



**DEĞİŞTİRİLEBİLİR UÇLU MATKAPLARIN (U-DRILL) FARKLI
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA UYGULANABİLİRLİĞİNİN
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Aslan AKDULUM

**DOKTORA TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2022

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Aslan AKDULUM

02/12/2022

DEĞİŞTİRİLEBİLİR UÇLU MATKAPLARIN (U-DRILL) FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA UYGULANABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

(Doktora Tezi)

Aslan AKDULUM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2022

ÖZET

U matkaplar, değiştirilebilir uçlu kesici takımlardır. Delik delme takımları içerisinde U matkapların pazar payının %53 olduğu ifade edilmektedir. Buna karşın literatür çalışmaları incelendiğinde, U matkap özelliklerinin anlaşılmasında, yapılan çalışmaların yeterli düzeyde olmadığı görülmüştür. Yeteri kadar özelliği bilinmeyen takım ile yapılan uygulamalar ise zaman kaybettirmekte ve maliyeti artırmaktadır. Aynı nominal çapa sahip U matkaplar, özdeş kesici uç kullanmalarına rağmen farklı uzunluk/çap oranlarında üretilmektedirler. Bazılarında ise merkezi ucun bulunduğu talaş tahliye kanalına ekstra soğutucu deliği açılmaktadır. Bu çalışma ile farklı özellikteki U matkapların, alüminyum alaşımlarının delinmesine etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Farklı U matkapların çıktı yanıtlarına (itme kuvveti, tork, iş mili yükü, yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık, ses seviyesi, çaptan sapma, dairesellik ve silindiriklikten sapma, kesici uç ve talaş görüntüleri) olan etkilerini incelemek amacıyla CNC dik işleme merkezinde delik delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde AA 2024-T351, AA 6061-T651 ve AA 7075-T651 malzemeleri nominal çapı 20 mm olan U matkaplar ile ıslak ve kuru şartlarda olmak üzere 40 mm derinliğinde delinmiştir. Üç adet ilerleme miktarı (0,06-0,09-0,12 mm/dev), üç adet kesme hızı (200-250-300 m/dak) ve 4 farklı U matkap (3D-4D-4De-5D) kullanılmıştır. Çıktılar, normal ve ana etki grafikleri, normallik testleri, varyans ve regresyon analizleri ile incelenmiştir. Sonuç olarak çıktı yanıtları üzerinde U matkaplarda bulunan denge açısı, talaş açısı, helis açısı, uzunluk/çap oranı ve ekstra soğutucu deliğin önemli etkilere sebep olduğu tespit edilmiştir. Delme işleminde merkezi ve çevresel uçların farklı dinamik etkilere neden olduğu belirlenmiştir. Ekstra soğutucu deliğe sahip olan matkap 4De ile itme kuvveti en yüksek elde edilirken iş mili yükü, yüzey pürüzlülüğü, silindiriklikten sapma ve sıcaklık değerleri en düşük olarak meydana gelmiştir. AA 2024-T351 ve AA 7075-T651 malzemelerinin delinmesinde 4De kullanıldığında, çoğunlukla tırlamalar görülmüştür. Fakat tırlama, AA 6061-T651 malzemesi için gözlenmemiştir. AA 6061-T651 malzemesinin yüksek kesme hızı ve yüksek ilerleme miktarı değerlerinde dışarıdan soğutma veya kuru şartlarda delinmesinin uygun olmadığı değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : AA 2024, AA 6061, AA 7075, U matkap, İşlenebilirlik
Sayfa Adedi : 170
Danışman : Doç. Dr. Yunus KAYIR

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE APPLICABILITY OF INDEXABLE INSERT DRILLS (U-DRILL) IN DIFFERENT ALUMINUM ALLOYS

(Ph. D. Thesis)

Aslan AKDULUM

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2022

ABSTRACT

U drills are indexable insert cutting tools. It is stated that the market share of U drills among drilling tools is 53%. When the literature studies were examined, it was discovered that they were insufficient in understanding the U drill properties. On the other hand, applications made with a tool whose features are not known enough waste time and increase the cost. U drills with the same nominal diameter are produced in different length/diameter ratios, although they use identical inserts. In some cases, an extra coolant hole is opened in the chip evacuation channel where the central insert is located. This study is aimed at examining the effects of U drills with different properties on the drilling of aluminum alloys. Drilling experiments in a CNC vertical machining center were carried out to examine the effects of different U drills on output responses (thrust force, torque, spindle load, surface roughness, temperature, noise level, deviation from diameter, circularity, and cylindricity, insert and chip images). In the experiments, AA 2024-T351, AA 6061-T651, and AA 7075-T651 materials were drilled at a depth of 40 mm in wet and dry conditions with U drills with a nominal diameter of 20 mm. Three feed rates (0.06-0.09-0.12 mm/rev), three cutting speeds (200-250-300 m/min), and four different U drills (3D-4D-4De-5D) were used. Outputs were analyzed with normal and main effect plots, tests of normality, analysis of variance, and regression. As a result, it has been determined that balance angle, rake angle, helix angle, length/diameter ratio, and the extra coolant hole in U drills have significant effects on output responses. It has been determined that the central and peripheral tips cause different dynamic effects in the drilling process. With the drill 4De, which has an extra-cool hole, the thrust force was the highest, while the spindle load, surface roughness, deviation from cylindricity, and temperature values were the lowest. When 4De is used in drilling AA 2024-T351 and AA 7075-T651 materials, chatter is mostly seen. However, chatter was not observed for AA 6061-T651 material. It has been evaluated that AA 6061-T651 material is not suitable for drilling under external cooling or dry conditions at high cutting speeds and high feed rate values.

Science Code	: 91438
Key Words	: AA 2024, AA 6061, AA 7075, U drill, Machinability
Page Number	: 170
Supervisor	: Assist. Prof. Dr. Yunus KAYIR

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince her türlü destek ve katkılarıyla çalışmamı yönlendiren çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Yunus KAYIR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Değerli görüş ve katkılarını esirgemeyen TİK Kurulu üyeleri Prof. Dr. Hakan DİLİPAK ve Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ'a teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca atölyelerin kullanımı, ölçümlerin yapılması vb. katkılarından dolayı İmalat Mühendisliği, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü çalışanlarına ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan kıymetli aileme teşekkür ederim.

Bu çalışma, 07/2019-08 Proje kodu ile Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiş olup, bu desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. U Matkaplar	3
2.2. Alüminyum Alaşımları.....	6
2.2.1. AA 2024-T351 alüminyum alaşımı	7
2.2.2. AA 6061-T651 alüminyum alaşımı	7
2.2.3. AA 7075-T651 alüminyum alaşımı	7
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	9
3.1. U Matkap ile İlgili Çalışmalar.....	9
3.2. Alüminyum Alaşımlarının Delinmesi ile İlgili Çalışmalar	16
3.3. Literatürün genel değerlendirilmesi	22
4. MATERYAL VE METOT	23
4.1. Deney Tasarımı	23
4.2. Deneylerde Kullanılan İş Parçası Malzemeleri	24
4.3. İş Parçası Bağlama Aparatı	27
4.4. Takım Tezgâhı	28
4.5. Kesici Takımlar	30
4.6. Ölçme Yöntemleri	32
4.6.1. Dinamometre ile kuvvet ölçümleri.....	33
4.6.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri.....	33
4.6.3. Geometrik ve boyutsal ölçümler	34
4.6.4. Sıcaklık ölçümü.....	35

	Sayfa
4.6.5. İş mili yükü	36
4.6.6. Ses seviyesi ölçümü	37
4.6.7. Kesici uç, kapak ve talaş görüntüleri	38
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	39
5.1. İtme Kuvvetinin Değerlendirilmesi.....	39
5.1.1. Uzunluk/çap oranına göre Fz'nin değişimi	40
5.1.2. İlerleme miktarına göre Fz'nin değişimi	43
5.1.3. Kesme hızına göre Fz'nin değişimi	44
5.1.4. Fz'nin zamana bağlı değişimi	46
5.1.5. Fz için varyans ve regresyon analizleri	50
5.2. Tork'un Değerlendirilmesi.....	54
5.2.1. Uzunluk/çap oranına göre Mz'nin değişimi.....	54
5.2.2. İlerleme miktarına göre Mz'nin değişimi	56
5.2.3. Kesme hızına göre Mz'nin değişimi	57
5.2.4. Tork'un zamana göre değişimi.....	59
5.2.5. Mz için varyans ve regresyon analizleri.....	63
5.3. İş Mili Yüğü 'nün Değerlendirilmesi	66
5.3.1. Uzunluk/çap oranına göre İMY'nin değişimi	68
5.3.2. İlerleme miktarına göre İMY'nin değişimi	70
5.3.3. Kesme hızına göre İMY değerlerinin değişimi	71
5.3.4. İMY için varyans ve regresyon analizleri	73
5.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi	76
5.4.1. Uzunluk/çap oranına göre Ra'nın değişimi.....	77
5.4.2. İlerleme miktarına göre Ra'nın değişimi	80
5.4.3. Kesme hızına göre Ra'nın değişimi	81
5.4.4. Delik derinliği ile Ra'nın değişimi.....	83
5.4.5. Ra için varyans ve regresyon analizleri	86

