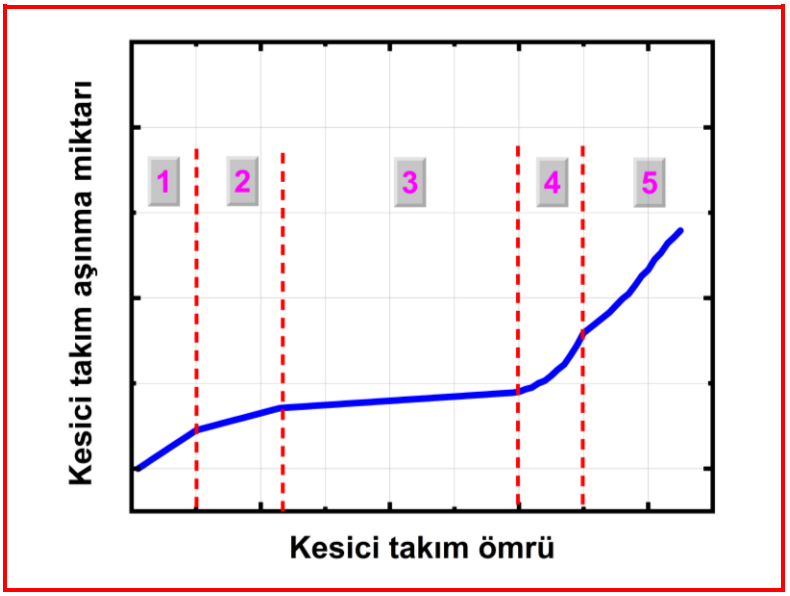
4.8.1. Kesici takımların aşınması

Aşınma, yüzeysel olarak birbirine temas etme esnasında, mekanik etkilerle meydana gelen malzeme kayıpları olarak ifade edilmektedir. DIN (Deutsche Industry Norm) 50320 standartlarına göre, fiziksel şekilde meydana gelen aşınmanın sebepleri 4 (dört) kısım altında incelenmektedir. Bunlar, difüzyon, abrazyon, adhezyon ve metal yorulması şeklindedir. Bunlardan en fazla karşılaşılan aşınma mekanizmaları ise adhezyon ve abrazyon şeklindeki aşınmalar olmalarına rağmen, aşınmanın, yukarıda belirtilen dört mekanizmanın birleşimi şeklinde tanımlaması gerekmektedir (Ekmen, 2021; Ertunç ve Sevim, 2011).

Abrazyon aşınması, talaş oluşumu ile birlikte kesici takımın yüzeyinde meydana gelen malzeme kaybı olarak ifade edilmektedir. *Adhezyon aşınması* ise, kesici takım ile

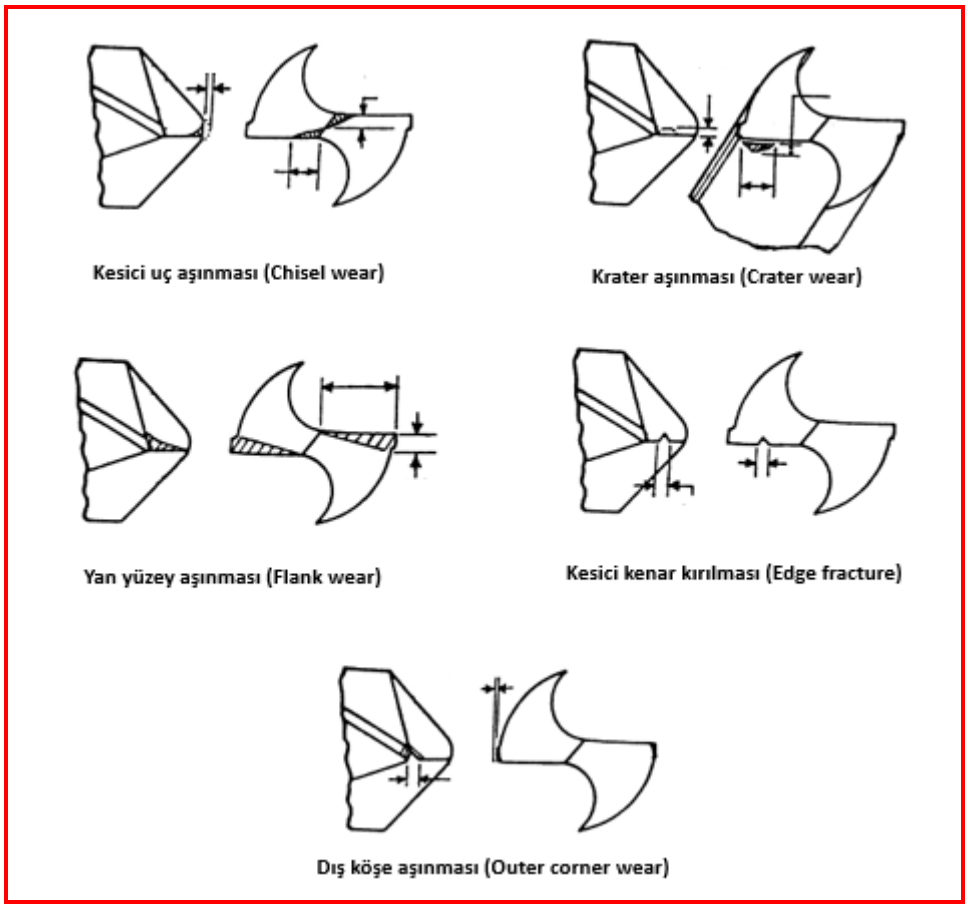
iş parçası arasında oluşan yüksek ısının etkisiyle meydana gelen kaynaklanma nedeniyle metallerin birbirlerinden parçacık koparması sonucu oluşan metal kaybına denilmektedir. Metallerin birbirine benzeyen kimyasal özellikleri sebebiyle adhezyon anında meydana gelen metal transferine ise *difüzyon* denilmektedir. Tekrarlanan ya da belirli hareketler sonucunda malzemenin mekanik özelliklerini kaybetmesi sonucunda ortaya çıkan aşınma ise *metal yorulması* şeklinde ifade edilmektedir (Armarego ve Brown, 1969; Ertunç ve Sevim, 2011).

İş parçalarını işlemek amacıyla kullanılan kesici takımlarda, genellikle, matkap uç kısmında oluşan aşınma, başlangıçta yavaş bir şekilde meydana gelen, ancak zamana bağlı olarak ivme kazanacak şekilde artarak devam eden bir süreçtir. Kesici takım ile iş parçası üzerinde işleme başlandığı andan itibaren, kesici takımdaki aşınma süreci başlamış olmaktadır. Kesici takımda meydana gelen aşınma ilerledikçe, kesme işlemi için kesme kuvvetleri sürekli olarak artması sonucu daha fazla ısı artışı oluşur ve böylece aşınma da artar. Artan aşınma neticesinde ise kesici takımın kesici uçlarının giderek kaybolmasına sebep olmaktadır. Belirtilen bu aşınma evreleri ise başlangıçtaki aşınma (1), zayıf aşınma (2), düzenli aşınma (3), aşırı aşınma (4) ve son olarak ta kesici takımın kırılması (5) şeklinde meydana gelmektedir (Ertunç ve Sevim, 2011; Liu ve Anantharaman, 1994). Kesici takımda meydana gelen aşınma evreleri Şekil 4.117'de gösterilmiştir.



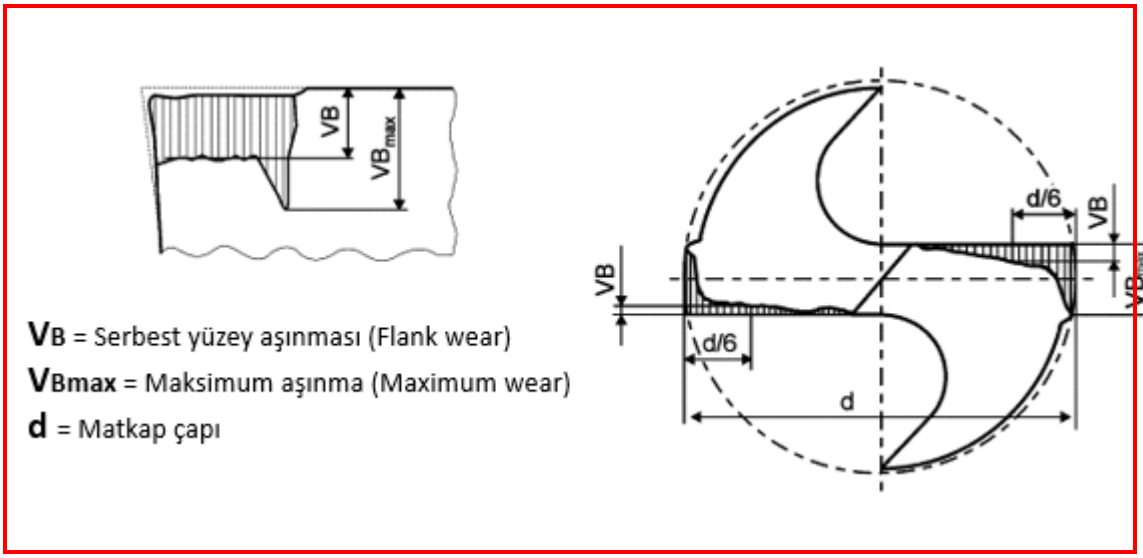
Şekil 4.117. Aşınma evreleri (Ertunç ve Sevim, 2011; Liu ve Anantharaman, 1994)

İş parçasını işlemek amacıyla kullanılan kesici takımlar üzerinde dönme hızı, ilerleme hızı ve işlenen iş parçasının türüne bağlı olarak farklı aşınma şekilleri oluşmaktadır. Matkap ile yapılan delik delme işlemleri esnasında meydana gelen aşınmaları inceleyen araştırmacılar, genellikle, kesici takımın dış köşesinde daha fazla aşınma meydana geldiğini ve bu yüzden de en etkili aşınmanın dış köşe aşınması olduğunu ifade etmişlerdir. Bunun nedeni olarak ta, kesici takım kesme kenarlarının en dış kısımdaki köşelerinde en yüksek kesme hızının meydana gelmesi olarak ifade etmişlerdir. Bu yüzden de en fazla aşınma değeri dış köşe kenarlarında olmaktadır. Bu bölgede, aşınma değerinin artmasıyla birlikte sürtünme artmakta ve böylece daha fazla ısı enerjisi ortaya çıkmakta, bunların sonucu olarak ta kesici takımda ani kırılmalar meydana gelmektedir (Ekmen, 2021; Ertunç ve Sevim, 2011). Kesici takımda meydana gelen aşınmalar, *kesici uç aşınması*, *yan yüzey aşınması*, *kesici kenar kırılması*, *krater aşınması* ve *dış köşe aşınması* olarak kategorilere ayrılmıştır (Abu-Mahfouz, 2003). Şekil 4.118'de bu kategoriler gösterilmiştir.



Şekil 4.118. Kesici takım matkapta meydana gelen aşınmaların türleri (Abu-Mahfouz, 2003)

Matkap ile ilgili olarak yapılan araştırmalarda, genel olarak serbest yüzey aşınması şerit genişliği (V_B) ve maksimum aşınma (V_{Bmax}) değerlerine odaklanılmaktadır (Şekil 2.59). Aşınma genel olarak, kesici kenarın zırh ile birleştiği noktada başlar ve kesici ağızlar ile serbest yüzeylerde gelişmektedir. Kesici ağızlarda meydana gelen aşınmanın artışı ile birlikte ise serbest yüzeylerde boşluk açısı kaybolmaya başlayarak konik bir yüzey meydana getirmektedir. Meydana gelen bu konik yüzey, serbest yüzeylerdeki aşınma şeritlerinin (V_B) göstergesidir. Serbest yüzeylerdeki aşınma nedeniyle de kesme işleminin yerine sürtünme ve zorlamalar meydana gelerek, ısı oluşumunu artırır ve böylece aşınma hızlanarak kesici takımı köreltir (Avuncan, 1998; Kıvak, 2012). Kesici takımda meydana gelen aşınma miktarı kabul edilebilir sınırları aştığında ise delme işlemlerinde oldukça önemli olan delik daireselliğinin (geometrisi) boyut ve yüzey kalitelerinin de bozulmasına sebep olmaktadır (Avuncan, 1998; Çakır, 2000; Kıvak, 2012). Şekil 4.119'da matkapta meydana gelen serbest yüzey aşınmasını ölçme yönteminin şematik gösterimi verilmiştir (Dolinšek ve ark., 2001).



Şekil 4.119. Matkapta serbest yüzey aşınmasını ölçme şeması (Dolinšek ve ark., 2001)

4.8.2. Takım ömrü

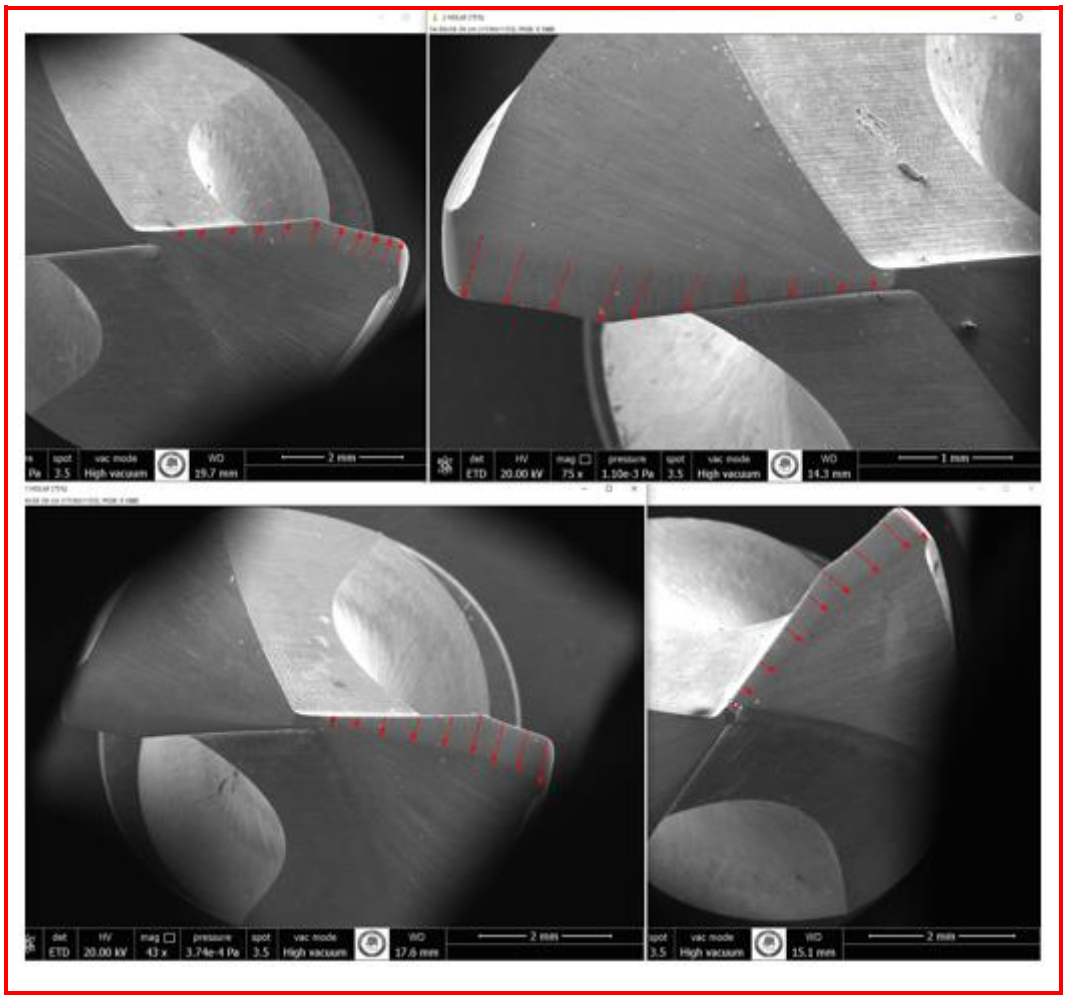
Takım ömürleri, Şekil 4.116'da gösterilen kompozit iş parçası üzerinde, Tablo 3.4'te belirlenen parametrelere uygun olarak özel üretilen 6 (altı) adet matkap ile ardı ardına delikler açılmıştır. Kompozit iş parçası üzerinde açılan delikler, kesme kuvvetleri ölçümünde olduğu gibi yine kuru şartlar altında yapılmıştır. Aşınma deneyleri için CNC

dik işleme merkezinde açılan delikler, yukarıda belirtilen literatür incelemesi doğrultusunda, 1800 dev/dk ve 0,01 ilerleme hızları uygulanmıştır. Bu tam delikler, ardı ardına her bir matkap ile 46 delik olacak şekilde yapılmıştır. Bu sayıda delik açılmasının nedeni ise literatür incelemesinde, HSS matkaplar ile cam fiber takviyeli kompozitler üzerinde açılan delikler ile yapılan aşınma testlerinde, 40. delikten sonra takım aşınmasının çok daha büyük ve belirgin olmasıdır. Bu deneylerde, 1000 dev/dk üzerindeki hızlarda yan yüzey aşınmasının hızla arttığı ve itme kuvvetinin de 650 dev/dk civarında minimum seviyeye düştüğü belirtilmiştir. Ayrıca, 10. delik delme işleminden sonra kesme kuvvetlerinin neredeyse sabitlendiğini, ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinin ise 20. delikten sonra çok hızlı şekilde artış gösterdiğini ifade etmiştir (Malhotra, 1990).

Şekil 4.120 ve Şekil 4.121'de, HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş matkaplar tarafından delinen kompozit iş parçasının, delme işlemleri sonunda SEM cihazı ile çekilen matkapların görüntülerinde, en belirgin şekildeki kesici takım aşınmaları gösterilmiştir. Bu şekillerde de görülebildiği gibi genel olarak matkaplarda radyal ağız aşınması, dış köşe aşınması ve serbest yüzey aşınması görülebilmektedir. Şekil 4.120 ve Şekil 4.122'deki SEM görüntüleri incelendiğinde, serbest yüzey aşınması ve en büyük dış köşe aşınmasının 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip HSS matkapta olduğu görülebilmektedir. İlaveten, serbest yüzey aşınması ve en küçük dış köşe aşınmasının 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapta olduğu görülmektedir. Şekil 4.121'de görülebildiği gibi, radyal ağız aşınması (daire içine alınan kısım) en fazla olan kesici takımın, 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip HSS matkapta olduğu görülebilmektedir. Radyal ağız aşınması en az olan kesici takımın ise 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapta olduğu görülmektedir. Genel olarak, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplardaki aşınmaların HSS matkaplardan daha az olduğu görülebilmektedir. Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapların aşınmalarının daha az olmasının, mikroyapı analizi kısmında belirtildiği gibi, mikroyapısındaki karbür tanelerinin daha küçük ve homojen dağılımlı olmalarının ve ayrıca sertlik değerlerinin daha yüksek olması gibi avantajlarından kaynaklanmaktadır.

Kesici takımlar üzerinde en fazla meydana gelen serbest yüzey aşınmaları (V_B ve V_{Bmax}), Şekil 4.119'da belirtilen yöntemlere göre Imagej programı sayesinde, mikrometre

seviyesinde ve hesaplama hatasının en aza indirilmesi amacıyla, her bir ölçme 5 (beş) defa (geometrik yapının düzgün olmaması nedeniyle) yapılarak, elde edilen sonuçların aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır (Şekil 4.120). Tablo 4.5'te görüldüğü gibi, aşınma testlerinde kullanılan tüm kesici takımların, Imagej programı sayesinde ölçülen V_B ve V_{Bmax} değerleri birlikte verilmiştir.