	Sayfa
5.5. Çaptan Sapmanın Değerlendirilmesi.....	88
5.5.1. Uzunluk/çap oranına göre Çs'nin değişimi.....	89
5.5.2. İlerleme miktarına göre Çs'nin değişimi.....	93
5.5.3. Kesme hızına göre Çs'nin değişimi	93
5.5.4. Delik derinliği ile Çs'nin değişimi.....	95
5.5.5. Çs için varyans ve regresyon analizleri.....	97
5.6. Dairesellikten Sapmanın Değerlendirilmesi	101
5.6.1. Uzunluk/çap oranına göre Ds'nin değişimi.....	102
5.6.2. İlerleme miktarına göre Ds'nin değişimi	104
5.6.3. Kesme hızına göre Ds'nin değişimi	105
5.6.4. Delik derinliği ile Ds'nin değişimi.....	107
5.6.5. Ds için varyans ve regresyon analizleri	109
5.7. Silindiriklikten Sapmanın Değerlendirilmesi.....	112
5.7.1. Uzunluk/çap oranına göre Ss'nin değişimi	113
5.7.2. İlerleme miktarına göre Ss'nin değişimi	115
5.7.3. Kesme hızına göre Ss'nin değişimi.....	116
5.7.4. Ss için varyans ve regresyon analizleri	118
5.8. Ölçülen Sıcaklıkların Değerlendirilmesi.....	120
5.8.1. Uzunluk/çap oranına göre T'nin değişimi.....	121
5.8.2. Kesme hızına göre T'nin değişimi	122
5.8.3. Delik derinliğine göre T'nin değişimi.....	124
5.9. Ses Seviyesi Sinyallerinin Değerlendirilmesi	126
5.9.1. Uzunluk/çap oranına göre Spl'nin değişimi.....	126
5.9.2. Vc ve f'ye göre Spl'nin değişimi	134
5.10. Kesici görünümü, delik çıkışı elde edilen kapak ve talaşların değerlendirilmesi	142
5.11. Deneysel Sonuçların Genel Değerlendirilmesi	151
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	157

	Sayfa
6.1. Sonuçlar.....	157
6.2. Öneriler	160
KAYNAKLAR	161
ÖZGEÇMİŞ	169

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. U matkaplar ile ilgili literatür özeti	15
Çizelge 3.2. Alüminyum alaşımları ile ilgili literatür özeti	20
Çizelge 4.1. Ana deney tasarımı	23
Çizelge 4.2. Ek deneyler	23
Çizelge 4.3. İş parçası sertlik ölçümleri.....	25
Çizelge 4.4. İş parçası spektrum analizi.....	26
Çizelge 4.5. İş parçası malzemelerinin mekanik özellikleri	26
Çizelge 4.6. CNC tezgâhının özellikleri	29
Çizelge 4.7. Kesici uçların optik ölçüm değerleri.....	32
Çizelge 4.8. Dinamometre ölçüm aralığı	33
Çizelge 4.9. Ölçüm ayarları	34
Çizelge 5.1. Islak deneyler için Fz değerleri.....	40
Çizelge 5.2. Kuru deneyler için Fz değerleri	40
Çizelge 5.3. Fz için malzemelerin varyans analizleri	51
Çizelge 5.4. Fz için malzemelerin model özetleri.....	51
Çizelge 5.5. Islak deneyler için Mz değerleri	54
Çizelge 5.6. Kuru deneyler için Mz değerleri.....	54
Çizelge 5.7. Mz için malzemelerin varyans analizleri.....	64
Çizelge 5.8. Mz için malzemelerin model özetleri	64
Çizelge 5.9. Islak deneyler için İMY değerleri.....	67
Çizelge 5.10. Kuru deneyler için İMY değerleri	68
Çizelge 5.11. İMY için malzemelerin varyans analizleri	74
Çizelge 5.12. Mz için malzemelerin model özetleri	74
Çizelge 5.13. Islak deneyler için Ra değerleri	77
Çizelge 5.14. Kuru deneyler için Ra değerleri.....	77

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.15. Ra için malzemelerin varyans analizleri.....	87
Çizelge 5.16. Mz için malzemelerin model özetleri	87
Çizelge 5.17. Islak deneyler için Çs değerleri	89
Çizelge 5.18. Kuru deneyler için Çs değerleri.....	89
Çizelge 5.19. Optik çap ölçümleri ile ortalama Çs değerlerinin değişimi (Islak).....	92
Çizelge 5.20. Optik çap ölçümleri ile ortalama Çs değerlerinin değişimi (Kuru)	92
Çizelge 5.21. Çs için malzemelerin varyans analizleri	98
Çizelge 5.22. Çs için malzemelerin model özetleri	99
Çizelge 5.23. Islak deneyler için Ds değerleri	101
Çizelge 5.24. Kuru deneyler için Ds değerleri.....	102
Çizelge 5.25. Islak deneyler için Ds değerleri	112
Çizelge 5.26. Kuru deneyler için Ds değerleri.....	113
Çizelge 5.27. Kuru deneylerde ölçülen sıcaklıklar	121

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. U matkap kısımları	3
Şekil 2.2. Helisel matkaplar ile problem yaşanan işlemler [9]	5
Şekil 2.3. U matkaplardaki denge açısı.....	5
Şekil 4.1. İş parçalarının markalanması	24
Şekil 4.2. a) Çoklu delik delme numunesi, b) tekli delme numunesi, c) iş parçası boyutları.....	27
Şekil 4.3. İş parçası bağlama aparatı tasarımı.....	28
Şekil 4.4. İmalatı tamamlanmış bağlama aparatı	28
Şekil 4.5. Deneylerin akış şeması	29
Şekil 4.6. Kullanılan kesici uç geometrileri.....	31
Şekil 4.7. Üç boyutlu tarama ile elde edilen U matkap ölçüleri	31
Şekil 4.8. Optik ölçüm şekli.....	32
Şekil 4.9. Kuvvet ölçüm ekipmanları	33
Şekil 4.10. CMM ölçüm düzlemleri	35
Şekil 4.11. Yapılan ölçüm tipleri	35
Şekil 4.12. Ölçüm delik pozisyonları.....	36
Şekil 4.13. Sesin ham hali (sol), gürültü azaltılmış hali (sağ)	37
Şekil 5.1. L/D oranına göre Fz değerlerinin değişimi.....	41
Şekil 5.2. Islak ve kuru deneylerin Fz'ye göre karşılaştırılması	42
Şekil 5.3. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Fz'nin değişimi	42
Şekil 5.4. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Fz'nin değişimi	43
Şekil 5.5. L/D değerleri için f ile Fz'nin değişimi.....	43
Şekil 5.6. Malzemelere göre f'in Fz ile değişimi	44
Şekil 5.7. L/D ve malzeme için Vc ile Fz'nin değişimi (Islak)	44
Şekil 5.8. L/D değerlerine göre Vc ile Fz'nin değişimi (Kuru).....	45
Şekil 5.9. Malzeme türüne göre Vc ile Fz'nin değişimi (Kuru).....	45

Çizelge	Sayfa
Şekil 5.10. AA 2024 malzemesi zamana göre Fz'nin değişimi (Islak)	46
Şekil 5.11. AA 2024 malzemesi zamana göre Fz'nin değişimi (Kuru).....	47
Şekil 5.12 AA 7075 malzemesi zamana göre Fz'nin değişimi (Islak)	48
Şekil 5.13. AA 7075 malzemesi zamana göre Fz'nin değişimi (Kuru).....	48
Şekil 5.14. AA 6061 malzemesi zamana göre Fz'nin değişimi (Islak)	49
Şekil 5.15. Fz için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075.....	52
Şekil 5.16. Fz için tahmin sonuçları a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075.....	53
Şekil 5.17. L/D oranına göre Mz değerlerinin değişimi	55
Şekil 5.18. Islak ve kuru deneylerin Mz'ye göre karşılaştırılması	55
Şekil 5.19. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Mz'nin değişimi	56
Şekil 5.20. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Mz'nin değişimi.....	56
Şekil 5.21. L/D değerleri için f ile Mz'nin değişimi	57
Şekil 5.22. Malzemelere göre f'in Mz ile değişimi	57
Şekil 5.23. L/D değerleri için Vc ile Mz'nin değişimi (Islak).....	58
Şekil 5.24. L/D değerlerine göre Vc ile Mz'nin değişimi (Kuru)	58
Şekil 5.25. Malzeme türüne göre Vc ile Mz'nin değişimi (Kuru).....	59
Şekil 5.26. AA 2024 için zamana göre Mz'nin değişimi (Islak).....	60
Şekil 5.27. AA 2024 için zamana göre Mz'nin değişimi (Kuru)	60
Şekil 5.28. AA 7075 için zamana göre Mz'nin değişimi (Islak).....	61
Şekil 5.29. AA 7075 için zamana göre Mz'nin değişimi (Kuru)	62
Şekil 5.30. AA 6061 için zamana göre Mz'nin değişimi (Islak).....	63
Şekil 5.31. Mz için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075	65
Şekil 5.32. Mz tahmin sonuçları a) AA 2024, b) AA 6061, C) AA 7075	66
Şekil 5.33. L/D oranına göre İMY değerlerinin değişimi.....	68
Şekil 5.34. Islak ve kuru deneylerin İMY değerine göre karşılaştırılması	69
Şekil 5.35. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre İMY'nin değişimi.....	69

Çizelge	Sayfa
Şekil 5.36. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre İMY'nin değişimi	70
Şekil 5.37. L/D değerleri için f ile İMY'nin değişimi	70
Şekil 5.38. Malzemelere göre f'in İMY ile değişimi.....	71
Şekil 5.39. L/D değerleri için Vc ile İMY'nin değişimi (Islak)	71
Şekil 5.40. L/D değerlerine göre Vc ile İMY'nin değişimi (Kuru).....	72
Şekil 5.41. Malzeme türüne göre Vc ile İMY'nin değişimi (Islak).....	72
Şekil 5.42. Malzeme türüne göre Vc ile İMY'nin değişimi (Kuru)	73
Şekil 5.43. İMY için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075	75
Şekil 5.44. İMY tahmin sonuçları a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075	76
Şekil 5.45. L/D oranına göre Ra değerlerinin değişimi	78
Şekil 5.46. Islak ve kuru deneylerin Ra'ya göre karşılaştırılması	78
Şekil 5.47. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi	79
Şekil 5.48. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi	80
Şekil 5.49. L/D değerleri için f ile Ra'nın değişimi	81
Şekil 5.50. Malzemelere göre f'in Ra ile değişimi	81
Şekil 5.51. L/D değerleri için Vc ile Ra'nın değişimi (Islak)	82
Şekil 5.52. Malzemelere göre Vc ile Ra'nın değişimi (Islak)	82
Şekil 5.53. L/D değerlerine göre Vc ile Ra'nın değişimi (Kuru)	83
Şekil 5.54. Malzeme türüne göre Vc ile Ra'nın değişimi (Kuru)	83
Şekil 5.55. AA 2024 malzemesi için Ra'nın değişimi (Islak)	84
Şekil 5.56. AA 2024 malzemesi için Ra'nın değişimi (Kuru)	84
Şekil 5.57. AA 7075 malzemesi için Ra'nın değişimi (Islak)	85
Şekil 5.58. AA 7075 malzemesi için Ra'nın değişimi (Kuru)	85
Şekil 5.59. Ra için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075	88
Şekil 5.60. L/D oranına göre Çs değerlerinin değişimi	90
Şekil 5.61. Islak ve kuru deneylerin Çs'ye göre karşılaştırılması.....	90

Çizelge	Sayfa
Şekil 5.62. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Çs'nin değişimi	91
Şekil 5.63. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Çs'nin değişimi.....	92
Şekil 5.64. L/D değerleri için f ile Çs'nin değişimi	93
Şekil 5.65. Malzemelere göre f'in Çs ile değişimi	93
Şekil 5.66. L/D değerleri için Vc ile Çs'nin değişimi (Islak).....	94
Şekil 5.67. Malzemelere göre Vc ile Çs'nin değişimi (Islak)	94
Şekil 5.68. L/D değerlerine göre Vc ile Çs'nin değişimi (Kuru)	94
Şekil 5.69. Malzeme türüne göre Vc ile Çs'nin değişimi (Kuru).....	95
Şekil 5.70. AA 2024 malzemesi için delik boyunca Çs'nin değişimi (Islak).....	95
Şekil 5.71. AA 2024 malzemesi için delik boyunca Çs'nin değişimi (Kuru).....	96
Şekil 5.72. AA 7075 malzemesi için delik boyunca Çs'nin değişimi (Islak)	97
Şekil 5.73. AA 7075 malzemesi için delik boyunca Çs'nin değişimi (Kuru).....	97
Şekil 5.74. Çs için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075	100
Şekil 5.75. Çs tahmin sonuçları a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075	101
Şekil 5.76. L/D oranına göre Ds değerlerinin değişimi	103
Şekil 5.77. Islak ve kuru deneylerin Ds'ye göre karşılaştırılması	103
Şekil 5.78. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi.....	104
Şekil 5.79. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi	104
Şekil 5.80. L/D değerleri için f ile Ds'nin değişimi	105
Şekil 5.81. Malzemelere göre f'in Ds ile değişimi	105
Şekil 5.82. L/D değerleri için Vc ile Ds'nin değişimi (Islak)	106
Şekil 5.83. Malzemelere göre Vc ile Ds'nin değişimi (Islak)	106
Şekil 5.84. L/D değerlerine göre Vc ile Ds'nin değişimi (Kuru)	107
Şekil 5.85. Malzeme türüne göre Vc ile Ds'nin değişimi (Kuru)	107
Şekil 5.86. AA 2024 malzemesi için delik boyunca Ds'nin değişimi (Islak).....	108
Şekil 5.87. AA 2024 malzemesi için delik boyunca Ds'nin değişimi (Kuru)	108

Çizelge	Sayfa
Şekil 5.88. AA 7075 malzemesi için delik boyunca Ds'nin değişimi (Islak).....	109
Şekil 5.89. AA 7075 malzemesi için delik boyunca Ds'nin değişimi (Kuru)	109
Şekil 5.90. (devam) a, c, e) Normallik testleri, b, d, f) L/D'ye göre gruplandırılmış normallik testleri.	111
Şekil 5.91. Ds için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075	112
Şekil 5.92. L/D oranına göre Ss değerlerinin değişimi.....	113
Şekil 5.93. Islak ve kuru deneylerin Ss'ye göre karşılaştırılması.....	114
Şekil 5.94. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi.....	114
Şekil 5.95. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi	115
Şekil 5.96. L/D değerleri için f ile Ss'nin değişimi	115
Şekil 5.97. Malzemelere göre f'in Ss ile değişimi.....	116
Şekil 5.98. L/D değerleri için Vc ile Ss'nin değişimi (Islak)	116
Şekil 5.99. Malzemelere göre Vc ile Ss'nin değişimi (Islak).....	117
Şekil 5.100. L/D değerlerine göre Vc ile Ss'nin değişimi (Kuru).....	117
Şekil 5.101. Malzeme türüne göre Vc ile Ss'nin değişimi (Kuru)	118
Şekil 5.102. a, c) Normallik testleri b, d) L/D'ye göre gruplandırılmış normallik testleri.....	119
Şekil 5.103. Ds için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 7075	119
Şekil 5.104. U matkabın alüminyum malzemeye yapışarak durduğu deney	120
Şekil 5.105. Uzunluk/çap oranına göre T ortalamaları	121
Şekil 5.106. L/D ve malzemelere göre T'nin değişimi	122
Şekil 5.107. L/D oranı ve Vc'ye göre T'nin değişimi	123
Şekil 5.108. Malzeme ve Vc'ye göre T'nin değişimi	123
Şekil 5.109. AA 2024 için delik derinliğine göre T'nin değişimi	124
Şekil 5.110. AA 2024 malzemesi için zamana göre T'nin değişimi	124
Şekil 5.111. AA 7075 için delik derinliğine göre T'nin değişimi	125
Şekil 5.112. AA 7075 malzemesi için zamana göre T'nin değişimi	125