Şekil 4.120. Imagej programı ile kesici takımlar üzerinde hesaplanan aşınma değerleri

HSS matkaplarının V_B değerleri birbiri ile kıyaslandığında, 576,819 µm ile en yüksek değerin 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip HSS matkapta olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, en küçük V_B değerinin ise 454,304 µm ile 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkapta olduğu görülebilmektedir. HSS matkaplar için en yüksek ve en düşük V_B değerleri karşılaştırıldığında ise, en yüksek V_B değerinin en düşük V_B değerinden %26,97 daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. En büyük

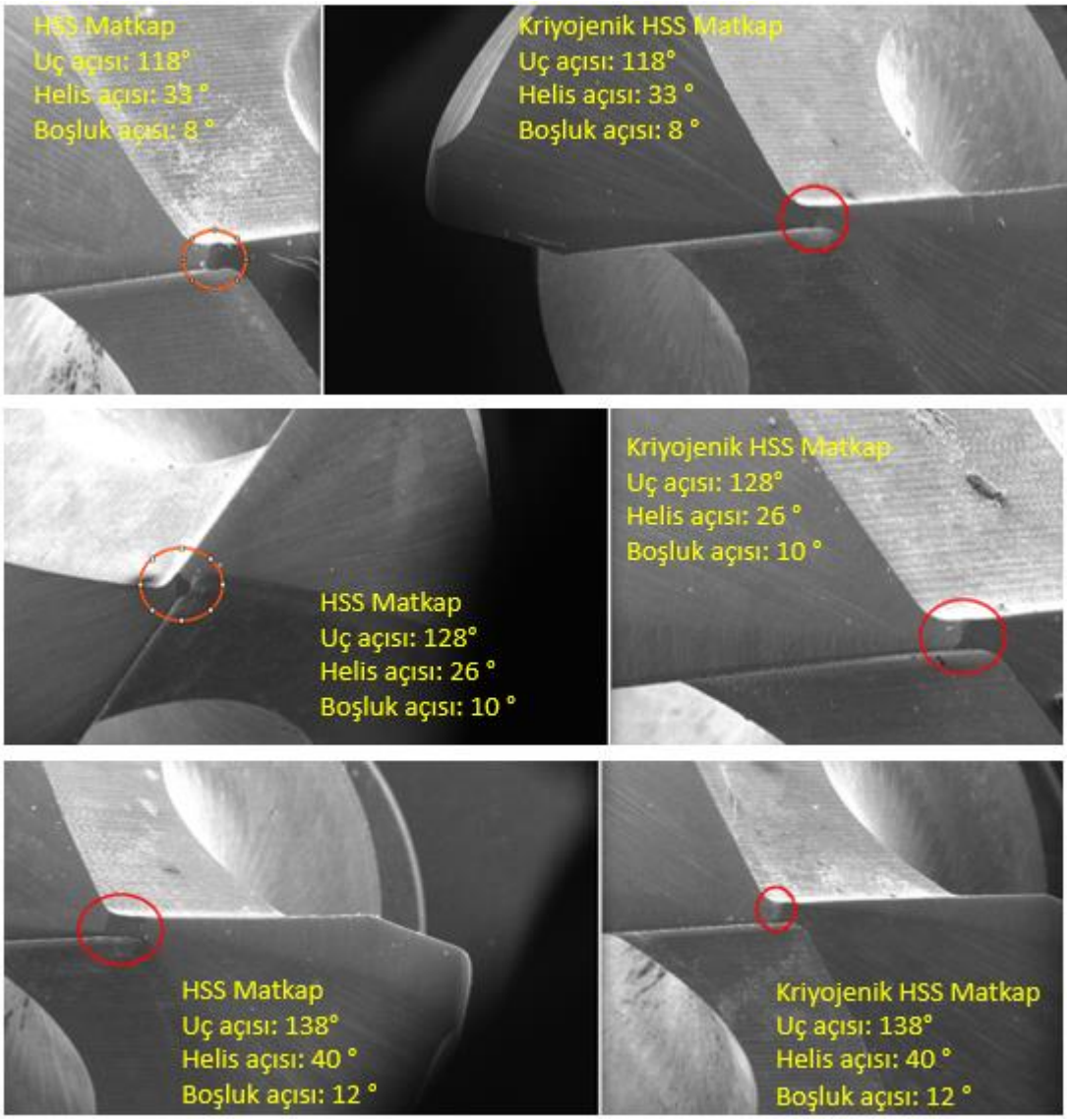
ve en küçük V_B değeri arasındaki bu farkın matkap ömrü açısından oldukça büyük ve dikkate değer olduğu görülmektedir.

Aynı karşılaştırma, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplarının V_B değerleri ile yapıldığında, 537,773 µm ile en yüksek değerin 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkapta olduğu anlaşılmaktadır. İlaveten, en küçük V_B değerinin ise 408,209 µm ile 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkapta olduğu görülebilmektedir. Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar için en yüksek ve en düşük V_B değerleri karşılaştırıldığında ise, en yüksek V_B değerinin en düşük V_B değerinden %31,74 daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. En büyük ve en küçük V_B değeri arasındaki bu farkta, diğer matkaplarda (HSS matkap) olduğu gibi matkap ömrü açısından oldukça büyük ve dikkate değer olduğu görülmektedir.

Tablo 4.5. Imagej programı ile hesaplanan VB ve VBmax değerleri tablosu

Kesici takım türü	Uç açısı (°)	Helis açısı (°)	Boşluk açısı (°)	V_B (µm)	V_{Bmax} (µm)
HSS Matkap	118	33	8	487,076	696,845
Kriyojenik HSS Matkap	118	33	8	429,099	643,510
HSS Matkap	128	26	10	454,304	624,415
Kriyojenik HSS Matkap	128	26	10	408,209	591,296
HSS Matkap	138	40	12	576,819	751,350
Kriyojenik HSS Matkap	138	40	12	537,773	701,658

V_{Bmax} değerleri yönünden HSS matkapları birbiri ile kıyaslandığında ise, 751,350 µm ile en yüksek değerin 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip HSS matkapta olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, en küçük V_{Bmax} değerinin ise 624,415 µm ile 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkapta olduğu görülebilmektedir. HSS matkaplar için en yüksek ve en düşük V_{Bmax} değerleri karşılaştırıldığında ise, en yüksek V_B değerinin en düşük V_{Bmax} değerinden %20,33 daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. En büyük ve en küçük V_{Bmax} değeri arasındaki bu farkın matkap ömrü açısından oldukça büyük ve dikkate değer olduğu görülmektedir.

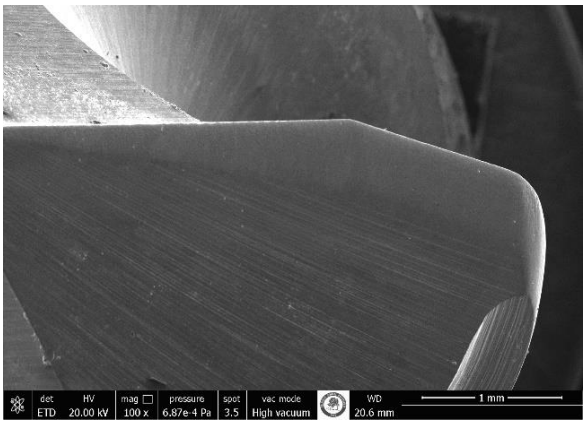
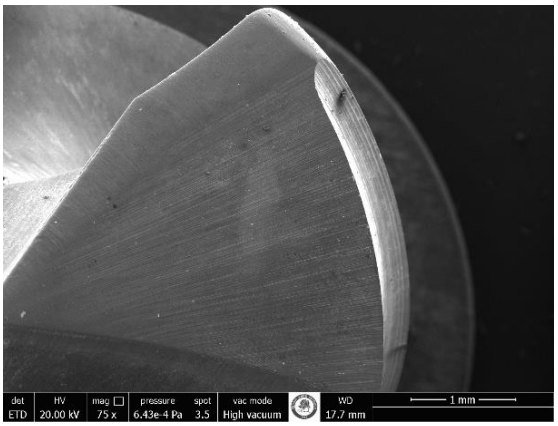
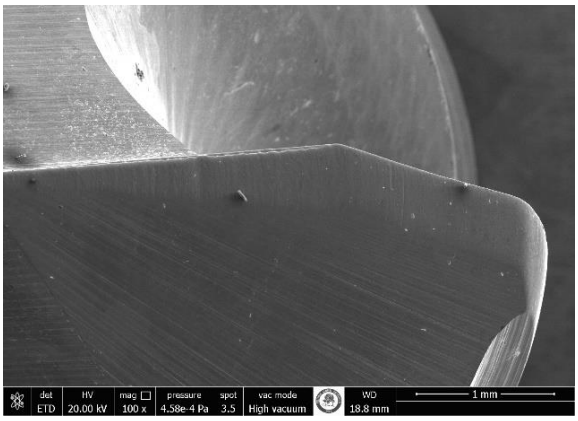
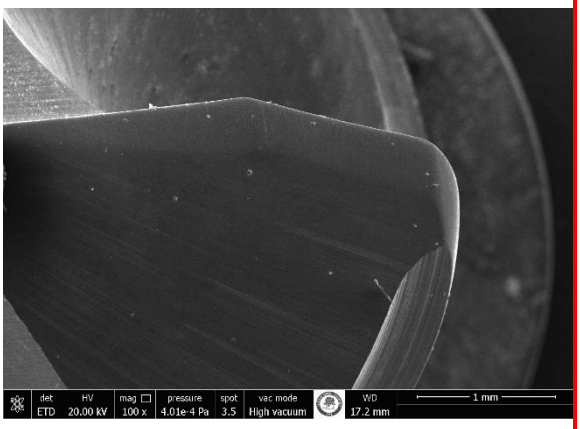
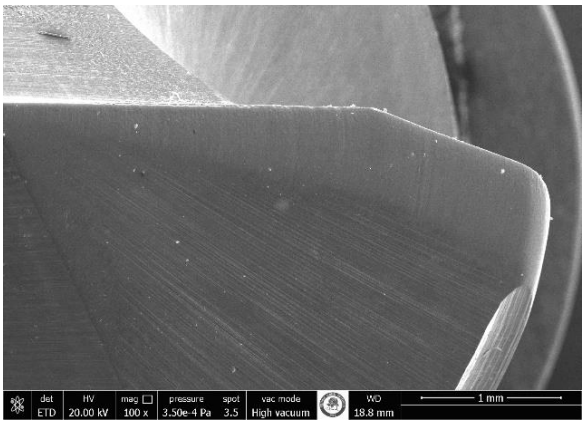
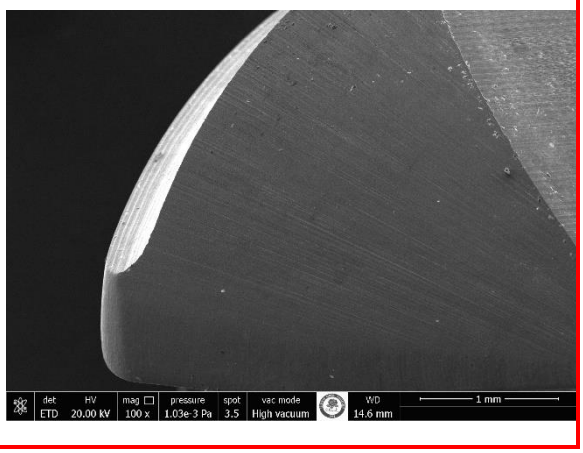


Şekil 4.121. Kesici takımlardaki radyal ağız aşınmalarının (daire içinde) SEM görüntüleri

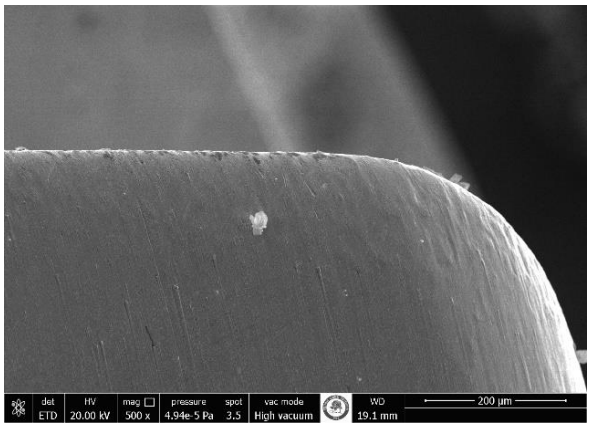
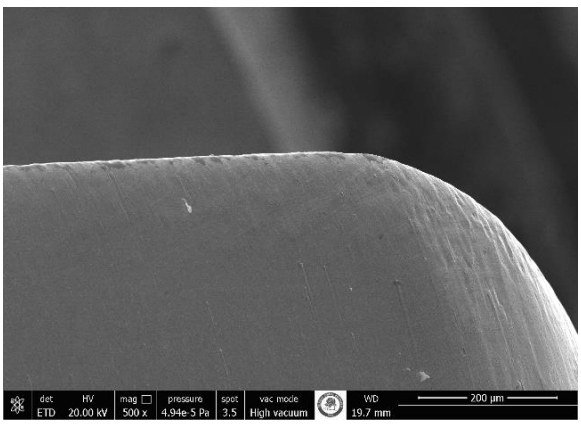
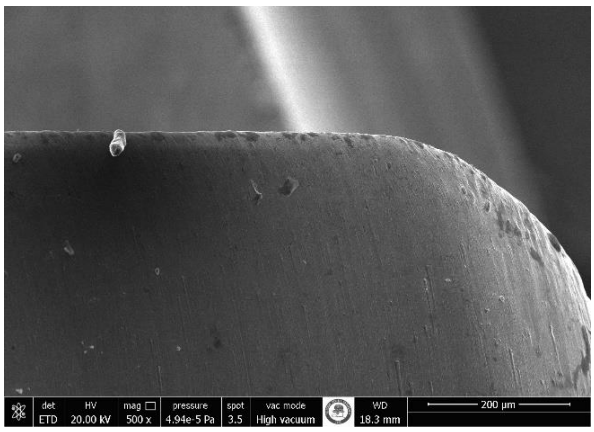
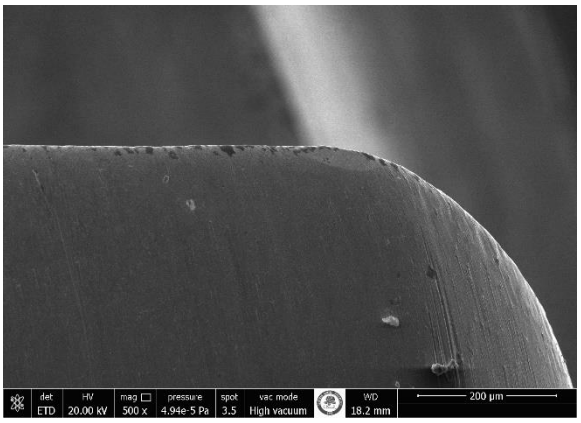
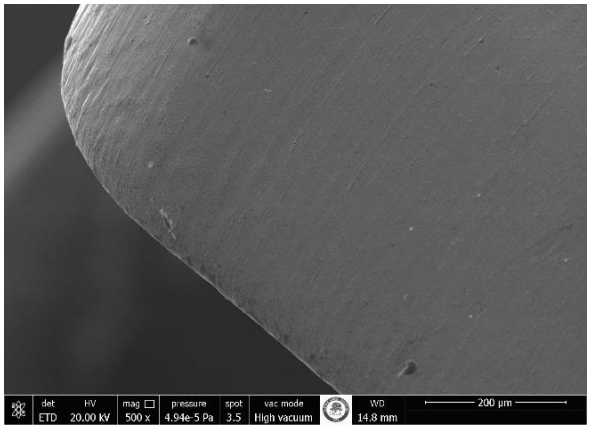
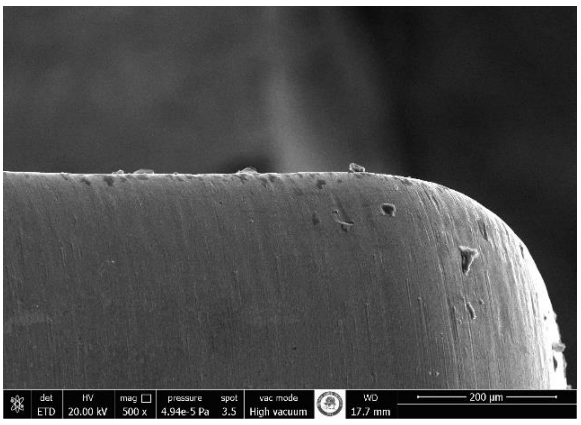
Aynı karşılaştırma, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplarının V_{Bmax} değerleri için yapıldığında, 701,658 µm ile en yüksek değerin 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkapta olduğu anlaşılmaktadır. İlaveten, en küçük V_{Bmax} değerinin ise 591,296 µm ile 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkapta olduğu görülebilmektedir. Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar için en yüksek ve en düşük V_{Bmax} değerleri karşılaştırıldığında ise, en yüksek V_B değerinin en düşük V_{Bmax} değerinden %18,67 daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. En büyük ve en küçük V_{Bmax} değeri arasındaki bu farkta, diğer matkaplarda (HSS matkap) olduğu gibi matkap ömrü açısından oldukça büyük ve önemli olduğu görülmektedir.

Şekil 4.120, Şekil 4.121, Şekil 4.122 ve Şekil 4.123'te verilen SEM görüntüleri ile Tablo 4.5'te verilen V_B ve V_{Bmax} değerleri birlikte değerlendirildiğinde, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapların, HSS matkaplara göre, en yüksek aşınma yönünden %6,77 (V_B) ile %6,62 (V_{Bmax}), en düşük aşınma yönünden ise %10,15 (V_B) ve %5,31 (V_{Bmax}) daha iyi bir performans sergiledikleri görülebilmektedir.

Cam fiber takviyeli kompozit malzemelerin delinmesi sırasında, cam elyafların, kesici takımların aşınmaları üzerinde yüksek seviyede aşındırma etkileri bulunmaktadır. Bu sebepten dolayı, kesici takımın ömrünü büyük oranda azaltmaya neden olmaktadırlar (Akkuzu, 2012; Davim, 2013; Khashaba ve ark., 2010b). Ayrıca, delme işlemi esnasında oluşan kırılmış cam fiberler, kesici takım üzerinde oldukça aşındırıcı etkiye sahip olmakta, aşınmanın artışı ile birlikte sürtünmenin de artması nedeniyle sıcaklık artışı olmaktadır. Artan bu sıcaklık ile de kompozit malzemenin bütünlüğü de bozularak delik kalitesini ve dolayısıyla da kesici takımı olumsuz etkilemektedir. Bu tür kompozit malzemeler işlenirken, yüksek dönme hızının etkisi de çok önemlidir. Yüksek dönme hızlarında, matkaptaki serbest yüzey ve dış köşe aşınmalarının artışı, sert ve kırılgan yapıdaki cam fiberlerin ve de kesici takım ile kompozit iş parçası arasında sıkışıp dışarı atılamayan kırılmış cam fiber parçalarının etkisiyle sıcaklık arttığından, bütünsel olarak, kompozit iş parçası, kesici takım aşınması, delik pürüzlülüğü gibi birçok olumsuz durum oluşmaktadır (Akkuzu, 2012; Erturk ve ark., 2021; Giasin ve ark., 2021; Khashaba ve ark., 2010b). İlerdeki bölümde de bahsedileceği gibi (çıkan talaş ve matkap ucunun sıcaklık değerleri), yukarıda bahsedilen birçok nedenden dolayı delik esnasında ortaya çıkan yüksek sıcaklık değerleri bulunmaktadır. Şekil 4.122 ve Şekil 4.123 teki SEM görüntüleri incelendiğinde, yüksek sıcaklığın etkisi ile kompozit iş parçasının bazı parçalarının (muhtemelen epoksi reçine) kesici takım uç kısmına eriyerek yapıştıkları görülebilmektedir. İlaveten, Şekil 4.123'te verilen kesici takım uç kısmının büyütülmüş SEM görüntülerinde, talaş oluşumu ile birlikte kesici takımın yüzeyinde meydana gelen malzeme kayıpları (abrazyon aşınması) da görülebilmektedir.

Kesici takım	Uç açısı	Helis açısı	Boşluk açısı	Kesici takım	Uç açısı	Helis açısı	Boşluk açısı
HSS Matkap	118°	33°	8°	Kriyojenik HSS Matkap	118°	33°	8°
							
HSS Matkap	128°	26°	10°	Kriyojenik HSS Matkap	128°	26°	10°
							
HSS Matkap	138°	40°	12°	Kriyojenik HSS Matkap	138°	40°	12°
							

Şekil 4.122. Kesici takımlarda meydana gelen aşınmaların SEM görüntüleri

Kesici takım	Uç açısı	Helis açısı	Boşluk açısı	Kesici takım	Uç açısı	Helis açısı	Boşluk açısı
HSS Matkap	118°	33°	8°	Kriyojenik HSS Matkap	118°	33°	8°
							
HSS Matkap	128°	26°	10°	Kriyojenik HSS Matkap	128°	26°	10°
							
HSS Matkap	138°	40°	12°	Kriyojenik HSS Matkap	138°	40°	12°
							

Şekil 4.123. Kesici takımların köşe uç kısımlarının SEM görüntüleri

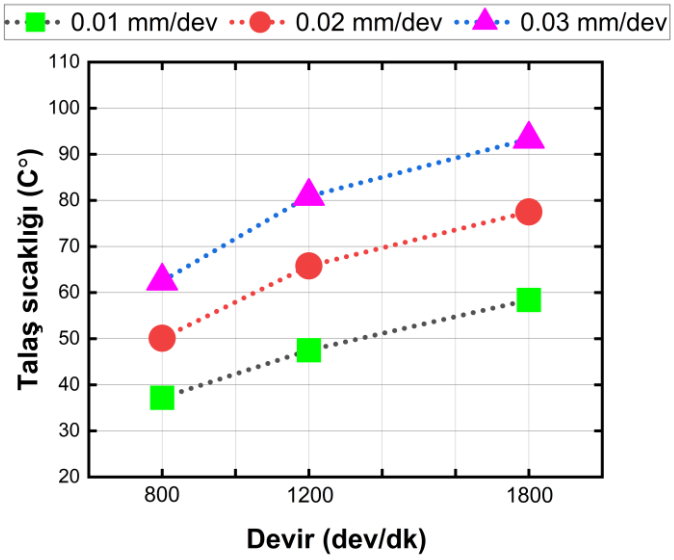
Aşınma kısmı ile ilgili olarak yukarıda bahsedilen tüm faktörler birlikte değerlendirildiğinde, iş parçası olarak kullanılan kompozit iş parçasını delmek için

kullanılan kesici takımlardan, en uygun matkabın, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkap olduğu düşünülmektedir.

4.8.3. Talaş ve matkap sıcaklıkları

HSS matkaplar, düşük maliyetleri ve yüksek kullanılabilirlik gibi avantajları nedeniyle kompozitlerin delinmesinde sıklıkla kullanılan kesici takımlardır. Ancak bu tür matkapların en önemli dezavantajı ise yüksek sıcaklıklarda sertliklerini uzun süre korumada zorlanmalarıdır (Erturk ve ark., 2021; Nassar ve ark., 2017; Sheikh-Ahmad, 2009). Bu yüzden bu kısımda, kesici takımın kompozit iş parçasını işleme esnasında çıkarmış olduğu talaşın sıcaklık değerleri ve delme işlemi sonrasındaki matkabın sıcaklık değerleri incelenmiştir.

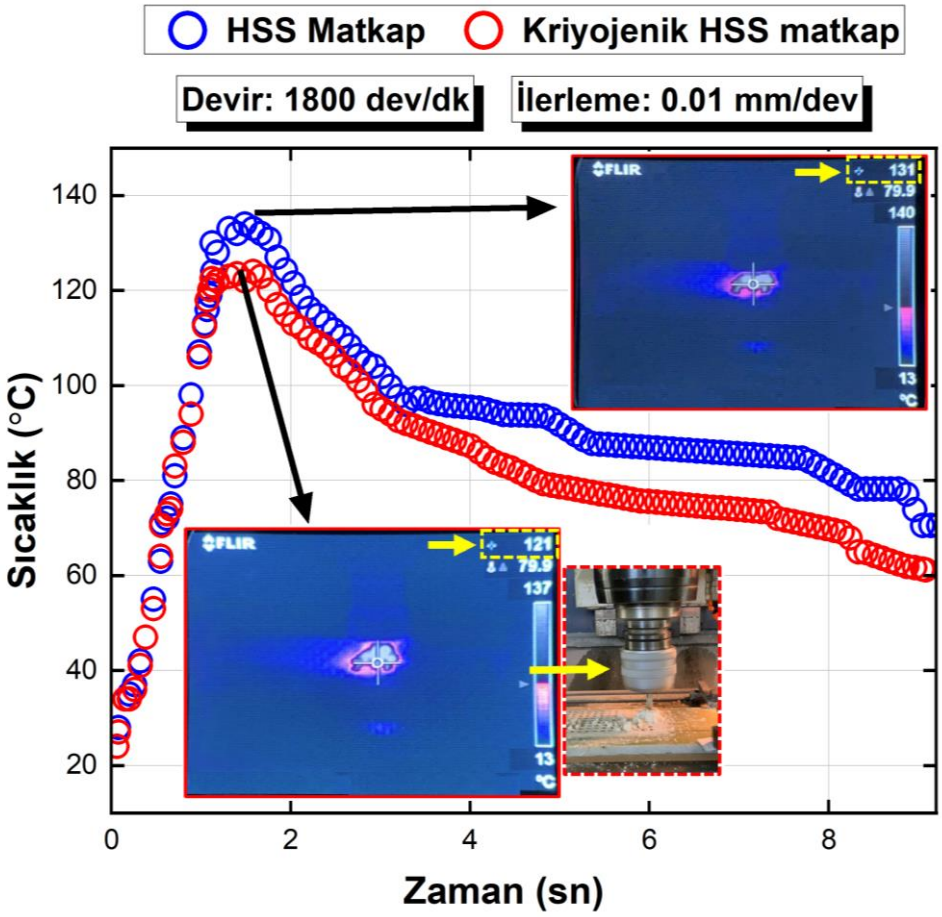
Kesme kuvvetleri kısmında, farklı devir ve ilerlemelerde açılan kör deliklerde oluşan sıcaklık değerleri termal kamera sayesinde ölçülerek Şekil 4.33'te verilmişti. Orada, ilerleme ve devir sayısı arttıkça iş parçasının işlenmesi esnasında çıkan talaşın sıcaklığının artmış olduğu belirtilmişti. Şekil 4.124'te görüldüğü gibi, devir sayısı ve ilerlemenin sıcaklık üzerindeki etkilerini belirtilen bu durum grafiğe dönüştürülmüştür.



Şekil 4. 124. Devir sayısı ve ilerlemeye bağlı değişimde talaş sıcaklıkları

Ancak, delik işlemlerinin çoğunluğu tam delik şeklinde ve de ardı ardına olacak şekilde yapılmaktadır (Giasin, 2016; Giasin ve ark., 2021; Kıvak ve Şeker, 2015). Bu

yüzden, aşınma testleri esnasında açılan tam deliklerden çıkan talaş ve kesici takımların sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Burada özellikle, HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapların tam delik delme esnasında çıkan talaşların ve delme işlemleri bitikten sonra CNC dik işleme merkezi tarafından yukarıya kaldırılıp durduktan sonra matkapların sıcaklığı belli bir zaman aralığında ölçülmüştür.



Şekil 4.125. Aşınma testleri sırasında çıkan talaşların sıcaklıkları

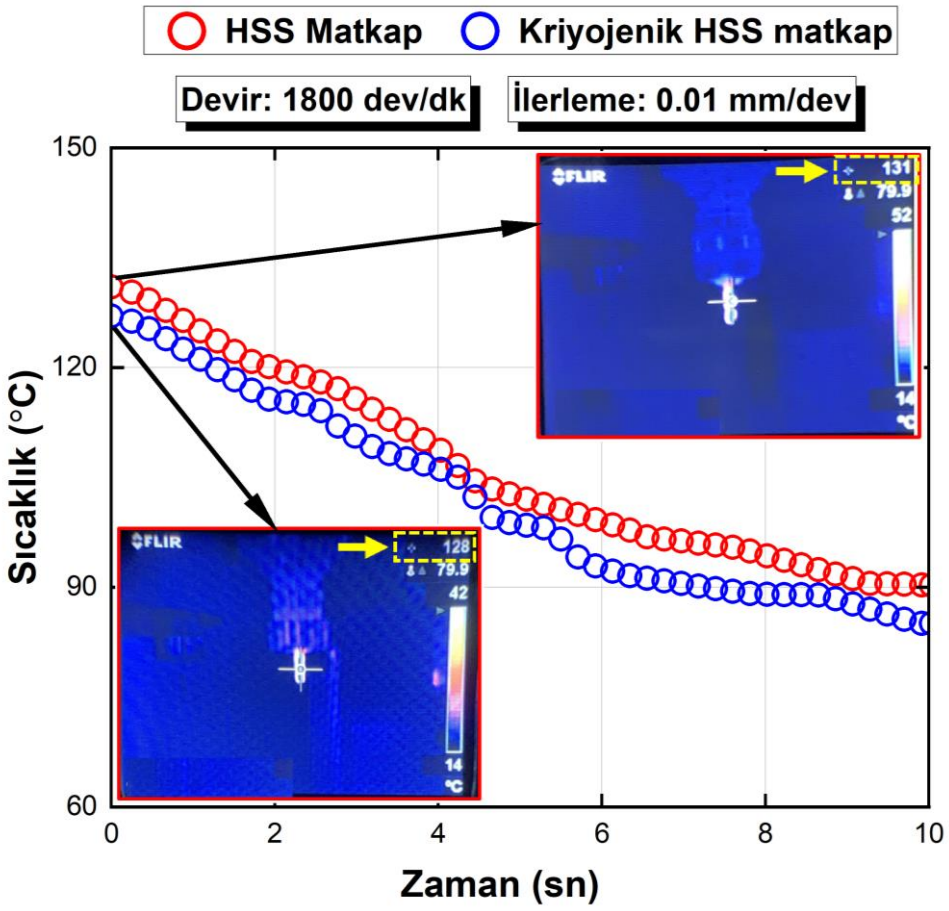
Kesici takım ile iş parçasını işleme sıcaklığı, takım-iş parçası etkileşimi nedeniyle oluşan ısı birikiminin karakteristik bir özelliğidir. Matkap ile kompozit iş parçası arasındaki etkileşim sırasında, kompozit malzemenin zayıf bir ısı iletme özelliği nedeniyle hızlı bir şekilde yüksek sıcaklık değerlerine ulaşabilmektedir. Bu özelliği nedeniyle de kompozit iş parçası yumuşamaya başlayarak, özelliklerinin bozulmasına, fiber/matris ara yüzeyinin ayrılmasına sebep olarak daha kolay bir şekilde işlenebilmektedir. Ancak bu durum, yüzey bütünlüğü ve mekanik özelliklerini kötü bir

şekilde etkilemekte ve sonuç olarak ise delik kalitesini oldukça kötü etkilemektedir (Faraz ve ark., 2009; Kishore ve ark., 2009; Krishnaraj ve ark., 2012; Palanikumar, 2011; Xu ve ark., 2022).

Matkap ile iş parçası arasında meydana gelen delme işleminde, ilk safhada, matkap sabit devir sayısı ve ilerleme hızı ile iş parçasına yaklaşarak matkap uç kısmından malzemeye batmaya başlamaktadır. İkinci safhada, devam eden talaş kaldırma işleminin ilerleme miktarı arttıkça, sert ve aşındırıcı olan cam fiberlerin ve sürtünmenin etkisi ile büyük miktarda kesme ısısı üretilmeye başlar. Sert yapıya sahip olan cam fiber takviyeli epoksi kompozitten kaldırılan talaş hacminin ve kırılmış olan oldukça aşındırıcı özellikteki cam fiber kırıkların etkisi ile sıcaklık en üst noktaya ulaşarak kompozitin bütünlüğü bozulmaya başlar ve bu andan itibaren kesilmesi kolaylaşmaya başlar. Ancak, bu durum açılan deliğin kalitesini de çok olumsuz etkiler. Sıcaklığın en çok arttığı kısımda, kesici takımın ısı iletkenliğinin önemi ortaya çıkmaya başlar. Isı iletme yeteneği iyi olan kesici takımlar ısıyı kendi içine alarak malzeme üzerindeki ısı yoğunluğunu azaltır. Kesici takımların bu yüzden ısı iletkenliğinin iyi olması istenmektedir. Delme işleminin bitimi olan son safhada ise matkap iş parçasından çıkarak delik delme işlemi sona erer (Davim, Reis, ve Antonio, 2004; Faraz ve ark., 2009; Kishore ve ark., 2009; Krishnaraj ve ark., 2012; Palanikumar, 2011; Xu ve ark., 2022).

Aşınma testleri için kullanılan HSS matkap ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkabın kompozit iş paçası üzerinde delik açması sırasında, kesici takımın helisel kanalları yardımı ile dışarı çıkan talaşın sıcaklığı Şekil 4.125'te görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır. Mikroyapı kısmında, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkabın ısı iletkenlik özelliğinin HSS matkaba göre daha iyi olduğu belirtilmişti. Bu yüzden, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkabın delme işlemi esnasında çıkarmış olduğu talaşın sıcaklığı daha düşük olmaktadır (Akincioğlu ve ark., 2015; Kıvak, 2012).

Şekil 4.125'te görüldüğü gibi, en yüksek talaş sıcaklığı 131°C ile HSS matkapta, diğer en yüksek sıcaklık değeri ise 121°C ile kriyojenik ve temperleme işlemi uygulanmış HSS matkapta elde edilmiştir. İki matkap türü ile çıkarılan talaşların sıcaklıkları karşılaştırıldığında, HSS matkap ile delme işlemi esnasında çıkarılan talaşların sıcaklığının %8,27 daha yüksek olduğu görülebilmektedir. Bu sıcaklık değerleri göz önüne alındığında kriyojenik ve temperleme işlemi uygulanmış HSS matkapların daha iyi performans sergiledikleri anlaşılmaktadır.



Şekil 4. 126. Ardı ardına delik işlemleri bitimi matkapların uç kısımlarının sıcaklıkları

Şekil 4.126'da görülebildiği gibi, aşınma testleri için kullanılan HSS matkap ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkabın kompozit iş paçası üzerinde delik açması sonrasındaki kesici takımın uç kısmının zamana bağlı sıcaklık değişimleri karşılaştırılmıştır. Grafikten de anlaşıldığı gibi, en yüksek sıcaklık değerinin HSS matkapta olduğu görülmektedir. Bu durum, iş parçası üzerinde işleme yaptıktan hemen sonra yukarı çıkan matkap uçlarına, termal kameranın, talaş üzerinden yukarıda bulunan matkap ucuna çevirene kadar, matkap uçlarının soğumasının çoktan başlamasından ve de kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkabın ısı iletkenliğinin daha iyi olması (yukarıda detayları belirtilen) nedeniyle daha hızlı soğumasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.126'da görüldüğü gibi, en yüksek matkap ucu sıcaklığı 131°C ile HSS matkapta, diğer en yüksek sıcaklık değeri ise 128°C ile kriyojenik ve temperleme işlemi uygulanmış HSS matkap ucundan elde edilmiştir. İki matkap türünün uç sıcaklıkları kıyaslandığında, HSS matkap ucu sıcaklığının %2,4 daha yüksek olduğu

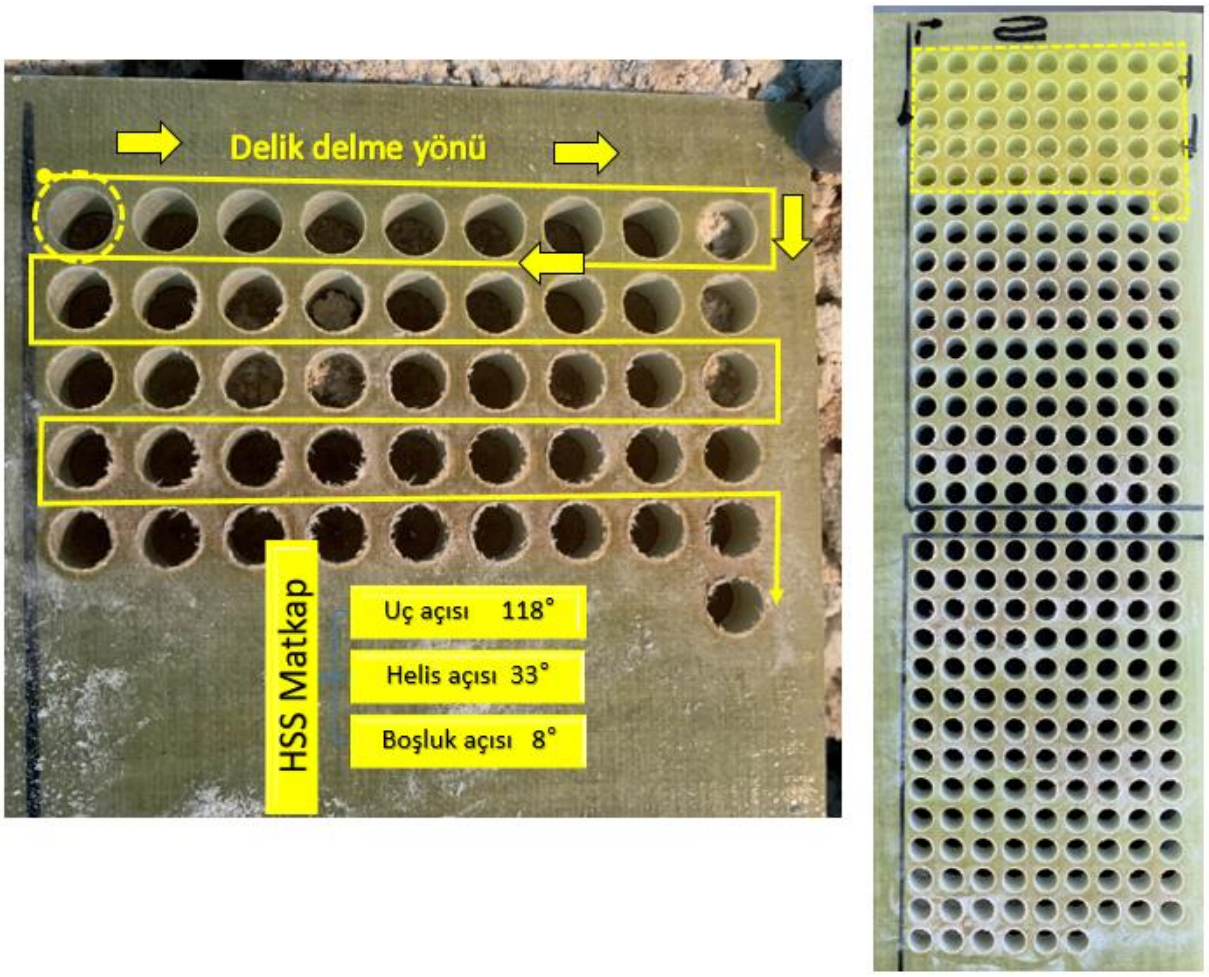
görülebilmektedir. Ancak, zamana bağlı soğuma hızlarına bakıldığında ise kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkabın daha hızlı soğudu görülmektedir. Bu durum göz önüne alındığında ise kriyojenik ve temperleme işlemi uygulanmış HSS matkapların daha iyi performans sergiledikleri anlaşılmaktadır.

4.8.4. Ardı ardına delme işlemleri sonrası delaminasyonlar

Kesici takımlar için ömür deneyleri kısmında, kompozit iş parçasının delinmesi için kullanılan HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapların aşınmalarını görmek amacıyla, ardı ardına kompozit iş parçası üzerinde açılan deliklerin kenarlarındaki delaminasyonların, tekli kör delme işlemleri yapılan bölümlerdekinden farklı olarak daha da arttığı görülmüştür. Bu yüzden, bu bölümde, ardı ardına açılan deliklerin kenarlarında artan bu delaminasyonlar incelenerek, HSS matkap ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapların açtığı delikler kıyaslanmıştır.