Çizelge	Sayfa
Şekil 5.113. L/D oranına göre Spl değerlerinin zaman alanında değişimi (AA 2024-İslak)	126
Şekil 5.114. U matkaplar için tespit edilen baskın frekans değerleri.....	127
Şekil 5.115. L/D oranına göre Spl değerlerinin frekans alanında değişimi (AA 2024-İslak)	127
Şekil 5.116. L/D oranına göre Spl değerlerinin zaman alanında değişimi (AA 2024-İslak)	128
Şekil 5.117. (devam) L/D oranına göre Spl değerlerinin frekans alanında değişimi (AA 2024-İslak).....	129
Şekil 5.118. L/D oranına göre Spl değerlerinin zaman alanında değişimi (AA 2024-Kuru)	129
Şekil 5.119. L/D oranına göre Spl değerlerinin frekans alanında değişimi (AA 2024-Kuru)	129
Şekil 5.120. L/D oranına göre Spl değerlerinin zaman alanında değişimi (AA 2024-Kuru)	130
Şekil 5.121. L/D oranına göre Spl değerlerinin frekans alanında değişimi (AA 2024-Kuru)	130
Şekil 5.122. AA 7075 malzemesi için zaman alanı (İslak-200 m/dak–0,06 mm/dev) ...	131
Şekil 5.123. AA 7075 malzemesi için frekans alanı (İslak-200 m/dak–0,06 mm/dev)..	131
Şekil 5.124. AA 7075 malzemesi için zaman alanı (İslak-300 m/dak–0,12 mm/dev) ...	132
Şekil 5.125. AA 7075 malzemesi için frekans alanı (İslak-300 m/dak–0,12 mm/dev)..	132
Şekil 5.126. AA 7075 malzemesi için zaman alanı (Kuru-200 m/dak–0,12 mm/dev)...	133
Şekil 5.127. AA 7075 malzemesi için frekans alanı (Kuru-200 m/dak–0,12 mm/dev)..	133
Şekil 5.128. AA 7075 malzemesi için zaman alanı (Kuru-300 m/dak–0,12 mm/dev)...	133
Şekil 5.129. AA 7075 malzemesi için frekans alanı (Kuru-300 m/dak–0,12 mm/dev)..	134
Şekil 5.130. AA 2024 malzemesinin 3D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (İslak).....	134
Şekil 5.131. AA 2024 malzemesinin 3D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Kuru)	135
Şekil 5.132. AA 7075 malzemesinin 3D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (İslak).....	135

Çizelge	Sayfa
Şekil 5.133. AA 7075 malzemesinin 3D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Kuru)	136
Şekil 5.134. AA 2024 malzemesinin 4D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak).....	136
Şekil 5.135. AA 7075 malzemesinin 4D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak).....	137
Şekil 5.136. AA 2024 malzemesinin 4De ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak).....	138
Şekil 5.137. AA 2024 malzemesinin 4De ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Kuru)	138
Şekil 5.138. AA 7075 malzemesinin 4De ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak).....	139
Şekil 5.139. AA 7075 malzemesinin 4De ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Kuru)	139
Şekil 5.140. AA 2024 malzemesinin 5D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak).....	140
Şekil 5.141. AA 2024 malzemesinin 5D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Kuru)	140
Şekil 5.142. AA 7075 malzemesinin 5D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak).....	141
Şekil 5.143. AA 7075 malzemesinin 5D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak).....	142
Şekil 5.144. Kesici uç bölgeleri	142
Şekil 5.145. Kesicinin izlediği yol, a) Tırlamalı kesim, b) Normal kesim	143
Şekil 5.146. AA 7075 malzemesinin delinmesinde kullanılan kesici uçlar.....	152
Şekil 5.147. AA 7075 malzemesi ile elde edilen talaşlar	152
Şekil 5.148. AA 6061 talaş şekilleri (300 m/dak, 0,12 mm/dev, ıslak işleme).....	156

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Normal helisel matkap ve U matkap kesici uç yerleşimi	3
Resim 2.2. Helisel matkap aşınma bölgeleri [8]	4
Resim 2.3. Hatalı kullanım sonucu hasar görmüş U matkaplar [11]	6
Resim 4.1. Sertlik ölçümü.....	25
Resim 4.2. Optik Emisyon Spektrometresi.....	25
Resim 4.3. Çekme testinin yapılması ve numuneler.....	26
Resim 4.4. CNC dik işleme tezgâhı	29
Resim 4.5. Kullanılan U matkaplar.....	30
Resim 4.6. U matkapların uç kısmı.....	30
Resim 4.7. Takım tutucu ve kesicinin bağlanması	32
Resim 4.8. Delik içi pürüzlülük ölçümü	34
Resim 4.9. CMM tezgâhı ve ölçüm kurulumu.....	34
Resim 4.10. Sıcaklık ölçüm kurulumu.....	36
Resim 4.11. Load göstergesi	37
Resim 4.12. Kullanılan mikrofön.....	37
Resim 4.13. USB mikroskop	38
Resim 4.14. Merkezi ve çevresel uç görüntüleri.....	38
Resim 5.1. U matkap gövdesine yapışan alüminyum malzeme.....	49
Resim 5.2. AA 2024 malzemesinin delindiği kesici uçlar (200 m/dak–0,06 mm/dev) ..	143
Resim 5.3. AA 2024 malzemesinin delindiği kesici uçlar (200 m/dak - Kuru).....	144
Resim 5.4. AA 2024 malzemesinin delindiği kesici uçlar (300 m/dak–0,12 mm/dev) ..	144
Resim 5.5. AA 2024 malzemesinin delindiği kesici uçlar (250 m/dak - Kuru).....	145
Resim 5.6. AA 7075 malzemesinin delindiği kesici uçlar (200 m/dak–0,06 mm/dev) ..	145
Resim 5.7. AA 7075 malzemesinin delindiği kesici uçlar (200 m/dak–0,12 mm/dev - Kuru).....	146
Resim 5.8. AA 7075 malzemesinin delindiği kesici uçlar (300 m/dak–0,12 mm/dev) ..	146

Resim	Sayfa
Resim 5.9. AA 7075 malzemesinin delindiği kesici uçlar (300 m/dak – 0,12 mm/dev-Kuru).....	147
Resim 5.10. AA 2024 malzemesinin delinmesinde ortaya çıkan talaşlar.....	147
Resim 5.11. AA2024 malzemesi için talaşların karşılaştırılması	148
Resim 5.12. AA 2024 malzemesinin delinmesinde ortaya çıkan talaşlar (Kuru).....	148
Resim 5.13. AA 7075 malzemesinin delinmesinde ortaya çıkan talaşlar.....	149
Resim 5.14. AA 7075 malzemesinin delinmesinde ortaya çıkan talaşlar (Kuru).....	149
Resim 5.15. Delik çıkışı kapak örnekleri.....	150
Resim 5.16. AA 2024 malzemesi delik içi görüntüleri.....	151

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

D	Diameter, çap (mm)
g	Çapak değeri
LN₂	Sıvı azot
f	İlerleme miktarı (mm/dev)
V_c	Kesme hızı (m/dak)
L/D	Uzunluğun çapa oranı
HB	Brinell sertliği
Kg	Kilogram
F_z	İtme Kuvveti (N)
M_z	Tork (Ncm)
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
Ç_s	Ortalama çaptan sapma (mm)
D_s	Ortalama dairesellikten sapma (mm)
S_s	Silindiriklikten sapma (mm)
T	Ortalama sıcaklık (°C)
Spl	Ses seviyesi sinyali (Hz)

Kısaltmalar

Açıklamalar

AA	Alüminyum alaşımı
AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir Çelik Enstitüsü)
AlTiN	Alüminyum Titanyum Nitrür
APE	Absolute Percentage Error (Mutlak yüzdesel hata)
BUE	Built-Up Edge (Yığıntı talaş)
CFRP	Karbon Fiber Takviyeli Plastik
CMM	Bilgisayarlı Ölçüm Tezgâhı

Kısaltmalar**Açıklamalar**

CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
EN	European Norm (Avrupa Standartları)
MAPE	Mean Absolute Percentage Error (Ortalama Mutlak Yüzdesel Hata)
DLC	Diamond Like Carbon (Elmas Benzeri Karbon)
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
İMY	İş Mili Yüğü
MQL	Minimum Quantity Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama)
TiAlN	Titanyum Alümina Nitrür
TiCN	Titanium Carbonitride (Titanyum Karbonitrür)
TiN	Titanyum Nitrür
TS	Türk Standartları
WC-Co	Kobaltlı Tungsten Karbür