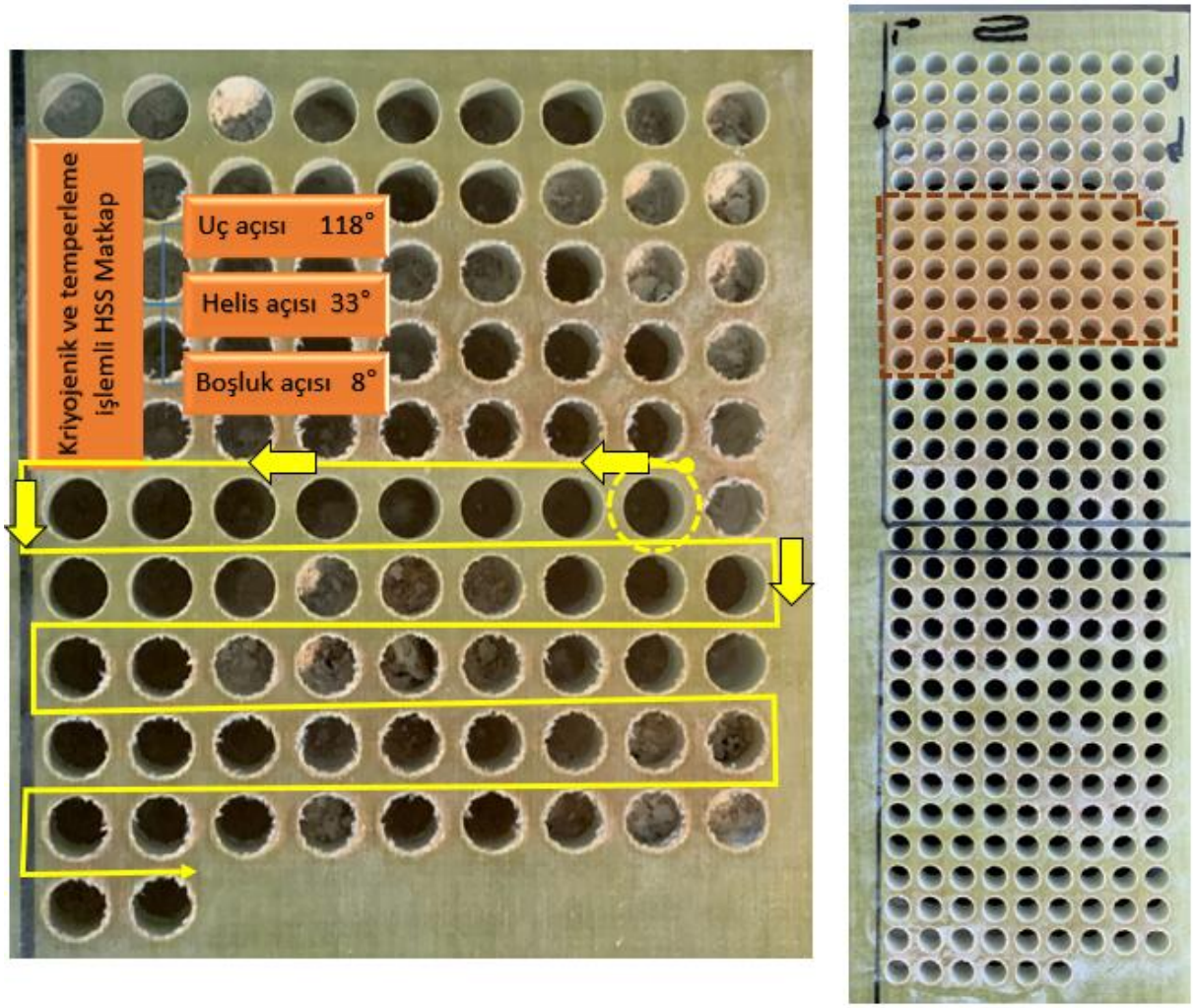
Kompozit iş parçalarının işlenmesi sırasındaki mekanik kuvvetlerin yanı sıra, oluşan kesme ısıları ve sonuç olarak ta meydana çıkan sıcaklıkların gelişimi hem kesici takım hem de iş parçası için çok büyük bir öneme sahiptir. Çünkü, ortaya çıkan bu sıcaklık, doğrudan kesici takım ve kompozit iş parçası üzerinde bazı olumsuz etkilere yol açmaktadır. Kompozit iş parçası özelinde değerlendirildiğinde, kesici takım yardımıyla iş parçasından koparılan talaşın ortamının kapalı olması nedeniyle, delme işlemlerinde, yüksek sıcaklıklara çok kısa bir zaman aralığında ulaşılmakta ve bu durumun sonucu olarak ta kompozitin kötü termal iletkenlik özelliğinin yol açtığı, sıcaklık dağılımının zayıf olmasını ortaya çıkarmaktadır. Kesici takım ile kompozit iş parçası arasında oluşan bu yüksek sıcaklıklar ise fiber-matris bütünlüğünün bozulmasına ve böylece hem delik kalitesine hem de delik kenarındaki delaminasyonların artışına neden olmaktadır (J. Merino-Pérez ve ark., 2015; J. L. Merino-Pérez ve ark., 2015; Wang ve ark., 2015; Wang ve ark., 2018). Bir önceki bölümde, talaş ve işlem sonrası matkap sıcaklıkları değerleri incelendiğinde, ardı ardına kompozit malzeme üzerinde açılan deliklerin sıcaklıklarının kısa bir zaman aralığında oldukça yükseldiği görülebilmektedir. Bu yüksek sıcaklık değerlerinin etkileri, Şekil 4.127 ile Şekil 4.130 arasında verilen delinmiş kompozit iş parçası üzerindeki deliklerin üstten çekilen resimlerinde de görülmektedir. Şekillerde de görüldüğü gibi, aynı geometrik özellikteki HSS matkaplar ile kriyojenik ve temperleme

işlemi görmüş HSS matkaplar tarafından delinen kompozit iş parçaları ayrı ayrı görüntülenmiştir.



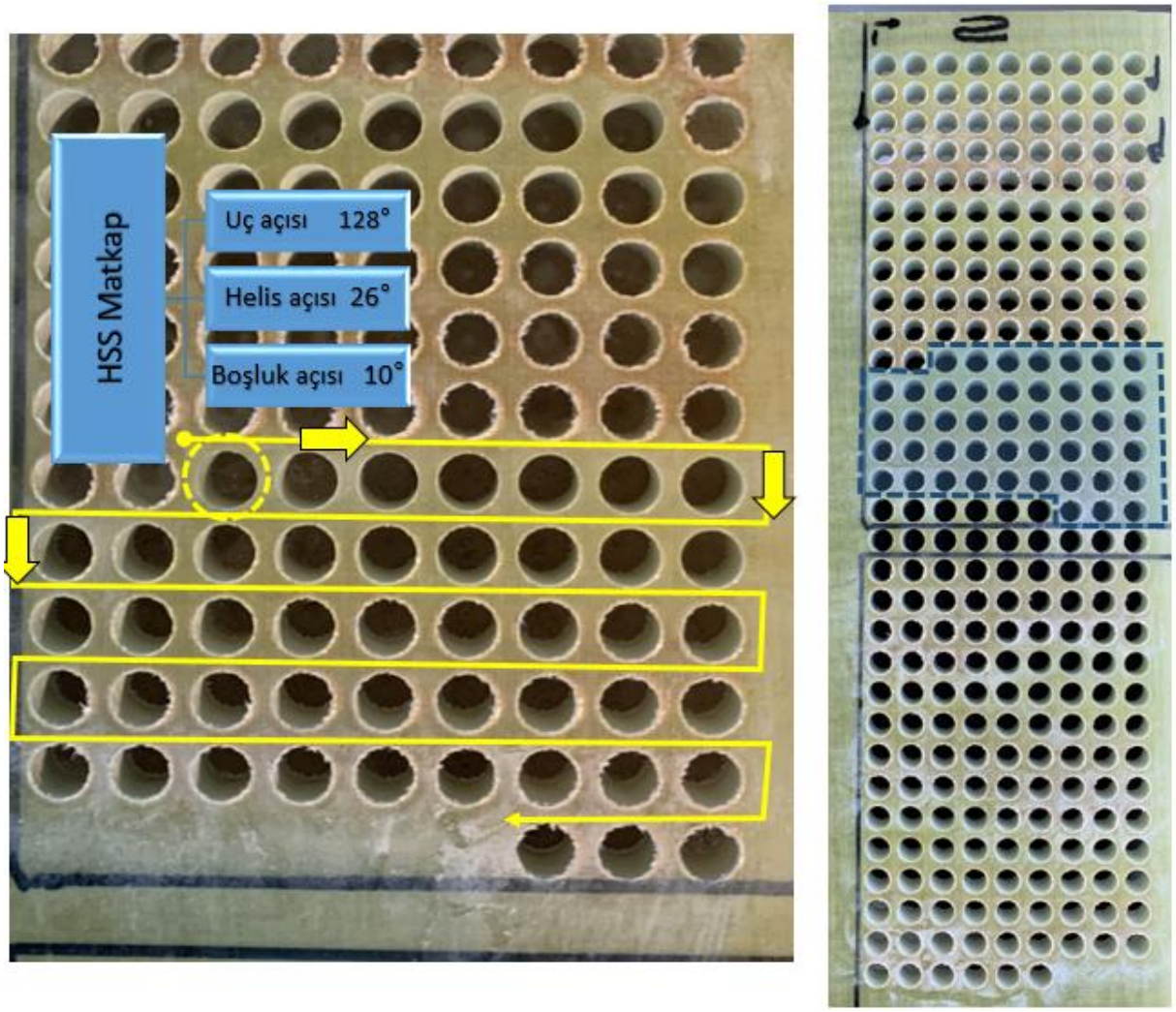
Şekil 4.127. HSS matkap ile delinen kompozit iş parçası

Şekil 4.127'de görüldüğü gibi, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı HSS matkap ile delinen kompozit iş parçası üzerindeki delik kenarlarında bulunan delaminasyonların, açılan delik sayısının artışı paralelinde arttığı görülebilmektedir. Burada, ardı ardına açılan delikler ve kesici takımda artan sıcaklığın, kesici takımın soğumasına fırsat vermeden 46. deliğe kadar sürekli artış gösterdiği ve bunun sonucunda da delik kenarı çevresindeki delaminasyonların sürekli olarak arttığı görülebilmektedir. Nitekim bu durum, en net olarak, açılan 46. delik ile yanında bulunan diğer kesici takımın açtığı 1. delikte görülebilmektedir.



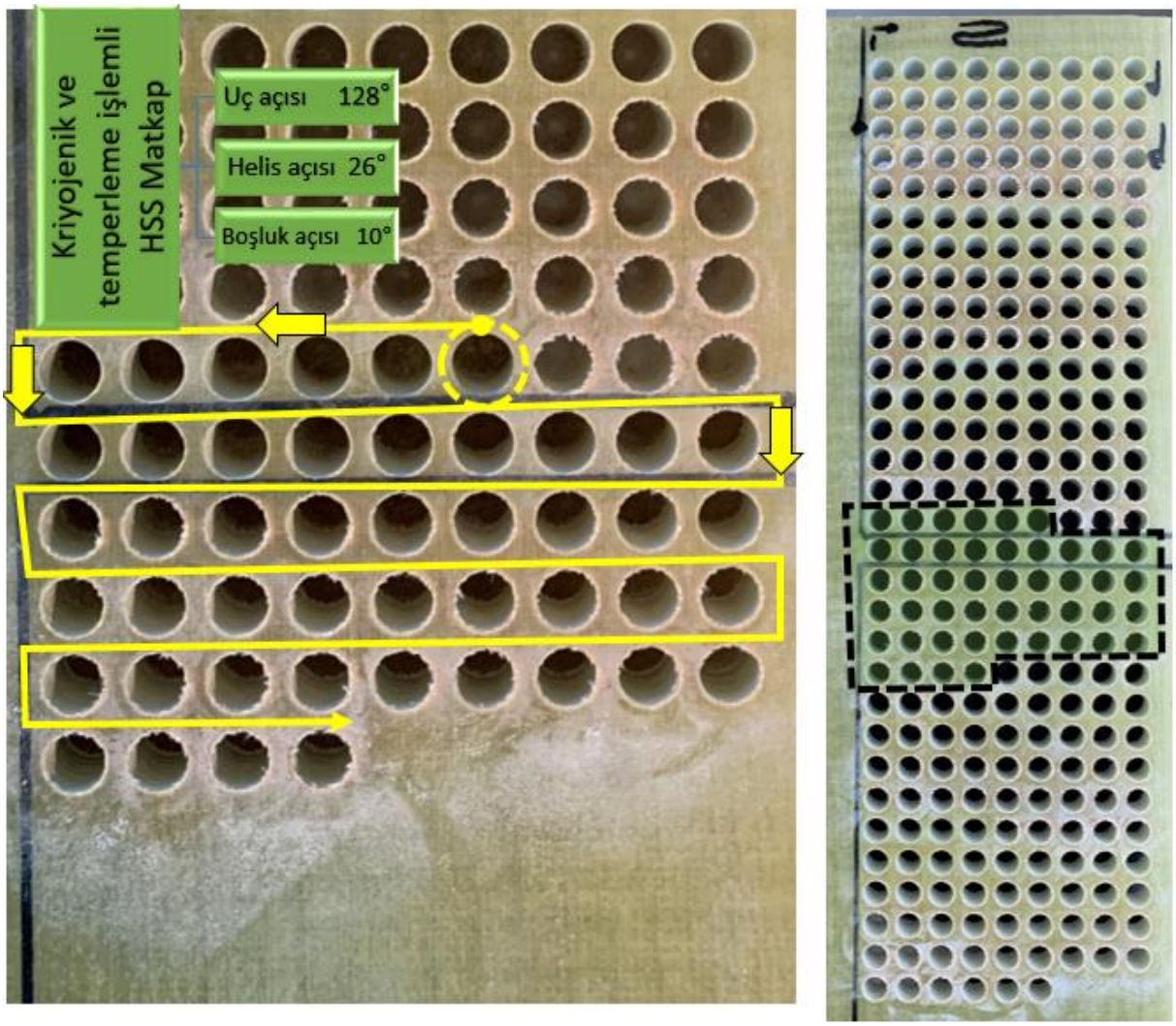
Şekil 4.128. Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkap ile delinen kompozit iş parçası

Aynı şekilde, Şekil 4.128'de görüldüğü gibi, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açılı kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkap ile delinen kompozit iş parçası üzerindeki delik kenarlarında bulunan delaminasyonların, açılan delik sayısının artışı paralelinde arttığı görülebilmektedir.



Şekil 4.129. HSS matkap ile delinen kompozit iş parçası

Benzer şekilde, Şekil 4.129'da görüldüğü gibi, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı HSS matkap ile delinen kompozit iş parçası üzerindeki delik kenarlarında bulunan delaminasyonların, açılan delik sayısının artışı paralelinde arttığı görülebilmektedir.

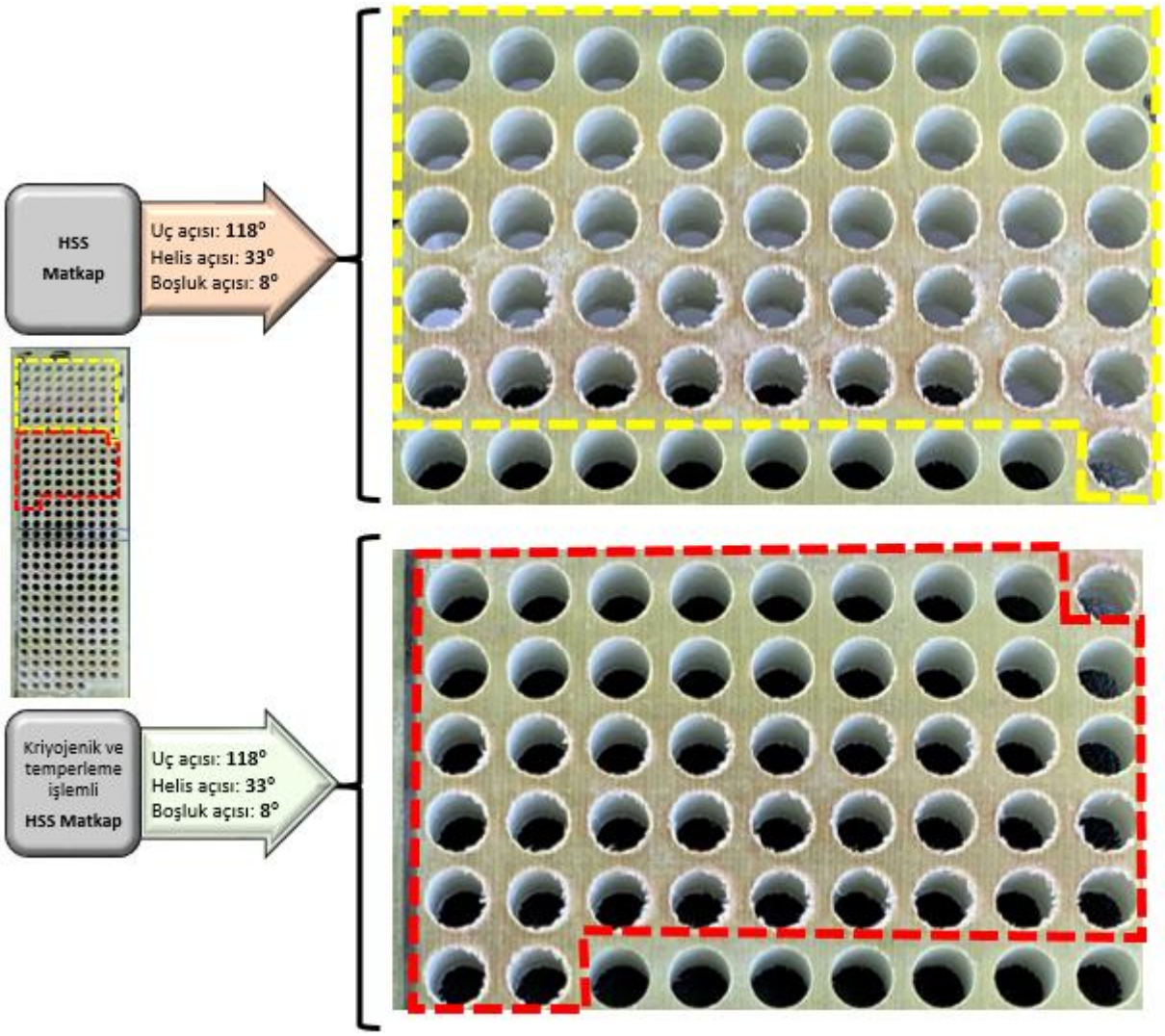


Şekil 4.130. Kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkap ile delinen kompozit iş parçası

Diğer matkaplar ile açılan deliklerde olduğu gibi, Şekil 4.130'da da, 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açılı kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkap ile delinen kompozit iş parçası üzerindeki delik kenarlarında bulunan delaminasyonların, açılan delik sayısının artışı paralelinde arttığı görülebilmektedir.

Ardı ardına HSS matkap ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş matkabın kompozit iş parçası üzerinde açmış oldukları deliklerin etrafında meydana gelen delaminasyonlar kıyaslandığında ise kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkapların daha iyi performans sergiledikleri görülebilmektedir. Bu durum, bir önceki sıcaklık bölümünde de belirtildiği gibi, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkabın sıcaklığı içine alabilme kapasitesinin daha iyi olması, sertlik değerinin daha yüksek olması ve ayrıca kompozit malzemede meydana gelen sıcaklığın daha düşük

olmasının etkisi ile delaminasyonların daha düşük olması ile sonuçlanmıştır. Şekil 4.131'de, ardı ardına delikler için kullanılan aynı geometriye sahip HSS matkap ile kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkabın kompozit iş parçası üzerinde açtığı delikler karşılaştırılarak verilmiştir.



Şekil 4.131. İki matkap türünün ardı ardına delik delme görüntüleri

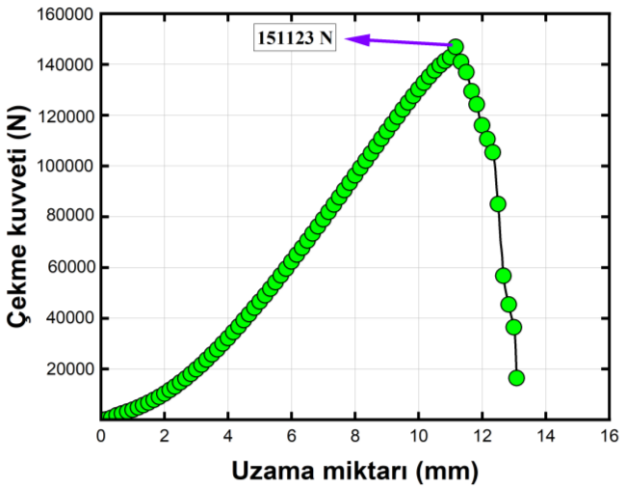
Şekil 4.131'de görüldüğü gibi, kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş matkabın açtığı deliklerin kenarlarındaki delaminasyonların değerinin daha az yani daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

4.9. Çekme Kuvveti Analizi

Bu tez çalışmasının önceki bölümlerinde, iş parçası olarak kullanılan kompozit malzeme üzerinde açılan delikler ile kesici takım özelliklerinin, kesici takım geometrisinin, devir sayısı ve ilerlemenin, kesme kuvvetlerine, delaminasyon faktörüne, yüzey pürüzlülüğüne, işleme sürelerine, talaş sıcaklığına, kesici takım sıcaklığına, talaş şekline ve takım aşınmasına olan etkileri detaylı olarak incelenmişti. Literatürde, elyaf takviyeli kompozitler üzerine yapılan çalışmalarda genel olarak farklı kesici takımların ve işleme parametrelerinin, delaminasyon faktörüne, kesme kuvvetine, yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına etkileri incelenmiştir. Kompozit iş parçasına farklı özellikteki kesici takımlar ile farklı parametrelerde delik delmenin çekme kuvvetlerine etkileri çok az çalışmada araştırılmıştır (Yenigün, 2018). Bu yüzden tez çalışmasının bu kısmında farklı özellikteki matkaplar ile farklı parametrelerde delik delme işlemleri yapılarak çekme dayanımına etkileri araştırılmıştır.