1. GİRİŞ

Delik delme işlemi talaş kaldırma operasyonlarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Delikleri delmek için çeşitli tiplerde matkaplar kullanılmaktadır. Bu matkaplardan biri ise değiştirilebilir uçlu matkap, yaygın kullanılan adı ile U matkaptır. U matkaplar kesici takım sektöründe önemli bir yer tutan delme takımları içerisinde %53'lük pazar payına sahiptir [1]. Üretimin ana amaçlarından biri olan az zamanda çok miktarda talaş kaldırmak isteyenler tarafından endüstride yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. U matkaplar, normal helisel matkaplara göre büyük çaplardaki delikleri (12 ve üstü), ön delik delmeye ihtiyaç olmaksızın delebilmektedir. U matkap, belirli çaplarda yapılmış bir gövde ve ucunda sökölüp/bağlanan kesici uçlardan oluşan bir kesici takımdır. U matkabın biri çevrede diğeri ise merkezde olmak üzere iki adet değiştirilebilir kesici ucu bulunmaktadır [2]. Bu kesici uçlar markadan markaya değişmekle beraber özdeş geometride ve kalitede olabileceği gibi farklı geometri ve kalitede de üretilebilmektedir [3]. İki kesici uç U matkabın merkezine göre farklı konumda ve açıda çalıştıkları için birbirinden farklı dinamik yüklere maruz kalmaktadırlar [4]. Örneğin çevresel uç delik kalitesi için daha önemlidir [5]. U matkaplar genelde uzunluğun çapa oranı (L/D) olarak isimlendirilmektedirler. Örneğin çapı 20 mm olan bir matkabın uzunluğu 100 mm ise bu matkap 5D (D: Diameter, Çap) olarak isimlendirilmektedir. 2D'den 7D'ye kadar çeşitleri bulunmaktadır. Aynı nominal çapa sahip olmalarına rağmen farklı uzunluk/çap oranının delik delmeye etkisi literatür incelendiğinde, çok az çalışmada olduğu görülmüştür. Aynı nominal çapa sahip olmakla beraber farklı uzunluk/çap oranına sahip kesiciler arasındaki karşılaştırma maliyet açısından düşünülmüştür. Farklı derinliklere sahip iş parçalarının delinmesi işlemi için her zaman uygun uzunluk/çap oranına sahip U matkapların satın alınması fazladan maliyet anlamına gelebilmektedir. Bu bakımdan daha büyük uzunluk/çap oranına sahip U matkapların seçilmesi, böylelikle daha kısa deliklerinde delinebileceği ihtimali dikkate alınmıştır. Ayrıca U matkaplar uygulayıcılar tarafından yoğun olarak kaba talaş boşaltma kesicisi olarak düşünülmektedir. Sonrasında ikincil işlemler ile delik kalitesi arzulanan tolerans seviyelerinde işlenmektedir.

U matkaplar genelde içten soğutma yapmak amacıyla biri merkezi uç diğeri ise çevresel ucun arkasında olmak üzere iki soğutucu deliğe sahiptirler. Ancak bazı U matkaplarda aynı nominal çapa sahip olmalarına karşın üretici tarafından merkezi ucun bulunduğu talaş tahliye kanalına üçüncü bir soğutucu deliği açılmaktadır. U matkap gövdesine açılan bu ekstra

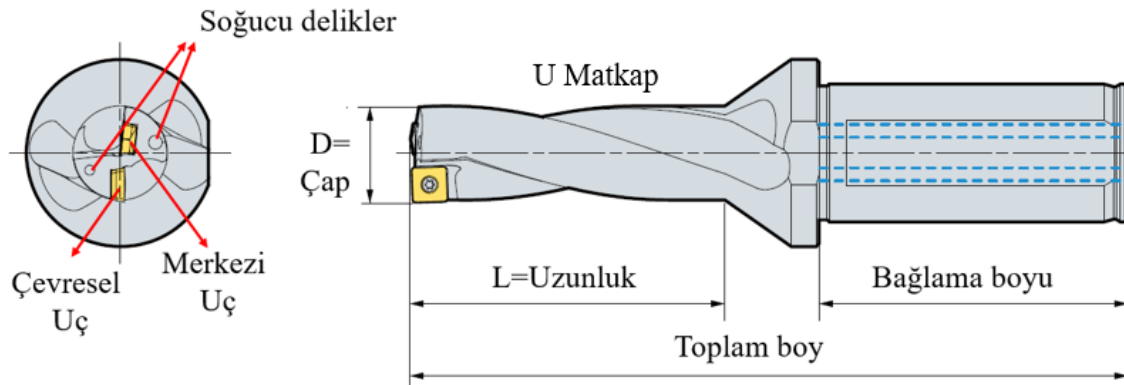
soğutucu deliğin ise delik delmeye etkisi literatürdeki hiçbir çalışmada incelenmemiştir. Ekstra soğutucu deliğin çıktı yanıtları üzerindeki etkisinin tespit edilmesi delik kalitesi açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışma ile son işlem olarak U matkap ile delik delmenin alüminyum alaşımlarının işlenmesinde uygun olup olmadığının tespiti amaçlanmıştır. Üç farklı alüminyum alaşımı (AA 2024-T351, AA 6061-T651 ve AA 7075-T651) çapı 20 mm olan dört farklı geometriye sahip U matkap (3D, 4D, 4De ve 5D) kullanılarak ıslak şartlarda 40 mm derinliğinde boydan boya delinmiştir. Üç adet kesme hızı (200 - 250 ve 300 m/dak) ve üç adet ilerleme miktarı (0,06; 0,09 ;0,12 mm/dev) ıslak delik delme deneyleri için belirlenmiştir. Deneyler tam faktöriyel deney tasarımına göre planlanmıştır. Sıcaklık oluşumunun delik delmeye etkisini incelemek için ise ek deneyler yapılmıştır. Ek deneyler kuru ortamda üç adet kesme hızı (200 - 250 ve 300 m/dak) ve bir adet ilerleme miktarı (0,12 mm/dev) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hem ıslak hem de kuru ortamda yapılan deneylerden sonra ise itme kuvveti, tork, iş mili yükü, yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma, ses seviyesi ölçümleri, kesici ve talaş görünümleridir. Islak ortamda elde edilen değerler ile kuru ortamda elde edilen çıktı yanıtları karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Kuru ortamda ısı çifti (termokupl) ile sıcaklık ölçümü yapılırken, ıslak ortamda sıcaklık ölçümü yapılmamıştır. Deneylerde itme kuvveti ve tork değerleri kullanılan bir dinamometre (Kistler 9232) ile ölçülmüştür. İş mili yükü CNC Tezgâhının kontrol panelinden alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü için bir pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Çaptan sapma, dairesellik ve silindiriklikten sapma değerleri bilgisayarlı ölçüm tezgâhı (CMM) ile elde edilmiştir. Ses seviyesi mikrofondan, kesici ve talaş görüntüleri mikroskoptan alınarak elde edilmiştir.

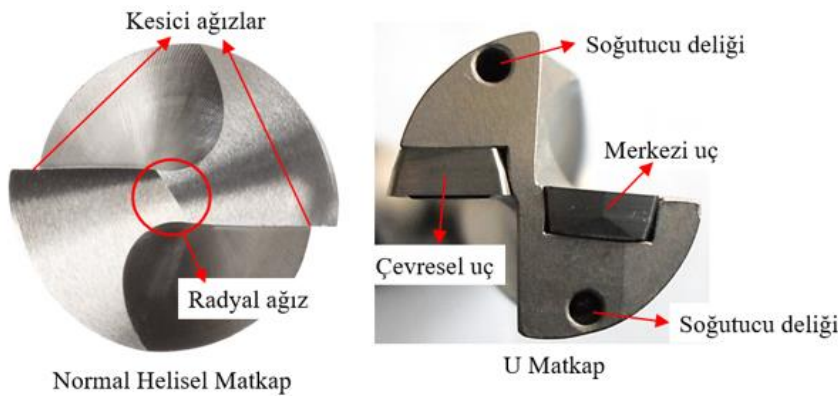
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. U Matkaplar

U matkaplar, delik eksenine paralel yönde ilerleme hareketi ile kesme görevini yerine getirmektedir (Şekil 2.1). Normal helisel matkaplardan farklı özelliklere sahiptir (Resim 2.1). Örneğin U matkaplarda, helisel matkaplardaki gibi uç açısı ve radyal ağız yoktur [2]. Özellikle büyük çaplı deliklerde normal helisel matkabın radyal ağız genişliğinin artması malzeme içine batması yerine malzemeyi ezerek delik koordinatından sapmasına, delme esnasında oluşan ilerleme kuvvetinde artışa [2], kesme yerine sürtünmenin artmasına bağlı olarak kesme ortamının ısınmasına ve aşınma problemlerinin meydana gelmesine sebep olur.