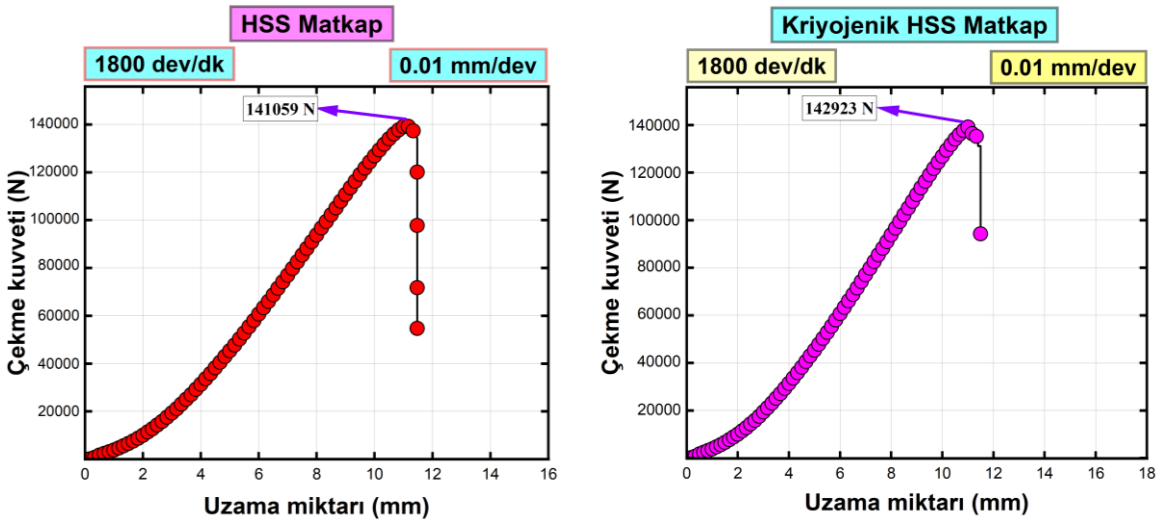
Çalışmanın delaminasyon faktörü bölümünde, iş parçası olarak kullanılan kompozit malzemenin delinmesi sırasında meydana gelen delaminasyonların, devir sayısı arttıkça azaldığı, ancak ilerleme miktarı arttıkça delaminasyonların arttığı ifade edilmişti. Bu delaminasyonlar ve delik delme esnasında kompozit malzemede meydana gelen hasarlar aynı zamanda kompozit malzemenin dayanımını da etkilediğinden, en az hasarla dayanım kaybı da en aza indirilmiş olacaktır. Çalışmada kullanılan kompozit iş parçasındaki en az delaminasyonlar 1800 dev/dk ’da elde edildiğinden devir sayısı olarak bu değer belirlenmiştir. Ayrıca, bu tez çalışmasında, 3 (üç) ayrı ilerleme oranı kullanıldığından yine bu ilerleme oranlarına göre delik delme işlemleri yapılmıştır. Delme işlemlerinde, HSS matkap ile kriyojenik ve temperleme işlemli HSS matkaplar kullanılarak bu iki matkap türünün etkileri de kıyaslanmıştır. Çekme testleri, 1 mm/dk hızında ve oda sıcaklığında (%50 nemde) gerçekleştirilmiştir. Testler için 1 (bir) adet delik açılmayan numune ve ASTM D5766/D5766M standartlarına göre hazırlanan 6 (altı) adet delik açılan numune hazırlanmıştır. Bu deliklerin 3 (üç) tanesi HSS matkap ile diğer 3 (üç) tanesi ise kriyojenik ve temperleme işlemi görmüş HSS matkaplar ile farklı ilerleme oranlarında (0.01, 0,02 ve 0,03 mm/dev) açılmıştır. Şekil 3.20‘de görülen çekme cihazı ile farklı türdeki matkaplar tarafından delinen ve delinmeyen numunelere çekme testleri uygulanarak çekme kuvvetleri bulunmuştur.

Yapılan çekme testleri sonucunda, delik delinmeyen numunenin çekme kuvveti değeri 151123 N olarak bulunmuştur. Şekil 4.132'de, delik delinmeden hazırlanan numunenin çekme kuvveti grafiği verilmiştir.



Şekil 4.132. Delik açılmayan numunenin çekme grafiği

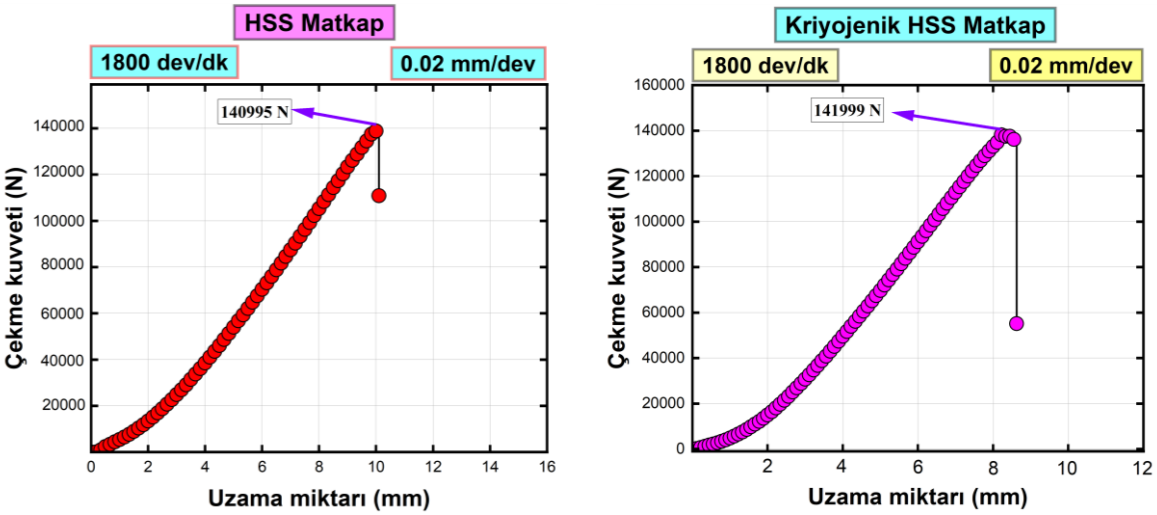
Her iki matkap türü ile delik delinen tüm numunelerin çekme kuvveti sonuçlarına bakıldığında ise en yüksek çekme kuvvetlerine 1800 dev/dk iş mili ve 0,01 mm/dev ilerleme oranı ile ulaşıldığı Şekil 4.133 ile Şekil 4.135 arasındaki grafiklerde de görülebilmektedir.



Şekil 4.133. 0,01 mm/dev ilerleme ile delik açılan numunelerin çekme grafikleri

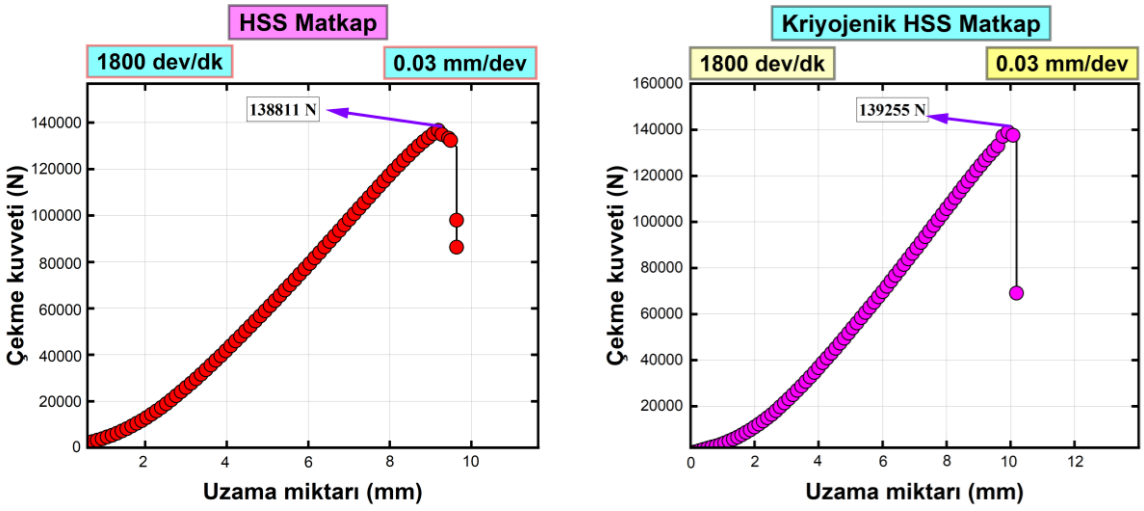
En yüksek çekme kuvveti değeri olan 142923 N, kriyojenik ve temperleme işlemli HSS matkap ile 0,01 mm/dev ilerleme oranıyla delinen numuneden elde edilmiştir (Şekil

4.133). En düşük çekme kuvveti değeri olan 138811 N ise HSS matkap ile 0,03 mm/dev ilerleme oranıyla delinen numuneden elde edilmiştir (Şekil 4.135). HSS matkap ile kriyojenik ve temperleme işlemli HSS matkap ile delinen numuneler en yüksek çekme kuvveti değerlerine göre karşılaştırıldığında, kriyojenik ve temperleme işlemli matkap ile delinen numunenin çekme kuvveti değerinin %1,25 daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.134. 0,02 mm/dev ilerleme ile delik açılan numunelerin çekme grafikleri

Aynı karşılaştırma, en küçük değerler yönünden yapıldığında ise yine kriyojenik ve temperleme işlemli HSS matkap ile delinen numunenin %0,35 daha yüksek çekme kuvvetine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.135. 0,03 mm/dev ilerleme ile delik açılan numunelerin çekme grafikleri

Diğer yandan, delik delinmeyen numunenin çekme kuvveti ile farklı özellikteki matkaplar tarafından (HSS ile kriyojenik ve temperleme işlemli HSS) delinen numunelerin en yüksek çekme kuvvetleri karşılaştırıldığında, delik delinmeyen numuneye göre sırasıyla, çekme kuvvetlerinin %6,65 ile %5,43 daha az olduğu görülmektedir.

Çekme testleri sonucunda bulunan çekme kuvvetleri değerlerinin kriyojenik ve temperlenmiş HSS matkap ile daha iyi bulunmasının nedeni diğer bölümlerde de açıklandığı gibi kompozit malzemeye daha az hasar vermesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, ilerleme oranının artışına bağlı olarak delik açılan bölgede kompozit malzemeye daha fazla hasar verilmesi nedeniyle çekme kuvvetleri olumsuz bir şekilde etkilenerek daha az çekme kuvvetleri çıkmıştır.

Şekil 4.132 ve Şekil 4.135 arasındaki grafiklerde görüldüğü gibi, kompozit malzemede bulunan sert ve kırılgan yapıdaki cam fiberler nedeniyle çekme numuneleri boyun vermeden en yüksek çekme kuvveti değerlerinde gevrek davranış göstererek kırılmışlardır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, özel tasarlanarak imal edilen 8 mm çapında, farklı uç açılarına (118°, 128° ve 138°), helis açılarına (26°, 33° ve 40°) ve boşluk açılarına (8°, 10° ve 12°) sahip, derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplar ile farklı devir sayısı (800, 1200 ve 1800 dev/dk) ve ilerleme (0.01, 0.02 ve 0.03 mm/dev) parametrelerinde delinen fiber takviyeli cam-epoksi kompozitin kesme kuvvetleri, delaminasyon faktörleri, yüzey pürüzlülükleri, talaş şekilleri ve işlem süreleri incelenerek değerlendirilmiştir. Ayrıca, derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplara XRD analizi yapılarak mikroyapısındaki değişimler incelenmiş ve art arda kompozit iş parçası üzerinde delme işlemleri yapılarak takım aşınma değerleri, talaş sıcaklıkları, kesici takım sıcaklıkları ve ASTM standartlarına göre hazırlanan kompozit iş parçası numunelerinin çekme kuvvetleri bulunarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir:

- Derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplardan alınan numunelerin çekilen SEM görüntüleri üzerinde yapılan incelemelerde, derin kriyojenik işlem uygulanmış numunenin mikroyapısında bulunan karbür tanelerinin daha küçük ve homojen dağılımlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, bu numuneler üzerinde yapılan XRD analizleri sonucunda, derin kriyojenik işlem görmüş olan numunenin bcc Fe ve MC fazının arttığı anlaşılmıştır. Elde edilen XRD sonuçları SEM görüntüleri ile karşılaştırıldığında ise birbirleri ile uyum içinde olduğu görülmüştür.
- Derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplardan alınan numunelerin yapılan mikrosertlik ölçümlerinde, derin kriyojenik işlem uygulanmış numunenin mikrosertlik değerinin 794,7 HV, işlem uygulanmamış numunen mikrosertlik değerinin ise 696,5 HV olduğu bulunmuştur. Mikrosertlikleri ölçülen bu iki numune karşılaştırıldığında, derin kriyojenik işlem uygulanmış numunen mikrosertlik değerinin %14 oranında artmış olduğu görülmüştür.
- Derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde kuru şartlar altında açılan kör delikler esnasında meydana gelen en yüksek kesme kuvveti değerleri, işlem uygulanmamış HSS matkap için 24,73 N, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkap için ise 21,67 N'dur. Bu iki en yüksek kesme kuvveti değeri kıyaslandığında, derin kriyojenik işlem uygulanmış

HSS matkabın, işlem uygulanmamış HSS matkabına göre kesme kuvveti değerinin %12,37 daha az olduğu görülmektedir. Her iki matkap türü için de en yüksek kesme kuvveti değerleri 800 dev/dk ve 0,01 mm/dev parametrelerinde elde edilmiştir.

- En küçük kesme kuvveti değerleri için karşılaştırma yapıldığında ise, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkabın (2,05 N), işlem uygulanmamış HSS matkabına göre (5,88 N) kesme kuvveti değerinin %65,13 daha az olduğu bulunmuştur. Her iki matkap türü için de en küçük kesme kuvveti değerleri 1800 dev/dk ve 0,03 mm/dev parametrelerinde elde edilmiştir.
- Kompozit iş parçası üzerinde açılan tüm kör delik işlemleri sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri incelendiğinde, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca, elde edilen kesme kuvveti değerlerine göre iş parçası olarak kullanılan kompozit malzeme için en uygun kesici takımın, 128° uç açısı, 33° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkap olduğu bulunmuştur.
- Derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde kuru şartlar altında açılan kör deliklerin yüzeylerinden ölçülen en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri, işlem uygulanmamış HSS matkap için 2,56 μm, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkap için ise 2,46 μm'dir. Bu iki en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri kıyaslandığında, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkabın, işlem uygulanmamış HSS matkabına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin %3,91 daha az olduğu görülmektedir. Her iki matkap türü için de en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri 1800 dev/dk ve 0,03 mm/dev parametrelerinde elde edilmiştir.
- En küçük ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri için karşılaştırma yapıldığında ise, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkabın (1,20 μm), işlem uygulanmamış HSS matkabına (1,29 μm) göre kör deliklerin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin %6,98 daha az olduğu bulunmuştur. Her iki matkap türü için de en küçük ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri 800 dev/dk ve 0,01 mm/dev parametrelerinde elde edilmiştir.
- Kompozit iş parçası üzerinde açılan tüm kör delik işlemlerinde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde, devir sayısı ve ilerlemenin artışına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca, elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre iş parçası olarak kullanılan kompozit malzeme için en uygun kesici takımın, 128° uç açısı, 26° helis

açısı ve 8° boşluk açısına sahip derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkap olduğu bulunmuştur.

- Derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde kuru şartlar altında açılan kör deliklerin girişlerinde ölçülen en yüksek delaminasyon faktörü değerleri, işlem uygulanmamış HSS matkap için 1,0671, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkap için ise 1,0618'dir. Bu iki en yüksek delaminasyon faktörü değerleri kıyaslandığında, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkabın, işlem uygulanmamış HSS matkabına göre delaminasyon faktörü değerinin %0,5 daha az olduğu görülmektedir. Her iki matkap türü için de en yüksek delaminasyon faktörü değerleri 800 dev/dk ve 0,03 mm/dev parametrelerinde elde edilmiştir.
- En küçük delaminasyon faktörü değerleri için karşılaştırma yapıldığında ise, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkabın (1,012), işlem uygulanmamış HSS matkabına (1,019) göre delaminasyon faktörü değerinin %0,7 daha az olduğu bulunmuştur. Her iki matkap türü için de en küçük ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri 1800 dev/dk ve 0,01 mm/dev parametrelerinde elde edilmiştir.
- Kompozit iş parçası üzerinde açılan tüm kör delik işlemlerinde meydana gelen delaminasyon faktörü değerleri incelendiğinde, devir sayısının artışına bağlı olarak azalma eğiliminde olduğu, ilerlemenin artışına bağlı olarak ise arttığı görülmüştür. Ayrıca, elde edilen delaminasyon faktörü değerlerine göre iş parçası olarak kullanılan kompozit malzeme için en uygun kesici takımın, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkap olduğu bulunmuştur.
- Derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplar ile kompozit iş parçası üzerinde kuru şartlar altında açılan kör delikler sırasında oluşan talaşlar incelendiğinde, sabit ilerleme oranında iken devir sayıları arttırıldığında, talaş hacimlerinin küçüldüğü, sabit devir sayılarında iken ilerleme oranları arttırıldığında ise talaş hacimlerinin arttığı görülmüştür. Sabit ilerleme oranında, devir sayısı arttıkça oluşan talaşların dışarı geç çıkması ve kesici takım ile iş parçası arasında sıkışarak ezildiklerinden talaşların hacimleri küçük olmaktadır.
- Çalışmada kullanılan kompozit malzemenin oldukça kırılgan özelliği nedeniyle (cam fiber), oluşan talaşlar çok kısa bir kıvrılma göstererek şekillenmiştir. Ayrıca, yüksek devir sayılarında, delik bölgesinde oluşan sıcaklığın kompozit iş parçasının kötü ısı iletkenliği nedeniyle dağılmaması sonucu kompozit malzemenin yapısal özelliğinde

bozulmalar olmuştur. Derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplar ile açılan delikler sırasında oluşan talaşlar incelendiğinde ise belirgin bir fark görülmemiştir.

- Kompozit iş parçası üzerinde açılan kör delikler sırasında, dinamometre ile ölçülen işlem süreleri, işlem uygulanmamış HSS matkaplara göre incelendiğinde, en uzun işlem süresinin D2 deney numaralı HSS matkap ile 47 saniye, en kısa işlem süresinin ise D52 deney numaralı HSS matkap ile 6 saniye olduğu bulunmuştur. İşlem uygulanmamış HSS matkaplara göre en uzun işlem süresi, 800 dev/dk ve 0,01 mm/dev parametrelerinde, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip matkap ile elde edilmiştir. İşlem uygulanmamış HSS matkaplara göre en kısa işlem süresi yönünden ise 1800 dev/dk ve 0,03 mm/dev parametrelerinde, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkap ile elde edilmiştir.
- Derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkaplara göre işlem süreleri incelendiğinde, en uzun işlem süresinin D22 deney numaralı matkap ile 31 saniye, en kısa işlem süresinin ise D44 deney numaralı matkap ile 9 saniye sürdüğü bulunmuştur. Derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkaplara göre, en uzun işlem süresi, 1200 dev/dk ve 0,01 mm/dev parametrelerinde, 118° uç açısı, 26° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip matkap ile elde edilmiştir. Derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkaplara göre en kısa işlem süresi yönünden ise 1800 dev/dk ve 0,02 mm/dev parametrelerinde, 118° uç açısı, 33° helis açısı ve 8° boşluk açısına sahip matkap ile elde edilmiştir.
- İşlem uygulanmamış HSS matkaplar ile derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapların işleme süreleri en uzun ve en kısa yönden kıyaslandığında, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapların en uzun süre bakımından %34,04 daha az ve en kısa süre bakımından ise %50 daha az olduğu bulunmuştur.
- Derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplar için yapılan takım ömrü deneylerinde, genel olarak matkaplarda radyal ağız aşınması, dış köşe aşınması ve serbest yüzey aşınmasının meydana geldiği görülmüştür.
- Yapılan takım ömrü deneylerinde, serbest yüzey aşınması ve en büyük dış köşe aşınmasının 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip işlem uygulanmamış HSS matkapta olduğu tespit edilmiştir.
- Takım ömrü deneylerinde, serbest yüzey aşınması ve en küçük dış köşe aşınmasının 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapta olduğu görülmüştür.

- Takım ömrü deneylerinde, radyal ağız aşınması en fazla 138° uç açısı, 40° helis açısı ve 12° boşluk açısına sahip işlem uygulanmamış HSS matkapta, radyal ağız aşınması en az ise 128° uç açısı, 26° helis açısı ve 10° boşluk açısına sahip derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapta tespit edilmiştir.
- Takım ömrü deneyleri sonucunda, V_B ve V_{Bmax} değerleri birlikte değerlendirildiğinde, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapların işlem uygulanmamış HSS matkaplara göre, en yüksek aşınma yönünden %6,77 (V_B) ile %6,62 (V_{Bmax}), en düşük aşınma yönünden ise %10,15 (V_B) ve %5,31 (V_{Bmax}) daha iyi bir performans sergiledikleri görülmüştür.
- Kompozit iş parçası üzerinde ardı ardına açılan tam delikler sırasında çıkan talaşların en yüksek sıcaklıkları, işlem uygulanmamış HSS matkaplarda 131°C, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapta ise 121°C olarak ölçülmüştür. Bu iki sıcaklık değeri karşılaştırıldığında işlem uygulanmamış HSS matkap ile çıkarılan talaşların sıcaklığının %8,27 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Kompozit iş parçası üzerinde ardı ardına açılan tam delikler sonrasında matkap uçlarının en yüksek sıcaklıkları, işlem uygulanmamış HSS matkaplarda 131°C, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapta ise 128°C olarak ölçülmüştür. Bu iki sıcaklık değeri karşılaştırıldığında, işlem uygulanmamış HSS matkap sıcaklığının %2,40 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Kompozit iş parçası üzerinde ardı ardına aynı matkaplar ile yapılan delik delme işlemleri sonucunda meydana gelen delaminasyonların, tekli delme işlemleri yapan matkapların neden olduğu delaminasyonlardan, kesici takımların artan sıcaklığının etkisiyle daha yüksek oldukları görülmüştür.
- Kompozit iş parçası üzerinde ardı ardına aynı matkaplar ile yapılan delik delme işlemleri sonucunda, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkapların neden olduğu delaminasyonların daha az olduğu belirlenmiştir.
- Kompozit malzemeden ASTM standartlarına göre elde edilen numunelere uygulanan çekme deneyleri sonucunda, delme parametrelerine bağlı olarak iş parçasında meydana gelen hasarların çekme kuvvetlerini etkilediği tespit edilmiştir.
- Çekme deneyleri sonucunda, derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplar ile 1800 dev/dk ve 0,01 mm/dev ilerlemede delinen numunelerin en yüksek çekme kuvvetlerine sırasıyla 142923 N ve 141059 N olarak ulaştıkları belirlenmiştir. En yüksek çekme kuvvetleri karşılaştırıldığında, derin kriyojenik işlem uygulanmış HSS matkap ile delinen numunenin çekme kuvvetinin %1,25 daha

yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplar ile delinen kompozit numuneler için en düşük çekme kuvvetleri sırasıyla, 139255 N ve 138811 N olarak bulunmuştur.

- ❖ Çekme deneyleri sonucunda, ASTM standartlarında hazırlanan numuneler ile aynı boyutlarda ancak delik delinmeyen numunenin çekme kuvveti 151123 N olarak bulunmuştur. Derin kriyojenik işlem uygulanmış ve uygulanmamış HSS matkaplar ile delinen numunelerin en yüksek çekme kuvvetleri, delik delinmeyen numunenin çekme kuvveti ile karşılaştırıldığında ise sırasıyla, %5,43 ile %6,65 daha az olduğu tespit edilmiştir.
- ❖ Çekme deneyleri sonucunda, 0,01 mm/dev ilerlemede delinen numunelerde meydana gelen hasarın daha az olması nedeniyle çekme kuvvetinin daha yüksek, 0,03 mm/dev ilerlemede delinen numunelerde meydana gelen hasarın daha fazla olması nedeniyle çekme kuvvetinin daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasının sonuçları göz önünde bulundurulduğunda, kriyojenik işlem uygulanacak olan HSS matkapların delme performanslarının daha fazla iyileştirilmesi amacıyla aşağıdaki öneriler ifade edilebilir.

- ❖ HSS matkapların takım ömürlerinin artırılması için uygulanacak olan kriyojenik işlem süresi ve temperleme sayısı artırılarak araştırılabilir.
- ❖ Kompozit iş parçasını delme işlemi sırasında kesici takımda meydana gelen yüksek sıcaklığın delik kalitesine olan olumsuz etkilerinin azaltılması araştırılabilir.
- ❖ Kriyojenik işlem uygulanan HSS matkaplar ile delinecek olan fiber takviyeli cam-epoksi kompozitlerde bulunan takviye elemanlarının farklı açılardaki etkileri araştırılabilir.
- ❖ Kriyojenik işlem uygulanan HSS matkaplar ile delinecek olan fiber takviyeli cam-epoksi kompozitlerde bulunan farklı matris türlerinin etkileri araştırılabilir.
- ❖ Kriyojenik işlem uygulanan HSS matkaplar ile delinecek olan farklı türlerdeki kompozitlerin kesici takım üzerindeki etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Abu-Mahfouz, I. (2003). Drilling wear detection and classification using vibration signals and artificial neural network. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *43*(7), 707-720.

Akça, G. (2006). Takım Çeliklerinin Kaynağı. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye*.

Akhbarizadeh, A., Shafyei, A., & Golozar, M. (2009). Effects of cryogenic treatment on wear behavior of D6 tool steel. *Materials & Design*, *30*(8), 3259-3264.

Akıncıoğlu, S. (2011). AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin farklı kesici takım ve parametreler kullanılarak delinebilirliğinin araştırılması, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye*.

Akıncıoğlu, S. (2015). Süper Alaşım (Hastelloy c22) Çeliğinin Kriyojenik İşlem Uygulanmış Takımlarla İşlenebilirliğinin Araştırılması, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Karabük, Türkiye*.

Akincioğlu, S., Gökkaya, H., & Uygur, İ. (2015). A review of cryogenic treatment on cutting tools. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *78*(9), 1609-1627.

Akkurt, A. (2004). Su jeti ile kesme sistemleri ve uygulama alanlarının değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, *7*(2), 129-139.

Akkurt, M. (2000). Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları. *Birsen Yayınevi*, Ankara, Türkiye.

Akkuzu, E. E. (2012). Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin işlenebilirliğinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye*.

Armarego, E., & Brown, R. H. (1969). The machining of metals. *The Machining of Metals, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 437 P*.

Arul, S., Vijayaraghavan, L., Malhotra, S., & Krishnamurthy, R. (2006). The effect of vibratory drilling on hole quality in polymeric composites. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *46*(3-4), 252-259.

Arul, S., Vijayaraghavan, L., Malhotra, S., & Krishnamurthy, R. (2006). Influence of tool material on dynamics of drilling of GFRP composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *29*(7), 655-662.

Avner, S. H. (1974). *Introduction to physical metallurgy* (Vol. 2). McGraw-hill New York.

Avuncan, G. (1998). Kesici Takımların Bilenmesi. *Mavi Tanıtım ve Pazarlama Ltd. Şti. Yayınları, Gebze*, 62-80.

Aydın, B. (2002). AA2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.

Aydoğuş, O. (2019). Nanografen/Silika Katkılı Cam/Epoksi Hibrit Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya*, Türkiye.

Aydoğuş, O., & Demirci, M. T. (2019). Nanosilika Katkılı Cam/Epoksi Kompozitlerin Çekme Dayanımlarının ve Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi. *Selçuk-Teknik Dergisi*, *18*(3), 152-163.

Azmi, A. (2013). Chip formation studies in machining fibre reinforced polymer composites. *International Journal of Materials and Product Technology*, *46*(1), 32-46.

Babu, J., & Philip, J. (2014). Experimental studies on effect of process parameters on delamination in drilling GFRP composites using Taguchi method. *Procedia materials science*, *6*, 1131-1142.

Bal, K. S. (2012). Performance appraisal of cryo-treated tool by turning operation, *PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela*.

Baldissera, P., & Delprete, C. (2008). Deep cryogenic treatment: a bibliographic review. *The open mechanical engineering journal*, *2*(1).

Barbero, E. J. (2013). *Finite element analysis of composite materials using AbaqusTM* (Vol. 2103). CRC press Boca Raton.

Bargel, H., & Schulze, G. (1987). *Material science (Werkstoffkunde)* (Vol. 2).

Barnes, S., Pashby, I., & Hashim, A. (1999). Effect of heat treatment on the drilling performance of aluminium/SiC MMC. *Applied Composite Materials*, *6*(2), 121-138.

Baschek, G., Hartwig, G., & Zahradnik, F. (1999). Effect of water absorption in polymers at low and high temperatures. *Polymer*, *40*(12), 3433-3441.

Bayer, A. M., Becherer, B., & Vasco, T. (1989). High-speed tool steels. *ASM Handbook*, *16*, 51-59.

Bayraktar, Ş., & Demir, O. (2017). Nikel esaslı Inconel alaşımlarının işlenebilirliği. *8th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Türkiye.

Bayraktar, Ş., Sıyambaş, Y., & Turgut, Y. (2017). Delik delme prosesi: bir araştırma. *Sakarya University Journal of Science*, *21*(2), 120-130.

Ben Meftah, M., Baili, M., Gassara, B., Dessein, G., & Bouzid Saï, W. (2019). Pre-hole diameter optimization in high speed drilling considering machining cost. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *103*(9), 3323-3336.

Bensely, A., Prabhakaran, A., Lal, D. M., & Nagarajan, G. (2005). Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment. *Cryogenics*, *45*(12), 747-754.

Blau, P. J., Martin, R. L., & Riester, L. (1996). A comparison of several surface finish measurement methods as applied to ground ceramic and metal surfaces.

Botelho, E. C., Silva, R. A., Pardini, L. C., & Rezende, M. C. (2006). A review on the development and properties of continuous fiber/epoxy/aluminum hybrid composites for aircraft structures. *Materials Research*, *9*(3), 247-256.

Bozkurt, T. (2006). TiN, TiAlN ve Altın Kaplamaların Aşınma Performanslarının İncelenmesi Ve Farklı Altlık Malzemede TiN Kaplamanın Etkisinin Araştırılması. *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, Türkiye*, *3*.

Buckley, C. P., Harding, J., Hou, J., Ruiz, C., & Trojanowski, A. (2001). Deformation of thermosetting resins at impact rates of strain. Part I: Experimental study. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, *49*(7), 1517-1538.

Buckley, J. D., & Edie, D. D. (1993). *Carbon-carbon materials and composites*. William Andrew.

Budinski, K. G., & Budinski, M. K. (1992). Properties and Selection. *Engineering Materials. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall*.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2014). *Materials science and engineering: an introduction* (9 ed.). Wiley, New York.

Candane, D., Alagumurthi, N., & Palaniradja, K. (2013a). Effect of cryogenic treatment on microstructure and wear characteristics of AISI M35 HSS. *International journal of materials science and applications*, *2*(2), 56-65.

Candane, D., Alagumurthi, N., & Palaniradja, K. (2013b). Effect of deep cryogenic treatment on AISI T42 high speed steel. *Int J Cur Eng Technol*, *3*, 1164-1170.

Candane, D., Alagumurthi, N., & Palaniradja, K. (2013c). Tribological studies on deep cryogenic treated AISI T42 high speed steel using response surface methodology. *Adv Mater*, *2*, 12-22.

Chen, W., Lu, F., & Cheng, M. (2002). Tension and compression tests of two polymers under quasi-static and dynamic loading. *Polymer testing*, *21*(2), 113-121.

Coesel, J. (1994). Drilling of fibre-metal laminates. *Faculty of aerospace engineering*, 63.

Çakır, A., KAvak, N., & Duran, A. (2014). Kesici takım geometrisinin delik delme performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi. *5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTİS 2014), Bursa, Türkiye*, 1-15.

Çakır, M. (2000). Modern talaşlı imalat yöntemleri. *Vipaş A.Ş. Bursa*, 350-390.

Çiçek, A., Kıvak, T., & Ekici, E. (2015). Optimization of drilling parameters using Taguchi technique and response surface methodology (RSM) in drilling of AISI 304 steel with cryogenically treated HSS drills. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *26*(2), 295-305.

Çiçek, A., Kıvak, T., Uygur, I., Ekici, E., & Turgut, Y. (2012). Performance of cryogenically treated M35 HSS drills in drilling of austenitic stainless steels. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *60*(1), 65-73.

Çiçek, A., Uygur, I., Kıvak, T., & Altan Özbek, N. (2012). Machinability of AISI 316 austenitic stainless steel with cryogenically treated M35 high-speed steel twist drills. *Journal of manufacturing science and engineering*, *134*(6), 061003, 061001-061006.

Çiftçi, İ. (2005). Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *20*(2), 205-209.

Çoğun, C., & Özses, B. (2002). Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *17*(1), 59-75.

Da Silva, F. J., Franco, S. D., Machado, A. R., Ezugwu, E. O., & Souza Jr, A. M. (2006). Performance of cryogenically treated HSS tools. *Wear*, *261*(5-6), 674-685.

Dahotre, N. B., & Harimkar, S. P. (2008). Laser Drilling. *Laser Fabrication and Machining of Materials*, 97-143.

Darwin, J., Lal, D. M., & Nagarajan, G. (2008). Optimization of cryogenic treatment to maximize the wear resistance of 18% Cr martensitic stainless steel by Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, *195*(1-3), 241-247.

Das, D., Dutta, A., & Ray, K. (2009). Optimization of the duration of cryogenic processing to maximize wear resistance of AISI D2 steel. *Cryogenics*, *49*(5), 176-184.

Das, D., Dutta, A. K., & Ray, K. K. (2010). Sub-zero treatments of AISI D2 steel: Part I. Microstructure and hardness. *Materials Science and Engineering: A*, *527*(9), 2182-2193.

Davim, J. P. (2013). *Machining composites materials*. John Wiley & Sons.

Davim, J. P., & Reis, P. (2003). Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments. *Composite Structures*, *59*(4), 481-487.

Davim, J. P., Reis, P., & Antonio, C. C. (2004). Experimental study of drilling glass fiber reinforced plastics (GFRP) manufactured by hand lay-up. *composites science and technology*, *64*(2), 289-297.

Davim, J. P., Reis, P., & António, C. C. (2004). Drilling fiber reinforced plastics (FRPs) manufactured by hand lay-up: influence of matrix (Viapal VUP 9731 and ATLAC 382-05). *Journal of Materials Processing Technology*, *155*, 1828-1833.

Demir, E., & Toktaş, İ. (2014). AISI D2 çeliğine uygulanan farklı bekletme sürelerindeki derin kriyojenik işlemin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi. ISITES 2014 2nd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Karabük,

Dhokey, N., Hake, A., Kadu, S., Bhoskar, I., & Dey, G. (2014). Influence of cryoprocessing on mechanism of carbide development in cobalt-bearing high-speed steel (M35). *Metallurgical and Materials Transactions A*, *45*(3), 1508-1516.

Dolinšek, S., Šuštaršič, B., & Kopač, J. (2001). Wear mechanisms of cutting tools in high-speed cutting processes. *Wear*, *250*(1-12), 349-356.

Ekici, E. (2009). *Camelyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin delinmesi esnasında oluşan yüzey hasarının deneysel olarak incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Ekici, E., & Işık, B. (2009). Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemenin Delinmesi Esnasında Oluşan Yüzey Hasarının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS), Karabük*, 1-6.

Ekmen, F. H. (2021). Kriyojenik işlem uygulanmış Inconel 718 alaşımlarında delik delme işlemlerinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, Türkiye*.

El-Khabeery, M., Saleh, S., & Ramadan, M. (1991). Some observations of surface integrity of deep drilling holes. *Wear*, *142*(2), 331-349.

El-Sonbaty, I., Khashaba, U., & Machaly, T. (2004). Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites. *Composite Structures*, *63*(3-4), 329-338.

Elmarakbi, A. (2013). *Advanced composite materials for automotive applications: Structural integrity and crashworthiness*. John Wiley & Sons.

Ersoy, M. S. (2018). Lif takviyeli polimerik kompozit malzeme tasarımı, *Doktora Tezi, Kahraman Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkiye*.

Ertunç, H. M., & Sevim, İ. (2011). Kesici Takımların Aşınmasını Gözlemleme Üzerine Yapılan Çalışmalar. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *7*(1), 55-62.

Erturk, A. T., Vatansever, F., Yarar, E., Guven, E. A., & Sinmazcelik, T. (2021). Effects of cutting temperature and process optimization in drilling of GFRP composites. *Journal of composite materials*, *55*(2), 235-249.

Faraz, A., Biermann, D., & Weinert, K. (2009). Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *49*(15), 1185-1196.

Feito, N., Díaz-Álvarez, J., Díaz-Álvarez, A., Cantero, J. L., & Miguélez, M. H. (2014). Experimental analysis of the influence of drill point angle and wear on the drilling of woven CFRPs. *Materials*, *7*(6), 4258-4271.

Firouzdor, V., Nejati, E., & Khomamizadeh, F. (2008). Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill. *Journal of Materials Processing Technology*, *206*(1-3), 467-472.

Folkes, J. (2009). Waterjet—An innovative tool for manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology*, *209*(20), 6181-6189.

Gaitonde, v., Karnik, S., Rubio, J. C., Correia, A. E., Abrao, A., & Davim, J. P. (2008). Analysis of parametric influence on delamination in high-speed drilling of carbon fiber reinforced plastic composites. *Journal of Materials Processing Technology*, *203*(1-3), 431-438.

Giasin, K. (2016). Machining Fibre Metal Laminates and Al2024-T3 aluminium alloy. 2017. *University of Sheffield*.

Giasin, K., Barouni, A., Dhakal, H. N., Featherson, C., Redouane, Z., Morkavuk, S., & Koklu, U. (2021). Microstructural investigation and hole quality evaluation in S2/FM94 glass-fibre composites under dry and cryogenic conditions. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, *40*(7-8), 273-293.

Gill, S. S. (2012). Machining performance of cryogenically treated AISI M2 high speed steel tools. *JERS*, *3*(2), 45-49.

Gill, S. S., & Singh, H. (2013). Cryogenic treatment of materials: cutting tools and polymers. In *Polymers at Cryogenic Temperatures* (pp. 245-273). Springer.

Gill, S. S., Singh, H., Singh, R., & Singh, J. (2010). Cryoprocessing of cutting tool materials—a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *48*(1), 175-192.

Gill, S. S., Singh, H., Singh, R., & Singh, J. (2011a). Flank wear and machining performance of cryogenically treated tungsten carbide inserts. *Materials and Manufacturing Processes*, *26*(11), 1430-1441.

Gill, S. S., Singh, J., Singh, R., & Singh, H. (2011b). Metallurgical principles of cryogenically treated tool steels—a review on the current state of science. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *54*(1-4), 59-82.

Gill, S. S., Singh, J., Singh, R., & Singh, H. (2012). Effect of cryogenic treatment on AISI M2 high speed steel: metallurgical and mechanical characterization. *Journal of Materials Engineering and Performance*, *21*(7), 1320-1326.

Gill, S. S., Singh, R., Singh, H., & Singh, J. (2009). Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *49*(3-4), 256-260.

Gimenez, S., & Iturriza, I. (2003). Microstructural characterisation of powder metallurgy M35MHV HSS as a function of the processing route. *Journal of Materials Processing Technology*, *143*, 555-560.

Gokce, H., Yavuz, M., Gökçe, H., & Şeker, U. (2017). Orijinal Matkap Geometrisinde Delme Performansının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğrulanması. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, *3*(1), 27-34.

Gu, K., Wang, J., & Zhou, Y. (2014). Effect of cryogenic treatment on wear resistance of Ti–6Al–4V alloy for biomedical applications. *journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, *30*, 131-139.

Güneş, D. (2010). *Al matrisli SiCp takviyeli kompozit ile Ç1030 çeliğinin sürtünme kaynak yöntemiyle kaynak edilebilirliğinin araştırılması* Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Güven, M., Hakan Dilipak, & Sarıkaya, M. (2011). "AISI 1050 Malzemenin Delinmesinde Delme Parametrelerinin Delik Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Çoklu Regresyon Metoduyla Modellenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *8*(1), 37-46.

Herakovich, C. T. (1998). *Mechanics of fibrous composites*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.

Herbeck, L., Wilmes, H., Kolesnikov, B., & Kleineberg, M. (2003). Technology and design development for a CFRP fuselage. 25th SAMPE Europe Conference, Paris, France,

Herzog, D., Jaeschke, P., Meier, O., & Haferkamp, H. (2008). Investigations on the thermal effect caused by laser cutting with respect to static strength of CFRP. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *48*(12-13), 1464-1473.

Hiçyılmaz, N. (1997). *Toz metalurjisi Yöntemleri iile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri* [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi].

Hocheng, H., & Tsao, C. (2006). Effects of special drill bits on drilling-induced delamination of composite materials. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *46*(12-13), 1403-1416.