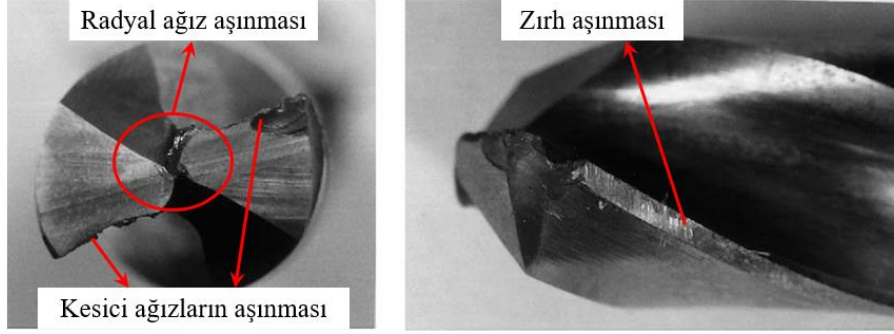
Şekil 2.1. U matkap kısımları



Resim 2.1. Normal helisel matkap ve U matkap kesici uç yerleşimi

Normal helisel matkaplardaki bu problemlerden kurtulmak için büyük çaplı deliklerde ön deliklerin açılması gerekliliği vardır [6]. Dolayısı ile ön delik delme sayısı da delik çapının büyümesine paralel olarak artmaktadır. Böylelikle fazladan kesici takım kullanılması ve

fazladan zaman harcanması gerekmektedir. Helisel matkapların, delme işlemini gerçekleştirirken belirli tekrardan sonra zırh, radyal ağız ve kesici ağızları aşınmaktadır (Resim 2.2) [7].



Resim 2.2. Helisel matkap aşınma bölgeleri [8]

Matkabın aşınması ise geometrik ölçülerde bozukluğa ve kesme işleminin yapılamamasına sebep olarak matkabın bileme gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Matkabın bilenmesi ise zahmetli ve uzmanlık gerektiren bir süreçtir. Çünkü tezgâhtan matkabın sökülmesi, bilenmesi ve tekrar tezgâha takılması sonrasında bilen miktarın hata payı olarak tezgâha tanıtılması işlemi oldukça zaman kaybettirmektedir. Bununla birlikte matkaplar ile çakışan deliklerin delinmesinde ağızlama problemlerinden dolayı normal ilerlemenin azaltılması gerekmektedir. Buna rağmen matkap kırılmalarıyla karşılaşmaktadır. Helisel matkaplar ile matkap girişi düz olmayan eğik yüzeyler delinirken bazı sınırlılıklar mevcuttur. Deliğe girerken matkabın kaymadan ağızlaması ve deliğin çıkışında matkabın kırılmasını önlemek için ilerleme miktarının azaltılması gerekir. Bu da zaman kaybına veya kesici takım kırılmalarına sebebiyet vermektedir. Helisel matkaplar ile delmede anılanların dışında zaman kaybına ve maliyet artışına neden olan hatta delik delmenin imkânsız olduğu bazı durumlar da mevcuttur. Aşağıda helisel matkapla delme işlemlerinde problem yaşanan bazı işlemler listelenmiştir.

- Çıkışı eğimli parçaları delme (Şekil 2.2a).
- 45° köşeleri delme (Şekil 2.2b).
- Parça kenarında yarım delik delme (Şekil 2.2c).
- Dışbükey yüzeyi delme (Şekil 2.2d).
- Örtüşmeli delme işlemi (Şekil 2.2e).
- Çakışan delikler (Şekil 2.2f).

➤ Girişi eğimli delik (Şekil 2.2g).



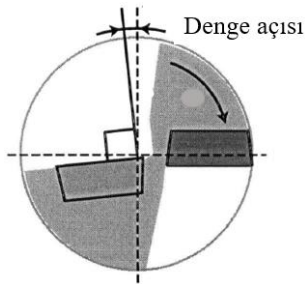
a) Çıkışı eğimli b) 45° köşe delme c) Yarı delik d) Dışbükey yüzey e) Örtüşmeli delme



f) Çakışan delikler g) Girişi eğimli delik

Şekil 2.2. Helisel matkaplar ile problem yaşanan işlemler [9]

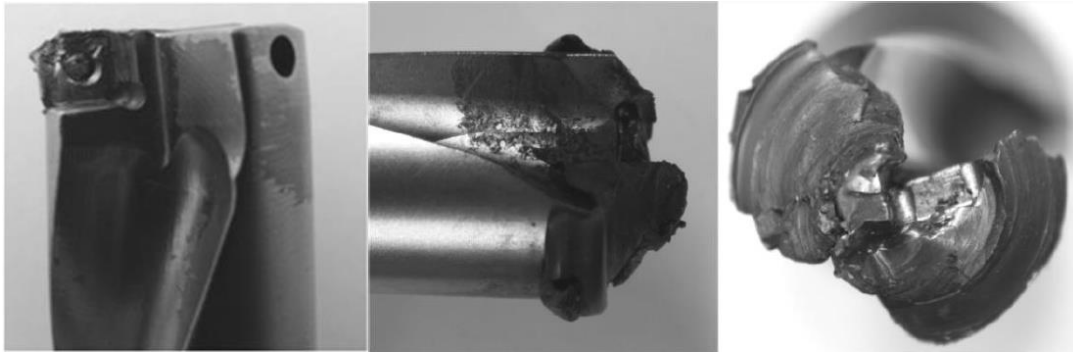
U matkaplarda radyal ağız olmadığı için iş parçasına girerken gezme hareketi yapmamakta veya çok az yapmaktadır [2]. Ayrıca kesici uçlardaki talaş kırıcıların, uç açısı, kesici kenar açısı ve boşluk açısındaki değişikliklerin titreşimi azalttığı, yüzey pürüzlülüğü ve daireselliği iyileştirdiği ifade edilmektedir [3]. U matkapların çapı, Ø12mm'den başlayıp Ø63mm'ye kadar uzanmaktadır. Ayrıca özel uygulamalar için yeni takım geliştirme seçenekleri kesici takım imalatçıları tarafından sunulmaktadır. Helisel matkaplardaki aşınma sonrası bileme gerekliliği bu kesici takımlarda yoktur. Normal helisel matkaplara göre U matkaplarda bulunan kesicilerin asimetrik yerleşiminden dolayı dengesiz radyal kuvvetler oluşabilir, delik çapı büyük veya küçük meydana gelebilir, deliğin daireselliği oval şekilli olabilir [2, 10]. Ancak daha sonraki çalışmalarda kesici uçların yeniden tasarlanması [3], merkezi ve çevresel uç arasına bir denge açısı yerleştirilmesi (Şekil 2.3) gibi yöntemler ile bu problem giderilmeye çalışılmıştır [4].



Şekil 2.3. U matkaplardaki denge açısı

Helisel matkaplara göre en önemli avantajlarından biri ön deliğe gerek duymaksızın büyük çaplı deliklerde bile dolu malzemeye doğrudan sıkıntısız bir şekilde girebilmesidir. Uzunluk/çap oranı 2D, 3D, 4D, 5D, 6D ve 7D olanları mevcuttur. Delme işleminde kısa zamanda daha çok malzeme kaldırmak için kesici takım tercihinde ilk sıralarda gelmektedir. Yukarıda helisel matkap ile delmede problem yaşanan işleme türlerinin hepsinde başarıyla delik delme işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Torna tezgâhları ve freze tezgâhları için uygun olmakla beraber delik delme sonrası basit delik içi tornalama operasyonları da bu takımlar ile gerçekleştirilebilmektedir. Söz konusu üstünlüklerine ve sanayi tarafından tercih edilmesine karşın literatür incelendiğinde U matkaplarla yeteri kadar bilimsel çalışma yapılmadığı görülmektedir.

Helisel matkap ile U matkapların karşılaştırıldığı çalışmalarda iki kesicinin farklı delme mekanizması ile çalıştığı ifade edilmiştir [2]. U matkaplar ile yapılan çalışmaların yetersiz olması bu kesici takımları verimli bir şekilde kullanılamamasına sebep olmaktadır. Uygun bir şekilde kullanılamayan her takım gibi kesici uçlar kırılmakta dolayısıyla U matkapların gövdesi hasar görmekte ve hurdaya ayrılan parça oranının artması, üretim maliyetlerini yukarılara çıkarmaktadır (Resim 2.3).