Ibrahim, I. D., Jamiru, T., Sadiku, R. E., Kupolati, W. K., Agwuncha, S. C., & Ekundayo, G. (2015). The use of polypropylene in bamboo fibre composites and their mechanical properties–A review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, *34*(16), 1347-1356.

Inoue, H., Aoyama, E., Hirogaki, T., Ogawa, K., Matushita, H., Kitahara, Y., & Katayama, T. (1997). Influence of tool wear on internal damage in small diameter drilling in GFRP. *Composite Structures*, *39*(1-2), 55-62.

Isbilir, O., & Ghassemieh, E. (2013). Numerical investigation of the effects of drill geometry on drilling induced delamination of carbon fiber reinforced composites. *Composite Structures*, *105*, 126-133.

Ishikawa, K.-i., Suwabe, H., Nishide, T., & Uneda, M. (1998). A study on combined vibration drilling by ultrasonic and low-frequency vibrations for hard and brittle materials. *Precision engineering*, *22*(4), 196-205.

Işık, B., & Ekici, E. (2010). Experimental investigations of damage analysis in drilling of woven glass fiber-reinforced plastic composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *49*(9), 861-869.

Jain, S., & Yang, D. C. (1993). Effects of feedrate and chisel edge on delamination in composites drilling.

Jovičević-Klug, P., Jovičević-Klug, M., & Podgornik, B. (2020). Effectiveness of deep cryogenic treatment on carbide precipitation. *Journal of Materials Research and Technology*, *9*(6), 13014-13026.

Kaddick, C., Stur, S., & Hipp, E. (1997). Mechanical simulation of composite hip stems. *Medical engineering & physics*, *19*(5), 431-439.

Kalia, S. (2010). Cryogenic processing: a study of materials at low temperatures. *Journal of Low Temperature Physics*, *158*(5), 934-945.

Kalidas, S., DeVor, R. E., & Kapoor, S. G. (2001). Experimental investigation of the effect of drill coatings on hole quality under dry and wet drilling conditions. *Surface and Coatings Technology*, *148*(2-3), 117-128.

Kalsi, N. S., Sehgal, R., & Sharma, V. S. (2010). Cryogenic treatment of tool materials: a review. *Materials and Manufacturing Processes*, *25*(10), 1077-1100.

Kalsi, N. S., Sehgal, R., & Sharma, V. S. (2014). Effect of tempering after cryogenic treatment of tungsten carbide–cobalt bounded inserts. *Bulletin of Materials Science*, *37*(2), 327-335.

Kaplan, Y. (2010). Delik delmede farklı parametrelerin kesme kuvveti, moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve çapak oluşumuna etkileri. *Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 1-108.

Kara, F., Karabatak, M., Ayyıldız, M., & Nas, E. (2020). Effect of machinability, microstructure and hardness of deep cryogenic treatment in hard turning of AISI D2 steel with ceramic cutting. *Journal of Materials Research and Technology*, *9*(1), 969-983.

Karewar, S., Sietsma, J., & Santofimia, M. J. (2018). Effect of pre-existing defects in the parent fcc phase on atomistic mechanisms during the martensitic transformation in pure Fe: A molecular dynamics study. *Acta Materialia*, *142*, 71-81.

Karnik, S., Gaitonde, V., Rubio, J. C., Correia, A. E., Abrão, A., & Davim, J. P. (2008). Delamination analysis in high speed drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using artificial neural network model. *Materials & Design*, *29*(9), 1768-1776.

Kaynak, Y. (2006). Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Yüksek lisans Tezi, Marmara Universitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye*.

Khashaba, U. (2004). Delamination in drilling GFR-thermoset composites. *Composite Structures*, *63*(3-4), 313-327.

Khashaba, U., & El-Keran, A. (2017). Drilling analysis of thin woven glass-fiber reinforced epoxy composites. *Journal of Materials Processing Technology*, *249*, 415-425.

Khashaba, U., El-Sonbaty, I., Selmy, A., & Megahed, A. (2010a). Machinability analysis in drilling woven GFR/epoxy composites: Part I–Effect of machining parameters. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *41*(3), 391-400.

Khashaba, U., El-Sonbaty, I., Selmy, A., & Megahed, A. (2010b). Machinability analysis in drilling woven GFR/epoxy composites: Part II–Effect of drill wear. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *41*(9), 1130-1137.

Khashaba, U., El-Sonbaty, I., Selmy, A., & Megahed, A. (2013). Drilling analysis of woven glass fiber-reinforced/epoxy composites. *Journal of composite materials*, *47*(2), 191-205.

Khashaba, U. A., Abd-Elwahed, M. S., Eltaher, M. A., Najjar, I., Melaibari, A., & Ahmed, K. I. (2021). Thermo-Mechanical and Delamination Properties in Drilling GFRP Composites by Various Drill Angles. *Polymers*, *13*(11), 1884.

Kilickap, E. (2010). Investigation into the effect of drilling parameters on delamination in drilling GFRP. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, *29*(23), 3498-3503.

Kishore, R., Tiwari, R., Dvivedi, A., & Singh, I. (2009). Taguchi analysis of the residual tensile strength after drilling in glass fiber reinforced epoxy composites. *Materials & Design*, *30*(6), 2186-2190.

Kıvak, T. (2007). Inconel 718'in delinebilirliğinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 1-113.

Kıvak, T. (2012). Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Tİ-6AL-4V alaşımının delinebilirliği üzerindeki etkilerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, Türkiye*.

Kıvak, T., Habalı, K., & Şeker, U. (2010). Inconel 718'in delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerindeki etkisinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *25*(2), 293-298.

Kıvak, T., & Şeker, U. (2015). Effect of cryogenic treatment applied to M42 HSS drills on the machinability of Ti-6Al-4V alloy. *Mater. Technol*, *49*, 949-956.

Kopač, J., & Bahor, M. (1999). Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product. *Journal of Materials Processing Technology*, *92*, 381-387.

Krishnaraj, V. (2008). Effects of drill points on glass fibre reinforced plastic composite while drilling at high spindle speed. Proceedings of the world congress on engineering,

Krishnaraj, V., Prabukarthi, A., Ramanathan, A., Elanghovan, N., Kumar, M. S., Zitoune, R., & Davim, J. (2012). Optimization of machining parameters at high speed drilling of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) laminates. *Composites Part B: Engineering*, *43*(4), 1791-1799.

Krishnaraj, V., Zitoune, R., & Davim, J. P. (2013). *Drilling of polymer-matrix composites*. Springer.

Lal, D. M., Renganarayanan, S., & Kalanidhi, A. (2001). Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels. *Cryogenics*, *41*(3), 149-155.

Latha, B., Senthilkumar, V., & Palanikumar, K. (2011). Influence of drill geometry on thrust force in drilling GFRP composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, *30*(6), 463-472.

Lazar, M.-B., & Xirouchakis, P. (2011). Experimental analysis of drilling fiber reinforced composites. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *51*(12), 937-946.

Li, H., Tong, W., Cui, J., Zhang, H., Chen, L., & Zuo, L. (2016). The influence of deep cryogenic treatment on the properties of high-vanadium alloy steel. *Materials Science and Engineering: A*, *662*, 356-362.

Lin, S.-C., & Shen, J.-M. (1999). Drilling unidirectional glass fiber-reinforced composite materials at high speed. *Journal of composite materials*, *33*(9), 827-851.

Linganiso, L., & Anandjiwala, R. (2016). Fibre-reinforced laminates in aerospace engineering. In *Advanced composite materials for aerospace engineering* (pp. 101-127). Elsevier.

Liu, D., Tang, Y., & Cong, W. (2012). A review of mechanical drilling for composite laminates. *Composite Structures*, *94*(4), 1265-1279.

Liu, T., & Anantharaman, K. (1994). Intelligent classification and measurement of drill wear.

Malhotra, S. (1990). Some studies on drilling of fibrous composites. *Journal of Materials Processing Technology*, *24*, 291-300.

Marsh, G. (2015). Composites in commercial jets. *Reinforced Plastics*, *59*(4), 190-193.

Mehbudi, P., Baghlani, V., Akbari, J., Bushroa, A., & Mardi, N. (2013). Applying ultrasonic vibration to decrease drilling-induced delamination in GFRP laminates. *Procedia Cirp*, *6*, 577-582.

Meng, F., Tagashira, K., Azuma, R., & Sohma, H. (1994). Role of eta-carbide precipitations in the wear resistance improvements of Fe-12Cr-Mo-V-1.4 C tool steel by cryogenic treatment. *ISIJ international*, *34*(2), 205-210.

Merino-Pérez, J., Hodzic, A., Merson, E., & Ayvar-Soberanis, S. (2015). On the temperatures developed in CFRP drilling using uncoated WC-Co tools Part II: Nanomechanical study of thermally aged CFRP composites. *Composite Structures*, *123*, 30-34.

Merino-Pérez, J. L., Royer, R., Ayvar-Soberanis, S., Merson, E., & Hodzic, A. (2015). On the temperatures developed in CFRP drilling using uncoated WC-Co tools Part I: Workpiece constituents, cutting speed and heat dissipation. *Composite Structures*, *123*, 161-168.

Ming Ming, I. W., Azmi, A. I., Chuan, L. C., & Mansor, A. F. (2018). Experimental study and empirical analyses of abrasive waterjet machining for hybrid carbon/glass fiber-reinforced composites for improved surface quality. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *95*(9), 3809-3822.

Miracle, D. (2005). Metal matrix composites–from science to technological significance. *composites science and technology*, *65*(15-16), 2526-2540.

Mishra, Y. K., Mishra, S., Jayswal, S. C., & Suryavanshi, A. (2022). Inclined laser drilling in glass fiber reinforced plastic using Nd: YAG laser. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, *44*(2), 1-16.

Mohan, N., Kulkarni, S., & Ramachandra, A. (2007). Delamination analysis in drilling process of glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite materials. *Journal of Materials Processing Technology*, *186*(1-3), 265-271.

Molinari, A., Pellizzari, M., Gialanella, S., Straffelini, G., & Stiasny, K. (2001). Effect of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of tool steels. *Journal of Materials Processing Technology*, *118*(1-3), 350-355.

Monaghan, J., & O'reilly, P. (1992). The drilling of an Al/SiC metal-matrix composite. *Journal of Materials Processing Technology*, *33*(4), 469-480.

Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (Ninth ed.). John wiley & sons.

Motorcu, A., Ekici, E., & Yıldırım, E. (2020). Cam Laminat Alüminyum Takviyeli Epoksinin (GLARE) Özel Geometrili Matkaplarla Delinmesi: Delaminasyon Faktörü Üzerine Bir Çalışma. *The International Conference of Materials and Engineering Technology (TICMET'20), Gaziantep*, 32-44.

Mubaraki, B., Bandyopadhyay, S., Fowle, R., Mathew, P., & Heath, P. (1995). Drilling studies of an Al 2 O 3-Al metal matrix composite. *Journal of materials science*, *30*(24), 6273-6280.

Mudhukrishnan, M., Hariharan, P., & Palanikumar, K. (2020). Measurement and analysis of thrust force and delamination in drilling glass fiber reinforced polypropylene composites using different drills. *Measurement*, *149*, 106973.

Murthy, N. H., & Krishna, M. (2010). Performance analysis of cryogenically treated carbide drills in drilling white cast iron. *International Journal of Applied Engineering Research*, *1*(3), 553.

Nassar, M., Arunachalam, R., & Alzebdeh, K. I. (2017). Machinability of natural fiber reinforced composites: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *88*(9), 2985-3004.

Ogawa, K., Aoyama, E., Inoue, H., Hirogaki, T., Nobe, H., Kitahara, Y., Katayama, T., & Gunjima, M. (1997). Investigation on cutting mechanism in small diameter drilling for GFRP (thrust force and surface roughness at drilled hole wall). *Composite Structures*, *38*(1-4), 343-350.

Okay, F. (2020). Alüminyum matrisli bor karbür ve karbon nanofiber takviyeli hibrit kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması. *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri ENstitüsü, Doktora Tezi, Kastamonu*.

Okay, F., & Islak, S. (2021). Alüminyum Matrisli Bor Karbür Takviyeli Kompozit Malzemeye Uygulanan Delik Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin Etkileri. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, *2*(1), 14-22.

Palanikumar, K. (2011). Experimental investigation and optimisation in drilling of GFRP composites. *Measurement*, *44*(10), 2138-2148.

Palanikumar, K., & Davim, J. P. (2007). Mathematical model to predict tool wear on the machining of glass fibre reinforced plastic composites. *Materials & Design*, *28*(7), 2008-2014.

Pamukoğlu, U., & Göloğlu, C. (2004). Delik İşlemleri için Maliyet Merkezli Bir Sistem. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *10*(1), 31-39.

Panchagnula, K. K., & Palaniyandi, K. (2018). Drilling on fiber reinforced polymer/nanopolymer composite laminates: a review. *Journal of materials research and technology*, *7*(2), 180-189.

Pande, K., Peshwe, D., & Kumar, A. (2012). Effect of the cryogenic treatment on polyamide and optimization of its parameters for the enhancement of wear performance. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, *65*(3), 313-319.

Park, K. Y., Choi, J. H., & Lee, D. G. (1995). Delamination-free and high efficiency drilling of carbon fiber reinforced plastics. *Journal of composite materials*, *29*(15), 1988-2002.

Patel, D., & Verma, R. (2015). Analysis of drilling tool life-a review. *International journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, *4*(1), 523.

Pawar, O. A., Gaikhe, Y. S., Tewari, A., Sundaram, R., & Joshi, S. S. (2015). Analysis of hole quality in drilling GLARE fiber metal laminates. *Composite Structures*, *123*, 350-365.

Pereloma, E., & Edmonds, D. V. (2012). transformations, high strength steels, modelling and advanced analytical techniques.

Periyasamy, R., Gopinath, V., Selvakumar, G., Kingslly, R., & Logeshwaran, S. (2021). Evaluation of the effect of cryogenic treatment of HSS drills in drilling SS310. *Materials Today: Proceedings*, *37*, 449-452.

Podgornik, B., Leskovšek, V., & Vižintin, J. (2009). Influence of deep-cryogenic treatment on tribological properties of P/M high-speed steel. *Materials and Manufacturing Processes*, *24*(7-8), 734-738.

Poomari, A., Mohan, B., Rajadurai, A., & Senthilkumar, A. (2012). Study on tool life of coated, cryogenically treated and coated and plain cermet cutting tools while machining steel. *Eur J Sci Res*, *85*(3), 394-407.

Porter, D., & Easterling, K. Phase transformations in metals and alloys', 2 nd edn; 1992, London, UK. *Chapman and Hall*.

Preciado, M., Bravo, P., & Alegre, J. (2006). Effect of low temperature tempering prior cryogenic treatment on carburized steels. *Journal of Materials Processing Technology*, *176*(1-3), 41-44.

Ramesh, B., Elayaperumal, A., Satishkumar, S., Kumar, A., Jayakumar, T., & Dinakaran, D. (2016). Influence of cooling on the performance of the drilling process of glass fibre reinforced epoxy composites. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, *16*, 135-146.

Ramji, B., Murthy, H. N., & Krishna, M. (2010). Performance study of cryo treated HSS drills in drilling cast iron. *International Journal of Engineering Science and Technology*, *2*(7), 2530-2536.

Ramkumar, J., Aravindan, S., Malhotra, S., & Krishnamurthy, R. (2004). An enhancement of the machining performance of GFRP by oscillatory assisted drilling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *23*(3), 240-244.

Ramulu, M., & Arola, D. (1993). Water jet and abrasive water jet cutting of unidirectional graphite/epoxy composite. *Composites*, *24*(4), 299-308.

Ramulu, M., Arola, D., & Wang, D. (1996). Chip formation in orthogonal trimming of graphite/epoxy composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *27*(2), 121-133.

Rana, S., & Fangueiro, R. (2016). *Advanced composite materials for aerospace engineering: processing, properties and applications*. Woodhead Publishing.

Ranganathan, S., Senthilvelan, T., & Gopalakannan, S. (2012). Multiple performance optimization in drilling of GFRP composites using grey analysis. IEEE-international conference on advances in engineering, science and management (ICAESM-2012),

Rao, G. V. G., Mahajan, P., & Bhatnagar, N. (2007). Machining of UD-GFRP composites chip formation mechanism. *Composites science and technology*, *67*(11-12), 2271-2281.

Reddy, A. R., Reddy, K. S. B., Hussain, P., Reddy, B. S., & Babu, S. S. (2013). An experimental study using design of experiment method to compare the performance of solid carbide and HSS drills in drilling of GFRP composite material. *Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res*.

Reitz, W., & Pendray, J. (2001). Cryoprocessing of materials: a review of current status.

Ross, P. J. (1996). *Taguchi techniques for quality engineering: loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design*.

Rubio, J. C., Abrao, A., Faria, P., Correia, A. E., & Davim, J. P. (2008). Effects of high speed in the drilling of glass fibre reinforced plastic: evaluation of the delamination factor. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *48*(6), 715-720.

Ruh, R., Palazotto, A. N., & Watt, G. (1988). Introduction to ceramic matrix composites in aerospace applications. *Journal of Aerospace Engineering*, *1*(2), 65-73.

Safety, A. (2011). Status of FAA's actions to oversee the safety of composite airplanes. *Aviation Safety (GAO)*.

Sahin, Y. (2006). Kompozit malzemelere giriş. *Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. AŞ*, 424-430.

Sanjay, M., Arpitha, G., & Yogesha, B. (2015). Study on mechanical properties of natural-glass fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. *Materials Today: Proceedings*, *2*(4-5), 2959-2967.

Sardinas, R. Q., Reis, P., & Davim, J. P. (2006). Multi-objective optimization of cutting parameters for drilling laminate composite materials by using genetic algorithms. *composites science and technology*, *66*(15), 3083-3088.

Senthilkumar, D., & Rajendran, I. (2011). Influence of shallow and deep cryogenic treatment on tribological behavior of En 19 steel. *Journal of Iron and Steel Research, International*, *18*(9), 53-59.

Sheehan, J. E. (1987). *Engineered Materials Handbook, Vol. 21: Composites.* . ASM International, Metals Park, OH, USA.

Sheikh-Ahmad, J. Y. (2009). *Machining of polymer composites*. Springer.

Shirbhate, A., Deshpande, N., & Puri, Y. (2012). Effect of cryogenic treatment on cutting torque and surface finish in drilling operation with AISI M2 high speed steel. *Int. J. Mech. Eng. Rob. Res*, *1*(2), 50-58.

Shyha, I., Aspinwall, D., Soo, S. L., & Bradley, S. (2009). Drill geometry and operating effects when cutting small diameter holes in CFRP. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *49*(12-13), 1008-1014.

Singh, D., & Rao, P. V. (2007). A surface roughness prediction model for hard turning process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *32*(11), 1115-1124.

Singh, I., & Bhatnagar, N. (2006). Drilling of uni-directional glass fiber reinforced plastic (UD-GFRP) composite laminates. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *27*(9-10), 870-876.

Singh, I., Bhatnagar, N., & Viswanath, P. (2008). Drilling of uni-directional glass fiber reinforced plastics: experimental and finite element study. *Materials & Design*, *29*(2), 546-553.

Singh, L. P., & Singh, J. (2012). Effects of cryogenic treatment on the cutting tool durability. *International Journal of Design and Manufacturing Technology (IJDMT)*, *3*(1), 11-23.

Singh, S. (2012). Mechanisms of bainite transformation in steels. In *Phase Transformations in Steels* (pp. 385-416). Elsevier.

Smith, W. F. (2001). Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri: cilt 2: demir dışı alaşımlar. Nobel Yayın Dağıtım.

SreeramaReddy, T., Sornakumar, T., VenkataramaReddy, M., & Venkatram, R. (2009). Machinability of C45 steel with deep cryogenic treated tungsten carbide cutting tool inserts. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, *27*(1), 181-185.

Şahin, N. (2008). Talaşlı üretim I. Sempozyumu, Bayt. Ltd. Şti., Ankara, Türkiye.

Şahin, Y. (2015). *Kompozit malzemelere giriş*. Seçkin Yayınevi, Ankara.

Şanlıtürk, S. (2020). Al katmanlar kullanılarak üretilmiş fiber metal tabakalı kompozitlerin delinmesinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, Türkiye*.

Taguchi, G. (1987). System of experimental design, quality resources (Vol. 108).

Taya, M., & Arsenault, R. J. (2016). *Metal matrix composites: thermomechanical behavior*. Elsevier.

Tekaslan, Ö., Gerger, N., & Şeker, U. (2008). AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *10*(2), 3-12.

Teti, R. (2002). Machining of composite materials. *CIRP Annals*, *51*(2), 611-634.

Thakur, D., Ramamoorthy, B., & Vijayaraghavan, L. (2008). Influence of different post treatments on tungsten carbide–cobalt inserts. *Materials letters*, *62*(28), 4403-4406.

Tian, J., Wu, F., Zhang, P., Lin, B., Liu, T., & Liu, L. (2019). The coupling effect and damage analysis when drilling GFRP laminates using candlestick drills. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *102*(1), 519-531.

Tinga, S. (2019). AA6061 Matrisli B4C ve SiC Takviyeli Kompozit Malzemelerin Mekanik ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.*

Tosun, G., & Muratoglu, M. (2004). The drilling of an Al/SiCp metal-matrix composites. Part I: microstructure. *composites science and technology*, *64*(2), 299-308.

Tönshoff, H., Spintig, W., König, W., & Neises, A. (1994). Machining of holes developments in drilling technology. *CIRP Annals*, *43*(2), 551-561.

Tsao, C. (2012). Effect of induced bending moment (IBM) on critical thrust force for delamination in step drilling of composites. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *59*, 1-5.

Tsao, C., & Hocheng, H. (2005). Computerized tomography and C-Scan for measuring delamination in the drilling of composite materials using various drills. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *45*(11), 1282-1287.

Tsao, C., & Hocheng, H. (2007). Parametric study on thrust force of core drill. *Journal of Materials Processing Technology*, *192*, 37-40.

Tsao, C., & Hocheng, H. (2008). Evaluation of thrust force and surface roughness in drilling composite material using Taguchi analysis and neural network. *Journal of Materials Processing Technology*, *203*(1-3), 342-348.

Tsao, C., Hocheng, H., & Chen, Y. (2012). Delamination reduction in drilling composite materials by active backup force. *CIRP annals*, *61*(1), 91-94.

Upputuri, H. B., & Nimmagadda, V. S. (2020). Optimization of drilling process parameters used in machining of glass fiber reinforced epoxy composite. *Materials Today: Proceedings*, *23*, 594-599.

Üstün, T., & Turgut, Y. (2020). Farklı Delik Delme İşlemlerinde Maliyet Hesabı İçin Program Geliştirme. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, *36*(3), 491-503.

Vadivel, K., & Rudramoorthy, R. (2009). Performance analysis of cryogenically treated coated carbide inserts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *42*(3), 222-232.

Velayudham, A., Krishnamurthy, R., & Soundarapandian, T. (2005). Evaluation of drilling characteristics of high volume fraction fibre glass reinforced polymeric composite. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *45*(4-5), 399-406.

Wang, C.-Y., Chen, Y.-H., An, Q.-L., Cai, X.-J., Ming, W.-W., & Chen, M. (2015). Drilling temperature and hole quality in drilling of CFRP/aluminum stacks using diamond coated drill. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, *16*(8), 1689-1697.

Wang, H., Zhang, X., & Duan, Y. (2018). Effects of drilling area temperature on drilling of carbon fiber reinforced polymer composites due to temperature-dependent properties. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *96*(5), 2943-2951.

Wanhill, R. (2017). Carbon fibre polymer matrix structural composites. In *Aerospace materials and material technologies* (pp. 309-341). Springer.

Wells, M., & Lherbier, L. (1980). Processing and Properties of High-Speed Tool Steels. *Las Vegas, Nev, 26-28 Feb. 1980*, 1980.

Wern, C., Ramulu, M., & Colligan, K. (1993). A study of the surface texture of composite drilled holes. *Journal of Materials Processing Technology*, *37*(1-4), 373-389.

Wonderly, C., Grenestedt, J., Fernlund, G., & Cěpus, E. (2005). Comparison of mechanical properties of glass fiber/vinyl ester and carbon fiber/vinyl ester composites. *Composites Part B: Engineering*, *36*(5), 417-426.

Xu, J., An, Q., & Chen, M. (2014). A comparative evaluation of polycrystalline diamond drills in drilling high-strength T800S/250F CFRP. *Composite Structures*, *117*, 71-82.

Xu, J., Lin, T., & Davim, J. P. (2022). On the Machining Temperature and Hole Quality of CFRP Laminates When Using Diamond-Coated Special Drills. *Journal of Composites Science*, *6*(2), 45.

Xu, X. X., Mo, Y. L., Liu, C. S., & Zhao, B. (2009). Drilling force of SiC particle reinforced aluminum-matrix composites with ultrasonic vibration. Key Engineering Materials.

Yağmur, S. (2011). Delik Delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan sıcaklığın deneysel olarak incelenmesi. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara*.

Yenigün, B. (2018). Elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin mekanik özellikler üzerine etkilerinin araştırılması, *Doktora Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, Türkiye*.

Yong, A., Seah, K., & Rahman, M. (2006). Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide tools in turning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, *46*(15), 2051-2056.

Zeng, J., Olsen, J., Olsen, C., & Guglielmetti, B. (2005). Taper-free abrasive waterjet cutting with a tilting head. Proceedings of the 2005 American Waterjet Conference,

Zhang, Z.-z., Zhang, H.-j., Guo, F., Wang, K., & Jiang, W. (2009). Enhanced wear resistance of hybrid PTFE/Kevlar fabric/phenolic composite by cryogenic treatment. *Journal of materials science*, *44*(22), 6199-6205.

Zhirafar, S., Rezaeian, A., & Pugh, M. (2007). Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of 4340 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, *186*(1-3), 298-303.

EKLER

EK-1. Kesme kuvvetleri (Fx)

SN	Yapılan İşlem	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dev)	Uç açısı (°)	Helis açısı (°)	Boşluk açısı (°)	Fx (N)
1	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	26	8	24,7317
2	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	33	10	22,8143
3	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	40	12	24,7074
4	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	26	8	11,2392
5	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	33	10	12,4037
6	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	40	12	12,1822
7	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	26	8	6,6031
8	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	33	10	7,0134
9	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	40	12	6,8336
10	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	26	10	18,7043
11	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	33	12	14,9293
12	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	40	8	14,6356
13	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	26	10	9,2059
14	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	33	12	11,2505
15	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	40	8	7,4985
16	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	26	10	12,6843
17	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	33	12	13,3645
18	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	40	8	13,0963
19	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	26	8	23,8131
20	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	33	10	24,3839
21	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	40	12	24,0416
22	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	26	8	12,8076
23	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	33	10	11,6880
24	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	40	12	12,1526
25	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	26	8	5,8876
26	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	33	10	6,6289
27	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	40	12	7,3088
28	Kriyojenikli	800	0,03	128	26	12	10,1214
29	Kriyojenikli	800	0,03	128	33	8	11,4071
30	Kriyojenikli	800	0,03	128	40	10	11,7683
31	Kriyojenikli	1200	0,01	138	26	12	18,0522
32	Kriyojenikli	1200	0,01	138	33	8	18,6635
33	Kriyojenikli	1200	0,01	138	40	10	17,5465
34	Kriyojenikli	1800	0,02	118	26	12	8,2924
35	Kriyojenikli	1800	0,02	118	33	8	5,9656
36	Kriyojenikli	1800	0,02	118	40	10	5,7980
37	Kriyojenikli	800	0,03	138	26	12	13,4697
38	Kriyojenikli	800	0,03	138	33	8	12,099
39	Kriyojenikli	800	0,03	138	40	10	10,5458
40	Kriyojenikli	1200	0,01	118	26	12	18,1043
41	Kriyojenikli	1200	0,01	118	33	8	18,0986

42	Kriyojenikli	1200	0,01	118	40	10	18,3057
43	Kriyojenikli	1800	0,02	128	26	12	6,6868
44	Kriyojenikli	1800	0,02	128	33	8	7,9715
45	Kriyojenikli	1800	0,02	128	40	10	8,6675
46	Kriyojenikli	800	0,02	118	26	10	14,7279
47	Kriyojenikli	800	0,02	118	33	12	11,9114
48	Kriyojenikli	800	0,02	118	40	8	12,2207
49	Kriyojenikli	1200	0,03	128	26	10	5,8417
50	Kriyojenikli	1200	0,03	128	33	12	4,9387
51	Kriyojenikli	1200	0,03	128	40	8	7,7327
52	Kriyojenikli	1800	0,01	138	26	10	11,0901
53	Kriyojenikli	1800	0,01	138	33	12	10,2323
54	Kriyojenikli	1800	0,01	138	40	8	11,3687

EK-2. Ortalama yüzey pürüzlülükleri (Ra)

SN	Yapılan İşlem	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dev)	Uç açısı (°)	Helis açısı (°)	Boşluk açısı (°)	Ra (µm)
1	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	26	8	1,6701
2	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	33	10	1,6853
3	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	40	12	1,6747
4	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	26	8	1,8991
5	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	33	10	1,9994
6	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	40	12	1,9667
7	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	26	8	2,1601
8	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	33	10	2,5001
9	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	40	12	2,5667
10	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	26	10	1,6602
11	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	33	12	1,9333
12	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	40	8	1,6903
13	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	26	10	2,1801
14	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	33	12	2,2902
15	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	40	8	2,1377
16	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	26	10	1,9502
17	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	33	12	1,9995
18	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	40	8	1,9641
19	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	26	8	1,2916
20	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	33	10	1,5709
21	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	40	12	1,6667
22	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	26	8	1,8303
23	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	33	10	1,9711
24	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	40	12	2,0301
25	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	26	8	2,4333
26	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	33	10	2,2857
27	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	40	12	2,4951
28	Kriyojenikli	800	0,03	128	26	12	1,7666

29	Kriyojenikli	800	0,03	128	33	8	1,9417
30	Kriyojenikli	800	0,03	128	40	10	1,9105
31	Kriyojenikli	1200	0,01	138	26	12	1,6422
32	Kriyojenikli	1200	0,01	138	33	8	1,5267
33	Kriyojenikli	1200	0,01	138	40	10	1,6961
34	Kriyojenikli	1800	0,02	118	26	12	2,0969
35	Kriyojenikli	1800	0,02	118	33	8	2,0066
36	Kriyojenikli	1800	0,02	118	40	10	2,0008
37	Kriyojenikli	800	0,03	138	26	12	2,0028
38	Kriyojenikli	800	0,03	138	33	8	1,8473
39	Kriyojenikli	800	0,03	138	40	10	2,1301
40	Kriyojenikli	1200	0,01	118	26	12	1,6711
41	Kriyojenikli	1200	0,01	118	33	8	1,5556
42	Kriyojenikli	1200	0,01	118	40	10	1,6149
43	Kriyojenikli	1800	0,02	128	26	12	2,0625
44	Kriyojenikli	1800	0,02	128	33	8	2,1071
45	Kriyojenikli	1800	0,02	128	40	10	1,9964
46	Kriyojenikli	800	0,02	118	26	10	1,6066
47	Kriyojenikli	800	0,02	118	33	12	1,6976
48	Kriyojenikli	800	0,02	118	40	8	1,7222
49	Kriyojenikli	1200	0,03	128	26	10	2,1084
50	Kriyojenikli	1200	0,03	128	33	12	2,1877
51	Kriyojenikli	1200	0,03	128	40	8	2,1011
52	Kriyojenikli	1800	0,01	138	26	10	1,7303
53	Kriyojenikli	1800	0,01	138	33	12	1,8841
54	Kriyojenikli	1800	0,01	138	40	8	1,9011

EK-3. Delaminasyon faktörleri

SN	Yapılan İşlem	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dev)	Uç açısı (°)	Helis açısı (°)	Boşluk açısı (°)	Delaminasyon Faktörü
1	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	26	8	1,0238
2	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	33	10	1,0294
3	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	40	12	1,0353
4	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	26	8	1,0318
5	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	33	10	1,0387
6	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	40	12	1,0471
7	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	26	8	1,0447
8	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	33	10	1,0605
9	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	40	12	1,0567
10	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	26	10	1,0361
11	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	33	12	1,0382
12	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	40	8	1,0467
13	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	26	10	1,0411
14	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	33	12	1,0503
15	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	40	8	1,0556

16	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	26	10	1,0191
17	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	33	12	1,0231
18	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	40	8	1,0243
19	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	26	8	1,0201
20	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	33	10	1,0268
21	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	40	12	1,0327
22	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	26	8	1,0302
23	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	33	10	1,0493
24	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	40	12	1,0471
25	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	26	8	1,0409
26	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	33	10	1,0479
27	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	40	12	1,0569
28	Kriyojenikli	800	0,03	128	26	12	1,0441
29	Kriyojenikli	800	0,03	128	33	8	1,0496
30	Kriyojenikli	800	0,03	128	40	10	1,0584
31	Kriyojenikli	1200	0,01	138	26	12	1,0151
32	Kriyojenikli	1200	0,01	138	33	8	1,0205
33	Kriyojenikli	1200	0,01	138	40	10	1,0254
34	Kriyojenikli	1800	0,02	118	26	12	1,0199
35	Kriyojenikli	1800	0,02	118	33	8	1,0332
36	Kriyojenikli	1800	0,02	118	40	10	1,0352
37	Kriyojenikli	800	0,03	138	26	12	1,0405
38	Kriyojenikli	800	0,03	138	33	8	1,0618
39	Kriyojenikli	800	0,03	138	40	10	1,0558
40	Kriyojenikli	1200	0,01	118	26	12	1,0143
41	Kriyojenikli	1200	0,01	118	33	8	1,0206
42	Kriyojenikli	1200	0,01	118	40	10	1,0226
43	Kriyojenikli	1800	0,02	128	26	12	1,0201
44	Kriyojenikli	1800	0,02	128	33	8	1,0296
45	Kriyojenikli	1800	0,02	128	40	10	1,0386
46	Kriyojenikli	800	0,02	118	26	10	1,0349
47	Kriyojenikli	800	0,02	118	33	12	1,0433
48	Kriyojenikli	800	0,02	118	40	8	1,0381
49	Kriyojenikli	1200	0,03	128	26	10	1,0421
50	Kriyojenikli	1200	0,03	128	33	12	1,0461
51	Kriyojenikli	1200	0,03	128	40	8	1,0523
52	Kriyojenikli	1800	0,01	138	26	10	1,0127
53	Kriyojenikli	1800	0,01	138	33	12	1,0217
54	Kriyojenikli	1800	0,01	138	40	8	1,0242

EK-4. İşlem süreleri

Deney No	Taguchi Sıra No	Yapılan işlem	Devir (dev/dk)	İlerleme (mm/dev)	Uç açısı (°)	Helis açısı (°)	Boşluk açısı (°)	İşlem süresi (sn)
D1	1	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	26	8	46
D2	2	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	33	10	47

D3	3	Kriyojeniksiz	800	0,01	118	40	12	45
D4	19	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	26	8	43
D5	20	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	33	10	45
D6	21	Kriyojeniksiz	800	0,01	128	40	12	43
D7	10	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	26	10	25
D8	11	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	33	12	25
D9	12	Kriyojeniksiz	800	0,02	138	40	8	26
D10	46	Kriyojenikli	800	0,02	118	26	10	26
D11	47	Kriyojenikli	800	0,02	118	33	12	22
D12	48	Kriyojenikli	800	0,02	118	40	8	24
D13	28	Kriyojenikli	800	0,03	128	26	12	19
D14	29	Kriyojenikli	800	0,03	128	33	8	16
D15	30	Kriyojenikli	800	0,03	128	40	10	16
D16	37	Kriyojenikli	800	0,03	138	26	12	16
D17	38	Kriyojenikli	800	0,03	138	33	8	17
D18	39	Kriyojenikli	800	0,03	138	40	10	18
D19	31	Kriyojenikli	1200	0,01	138	26	12	30
D20	32	Kriyojenikli	1200	0,01	138	33	8	31
D21	33	Kriyojenikli	1200	0,01	138	40	10	29
D22	40	Kriyojenikli	1200	0,01	118	26	12	31
D23	41	Kriyojenikli	1200	0,01	118	33	8	29
D24	42	Kriyojenikli	1200	0,01	118	40	10	30
D25	4	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	26	8	17
D26	5	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	33	10	15
D27	6	Kriyojeniksiz	1200	0,02	128	40	12	15
D28	22	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	26	8	17
D29	23	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	33	10	15
D30	24	Kriyojeniksiz	1200	0,02	138	40	12	15
D31	13	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	26	10	10
D32	14	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	33	12	23
D33	15	Kriyojeniksiz	1200	0,03	118	40	8	14
D34	49	Kriyojenikli	1200	0,03	128	26	10	10
D35	50	Kriyojenikli	1200	0,03	128	33	12	10
D36	51	Kriyojenikli	1200	0,03	128	40	8	12
D37	16	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	26	10	22
D38	17	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	33	12	21
D39	18	Kriyojeniksiz	1800	0,01	128	40	8	22
D40	52	Kriyojenikli	1800	0,01	138	26	10	20
D41	53	Kriyojenikli	1800	0,01	138	33	12	20
D42	54	Kriyojenikli	1800	0,01	138	40	8	19
D43	34	Kriyojenikli	1800	0,02	118	26	12	11
D44	35	Kriyojenikli	1800	0,02	118	33	8	9
D45	36	Kriyojenikli	1800	0,02	118	40	10	10
D46	43	Kriyojenikli	1800	0,02	128	26	12	12
D47	44	Kriyojenikli	1800	0,02	128	33	8	13
D48	45	Kriyojenikli	1800	0,02	128	40	10	10
D49	7	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	26	8	7
D50	8	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	33	10	11
D51	9	Kriyojeniksiz	1800	0,03	138	40	12	7
D52	25	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	26	8	6
D53	26	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	33	10	7
D54	27	Kriyojeniksiz	1800	0,03	118	40	12	7

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Şükrü Adin
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	:	Fırat Üniversitesi, Merkez, Elâzığ	2004
Yüksek Lisans	:	Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	2016
Doktora	:		

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

SCI yayınlar

1- Adin, M. Ş., & Kılıçkap, E. (2021). Strength of double-reinforced adhesive joints. Materials Testing, 63(2), 176-181.

2- Adin, M. Ş., & Okumuş, M. (2021). Investigation of Microstructural and Mechanical Properties of Dissimilar Metal Weld Between AISI 420 and AISI 1018 Steels. Arabian Journal for Science and Engineering. https://doi.org/10.1007/s13369-021-06243-w

3- Adin, H., & Adin, M. Ş. (2022). Effect of particles on tensile and bending properties of jute epoxy composites. Materials Testing, 64(3), 401-411.

ESCI yayınlar

1- Adin, M. Ş., Altun, Ş., & Adin, M. Ş. (2021). Effect of using bioethanol as fuel on start-up and warm-up exhaust emissions from a diesel power generator. International Journal of Ambient Energy. https://doi.org/10.1080/01430750.2021.1977387

TR Dizin yayınları

1- Adin, M. Ş., & İşcan, B. (2022) Optimization of process parameters of medium carbon steel joints joined by MIG welding using Taguchi method. European Mechanical Science, 6(1), 17-26.

2- Adin, H., Sağlam, Z., & Adin, M. Ş. (2021). Numerical investigation of fatigue behavior of non-patched and patched aluminum/composite plates. European Mechanical Science, 5(4), 168-176.

3- Adin, H., Yıldız, B., & Adin, M. Ş. (2021) Numerical Investigation of Fatigue Behaviors of Non-Patched and Patched Aluminum Pipes, 11(1), 60-65.

Ulusal Yayınlar

1- Adin, H., & Adin, M. Ş. (2021). Numerical analysis of damaged helical gear wheel. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 11(1), 43-56.

2- Adin, H., Doğan, A., & Adin, M. Ş. (2021). Şehir içi doğalgaz borularındaki kaynak hatalarının tahribatsız ve tahribatlı muayene yöntemleri ile incelenmesi. Journal of Scientific, Technology and Engineering Research, 2(1), 46-57.

Sempozyum yayınları

1- Adin, H., Adin, M. Ş., & Akgül, S. (2021). Araçlarda kullanılan fren diskinin sonlu elemanlar yöntemiyle hasar analizi, *ISENS 2021*.

2- Sağlam, Z., Yıldız, B., Adin, M. Ş., Adin, H., & Seven, B. (2018). Yaprak yayların nümerik metotlar yardımıyla hasar analizi, *IETS 2018*.

3- Yıldız, B., Adin, M. Ş., İşcan, B., & Seven, B. (2018). Motorlarda kullanılan kam milinin nümerik hasar analizi, *IETS 2018*.

4- Yıldız, B., Adin, M. Ş., Adin, H., & İşcan, B. (2018). Daire testere makinesinde kullanılan milin nümerik hasar analizi, *IETS 2018*.

5- Adin, M. Ş., Ergün, R. K., & Adin, H. (2018). Partikül takviyeli yapıştırıcılarla üretilmiş jute kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi, *IETS 2018*.