Resim 2.3. Hatalı kullanım sonucu hasar görmüş U matkaplar [11]

2.2. Alüminyum Alaşımları

Bu bölümde alüminyum alaşımlarından sadece 2024-T351, 6061-T651 ve 7075-T651 malzemeleri ele alınmıştır. Çünkü bahsedilen malzemeler, bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. Seçilen alüminyum alaşımları, bulundukları serinin en iyi bilinen alüminyum alaşımlarından tercih edilmiştir. Kullanılan alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri,

sertlikleri, mekanik ve termal özellikleri birbirlerinden farklıdır. Bu farkların U matkapla delik delmeye etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

2.2.1. AA 2024-T351 alüminyum alaşıımı

AA 2024 alüminyum alaşıımı 2xxx serisi alüminyum - bakır alaşımlarının en bilinenlerinden birisidir. Havacılık gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [12]. Korozyona karşı hassas, çatlak büyümesine karşı dayanıklılığın önemli olduğu uçakların gövde kaplamalarında, alt kanatlarında ve birçok yapısal uçak uygulamasında kullanılmaktadır [13]. Ek olarak, mühimmat, kamyon tekerlekleri, vida makinesi ürünleri, makine için dişliler, otomotiv parçaları, silindirler ve pistonlar, rekreasyon ekipmanları, bağlantı elemanları, makine parçaları, vidalar ve perçinler için de kullanılır [14].

2.2.2. AA 6061-T651 alüminyum alaşıımı

AA 6061 alüminyum alaşıımı 6xxx serisi alaşımlardan birisidir. Alüminyum – magnezyum – silisyum alaşıımı olarak bilinmektedir. İçeriğindeki silisyum oranıyla diğerlerinden farklı özellikler sergilemektedir. İşlemesi diğerlerine göre daha zordur. Yüksek mukavemet, iyi kaynaklanabilirlik ve hafiflik gibi baskın mekanik özelliklerin istendiği uygulamalarda tercih edilmektedir [15]. Başta uçaklar ve havacılık sektörü olmak üzere gelişmiş yapısal bileşenler, otomobil, depolama tankları, çerçeveler, yüksek hızlı trenler, boru hatları, gemi inşa ve savunma gibi endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır [16, 17].

2.2.3. AA 7075-T651 alüminyum alaşıımı

AA 7075 alüminyum alaşıımı 7xxx serisi alaşımlarından birisidir. Alüminyum – magnezyum – çinko alaşıımı olarak bilinmektedir. T651 yaşlandırma işlemi, alaşımanın mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla uygulanmaktadır [18]. Bu işlemin uygulandığı 7075 alüminyum alaşıımı havacılık ve otomotiv gibi çeşitli sektörlerde düşük yoğunluğu ve yüksek mekanik özelliklerinden dolayı bol miktarda kullanılmaktadır [19, 20].

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Alüminyum alaşımlarının normal helisel matkap ile delindiği çalışmalar çok fazlayken, U matkaplar ile delindiği çalışma sayısı oldukça azdır. Ayrıca kesici takım pazarında bulunan delik takımları içerisinde U matkapların pazar payı oldukça yüksek olmasına karşın literatür incelendiğinde hakkında oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Literatür incelemesi konu başlıklarına göre sıralanmıştır.

3.1. U Matkap ile İlgili Çalışmalar

Rahman ve diğerleri yaptıkları çalışmada kesme koşullarının delme kuvvetleri, yüzey kalitesi, matkap aşınması ve delik büyüklüğüne etkileri açısından U matkapların geleneksel helisel matkaplardan daha iyi yüzey kalitesi ve daha iyi çaptan sapmaya sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Helisel matkaplara kıyasla daha düşük tork ve itme kuvvetinin olduğunu, bunun da daha uzun takım ömrü ve daha az güç tüketimi sağladığını belirlemişlerdir. Delik delme sırasında U matkabın malzeme yüzeyinde gezmediği gözlenmiştir [2].

Wang ve diğerleri U matkaplarda kullanılan merkezi ve çevresel kesici uçların aynı ve farklı geometriye sahip olması durumunda oluşan uç açısı, kesme kenarı açısı ve boşluk açısının itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, dairesellik ve titreşim üzerinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir [3].

Rahman ve diğerleri U matkap ile elde edilen bir deliğin, normal daire yerine oval şekilli olduğunu, yapılan bir Fourier analizi ile deliğin dairesellikten sapmasının nedenlerini incelemişlerdir. Tırlamayı giderecek kararlılık diyagramları ve eşitlikler oluşturmuşlardır [21].

Rezende ve diğerleri farklı geometri ve kaplama malzemelerine sahip karbür uçlu U matkapların, delik kalitesi ve takım aşınması dâhil olmak üzere delme performansında önemli farklılıklar gösterdiğini ifade etmişlerdir. Karbür kesici uçların geometrisinin ve kaplama malzemelerinin delme işlemine etkisini incelemek için, talaş köklerindeki yığıntı talaşları (BUE) incelemişlerdir. Delme deneylerinde talaş köklerini elde etmek için yeni bir patlamalı hızlı durdurma cihazı geliştirmişlerdir [5].

Heisel ve diğ erleri  apak oluşumunu etkileyen parametreleri dikkate alarak, kısa delik delmede beklenecek  apak boyutlarının belirlenmesi için bir yöntem sunmuşlardır. Akma dayanımı, kuvvetler ve kesici uçların geometrisini dikkate almışlardır. Farklı  apak parametreleri ve kesme hızı, ilerleme miktarı ve takım geometrisi gibi işleme koşulları arasındaki korelasyonu hesaba katmışlardır. Schaefer'in  apak değeri g 'yi kullanarak  apak boyutlarının nicel bir değerlendirmesini yapmışlardır [22].

Jochem yaptığı çalışmada delik şekil doğruluğunu artırmak, matkap geometrisini ve delme işlemlerini optimize etmek için delme mekaniği ve dinamiklerinin matematiksel modellemesini yapmıştır. Mevcut çalışmada delme kuvvetleri, tork, g  , titreşimler ve delik şeklinin tahminini sunmuştur. Burulma, yanal ve eksenel titreşimleri incelemiştir [4].

Korucu yaptığı çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile kesicide meydana gelen gerilmeleri tanımlamak için matematiksel modeller geliştirmiştir. Normal matkap, uç kısmı değiştirilebilen matkap ve U matkabı incelemiştir. Gerilmelerin %5'lik hata payı sınırları içerisinde kaldığını, gerilme dağılımı üzerinde talaş kırııcı formlarının etkisiz olduğunu bulmuştur [23].

Taşdelen ve diğ erleri farklı soğutma yöntemlerinden kuru, basınçlı hava, emülsiyon ve MQL'i incelemişlerdir. Kesici aşınması, itme kuvveti, tork ve yüzey kalitesini incelemişlerdir. Hem merkezi hem de çevresel uçta en fazla aşınmanın ve an az itme kuvvetinin emülsiyon soğutma ile meydana geldiğini belirlemişlerdir [24].

Kabaklı yaptığı çalışmada farklı çaplarda titanyum karbonitrür (TiCN) kaplamalı U matkaplar ile delme değişkenlerinin optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, diklik ve silindirikliği incelemiştir. En etkili parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde delik çapının olduğunu, diklik ve silindiriklik üzerinde ise delik derinliğinin etkili olduğunu tespit etmiştir [25, 26].

Heisel ve Schaal yaptıkları çalışmada MQL ile delik delmede  apak oluşumu, sıcaklık, itme kuvveti ve torku incelemişlerdir. İlerlemenin  apak boyutu üzerinde etkili olduğunu, kesme hızının ise etkisiz olduğunu tespit etmişlerdir [27].

Biermann ve Hartmann çapak oluşumunu, karbondioksit kar jetleri ile soğutma yapan kriyojenik bir işlem, emülsiyon ve kuru işleme şartlarında incelemişlerdir. Çapak yüksekliği, yüzey pürüzlülüğü, çap ve dairesellikten sapmayı analiz etmişlerdir. Soğutma metotlarının deliklerin çaptan ve dairesellikten sapma üzerinde etkisiz olduklarını tespit etmişlerdir [28].

Özkul yaptığı çalışmada sıcak iş takım çeliği (Dievar) ve soğuk iş takım çeliği (Sleipner) malzemeleri HSS matkap, karbür matkap, kendinden raybalı karbür matkap ve U matkap ile delerek yüzey kalitesi, çaptan sapma, dairesellikten sapma, mikro yapı ve mikro sertlik ile karşılaştırmıştır. Diğer kesiciler ile karşılaştırıldığında U matkapların daha fazla yüzey pürüzlülüğüne ve dairesellikten sapmaya sebep olduğunu tespit etmiştir [29].

Liu ve diğerleri delik delme için sonlu elemanlar modeli oluşturmuşlardır. Delme işlemi sırasında iki kesici uç tarafından meydana gelen itme kuvveti, kesici aşınması, yanal kuvvetleri ve torku inceleyerek tahmin etmişlerdir. Merkezi ucun itme kuvvetinin, çevresel ucun ise tork değerlerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir [10].

Kaymakçı ve diğerleri değiştirilebilir kesici uçların kullanıldığı tornalama, delik büyütme, delme ve frezeleme operasyonları için birleşik kesme kuvveti modeli oluşturmuşlardır. Deneysel sonuçlar ile modelden elde edilen simülasyon sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Oluşturdukları modelin deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğunu bulmuşlardır [30-32].

Kheireddine ve diğerleri sıvı azot kriyojenik soğutma kullanılarak delinmiş deliklerin yüzey bütünlüğü üzerindeki etkisini, U matkap kullanarak incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar ve sonlu elemanlar analizi ile elde edilen değerleri karşılaştırmışlardır. Kuru duruma göre kriyojenik şartlarda delinen deliklerin yüzey sertliğinin daha yüksek olduğunu bulmuşlardır [33].

Parsian ve diğerleri kesme kuvvetlerini modellemek için mekanistik bir yaklaşım kullanmışlardır. Kesme kuvveti kat sayılarını, ölçülen anlık kuvvetlerden belirlemişlerdir. Bu kat sayıları, itme kuvveti ve torku simüle etmek için kullanmışlardır. Simüle edilmiş tork ve kuvvetlerin deneysel sonuçlar ile uyumlu olduklarını tespit etmişlerdir [34].

Okada ve diğerleri Inconel 718, Ti-6Al-4V, AISI 304 ve AISI 1045 malzemelerinin delinmesinde normal helisel matkap ile U matkabı karşılaştırmışlardır. Kesme özellikleri

itme kuvveti, delinmiş deliğin iç yüzey pürüzlülüğü, aşınma davranışı ve takım sıcaklığı kullanarak değerlendirmişlerdir. Karbür matkaba göre U matkap sıcaklık açısından Inconel 718 ve Ti-6Al-4V malzemesinde daha düşük, AISI 304 ve AISI 1045 malzemesinde daha yüksek, itme kuvveti açısından Inconel 718, Ti-6Al-4V ve AISI 1045 malzemesinde daha düşük, AISI 304 malzemesinde daha yüksek, yüzey pürüzlülüğü açısından tüm malzemelerde daha yüksek değerlerde sonuçlandığı tespit edilmiştir [35].

Parsian ve diğerleri U matkaplarda meydana gelen burulma-eksenel titreşimlerin deneysel ve dinamik yük modelini kurmuşlardır. İtme kuvveti, moment ve sesleri karşılaştırmışlardır. Burulma-eksenel titreşimleri incelemek için kuvvet ölçümleri ve mikrofona ile kaydedilen sesler zaman alanında ve frekans alanında karşılaştırılarak incelenmiştir. U matkapta kesimde gecikmelerin (geriye dönme) olduğunu tespit etmişlerdir [36].

Kılıç yaptığı çalışmada geometrik olarak tanımlanmış kesici kenarları kullanarak gerçekleştirilen işleme operasyonlarının genelleştirilmiş bir matematiksel modelini sunmuştur. Kesme kuvvetleri, titreşimler, tırlama rijitliği ve yüzey hataları, yarı ayırık bir zaman alanında eş zamanlı olarak tahmin etmiştir [37].

Ahmed ve diğerleri emülsiyon soğutma ile kriyojenik sıvı azot (LN_2) soğutucusunu karşılaştırarak delik delmeye etkilerini araştırmışlardır. Kriyojenik soğutmanın ıslak soğutmaya göre sıcaklığı, itme kuvvetini, torku, yüzey pürüzlülüğünü, dairesellikten ve silindiriklikten sapmayı azattığını tespit etmişlerdir [38-40].

Sheth ve George silindiriklik ve dikliği inceledikleri bir çalışmada gri ilişkisel analizi kullanmışlardır. Anova analizi ve regresyon eşitlikleri ile analizi gerçekleştirmişlerdir. Silindiriklik ve dikliğin kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinden etkilendiğini tespit etmişlerdir [41].

Nieslony ve diğerleri aynı kesici uç geometrisi ve sabit işleme koşullarında takım kaplamalarının farklı konfigürasyonuna sahip iki tip U matkap ($TiAlN / AlTiN + TiN$ ve $TiAlN / TiN$) için deneyler yapmışlardır. Delme işlemi sonucunda elde edilen itme kuvveti, tork ve yüzey kalitesini incelemişlerdir. Kesici uç kaplamalarının delme işlemlerinde önemli bir parametre olduğunu tespit etmişlerdir [42].

Alhat ve Pimpale özdeş kesici uçların U matkap gövdesi üzerinde farklı uç yerleşimine ve boşluk açılmasına sahip olmasını, kesici ömrü açısından deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile karşılaştırarak incelemişlerdir. U matkapların uç yerleşimi ve boşluk açılarının kesici ömrüne doğrudan etkisi olduğunu tespit etmişlerdir [43].

Griffin ve diğerleri kesici takım aşınmasıyla birlikte delik kalitesini izlemek için bir takım durumu izleme sistemi geliştirmişlerdir. İş mili motorunun akımını ve eksenel ilerleme motorunun akımını takım aşınma durumunu ve delik çapını tahmin etmek için başarılı bir şekilde kullanmışlardır [44].

Nieslony ve diğerleri takım kaplamalarının farklı konfigürasyonuna sahip farklı tiplerde değiştirilebilir uçlu matkaplar ve WC-Co matkap için analizler yapmışlardır. Metrolojik analiz, prob ucu ile izleme yöntemi ve optik profilometri yöntemini kullanmışlardır. Optik yöntem ile pürüzlülüğün daha hassas bir şekilde ölçülebileceğini tespit etmişlerdir [45].

Kumar ve Ahmed emülsiyon ve sıvı azot (LN_2) soğutması altında AISI 304 paslanmaz çelik ve TiCN kaplamalı karbür değiştirilebilir uçlu takım ile delme araştırmaları yapmışlardır. Kesme sıcaklığı, itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü analiz etmişlerdir. Delinen yüzeylerin mikro yapısı, takım aşınması ve talaş morfolojisini incelemişlerdir. Emülsiyon soğutmaya göre kriyojenik soğutmanın itme kuvvetini, yüzey pürüzlülüğünü artırdığını tespit etmişlerdir [46].

Artamonov ve diğerleri U Matkapta kullanılan kesici uçların gerilme durumunu incelemişlerdir. Kesici uçların tasarım parametrelerinin kesimdeki gerilme ve şekil değiştirme (gerinme) üzerinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir [47].

Parsian ve diğerleri farklı dinamik olayların kesme işlemlerinde üretilen seslere yansıdığını ifade etmişlerdir. Ses ölçüm sonuçlarında burulma, yanıl rejeneratif tırlama ve eksenel dönme titreşimlerini (whirling) incelemişlerdir. Ses ölçüm sonuçlarına göre açık bir şekilde burulma tırlamasının tespit edilebileceğini ancak dönme titreşimlerini ayırt etmenin ise zor olduğunu tespit etmişlerdir [48].

Parsian ve diğerleri U matkap üzerindeki merkezi ve çevresel kesici uçların dinamiği, kesme koşulları ve kesme direncindeki farklılıkları göz önünde bulundurarak burulma ve eksenel

titreşimleri simüle etmişlerdir. Bu yöntemle kesimde atlama yapan uçlar, çoklu gecikmeler, kenarların geriye doğru hareketleri ve sistemdeki değişken zaman gecikmelerinden kaynaklanan sapmaları modellemişlerdir. Oluşturdukları model ile her bir kesici uç tarafından üretilen kesme kuvvetlerini ve bu kuvvetlere sistemin yer değiştirmeler biçimindeki tepkilerini başarılı bir şekilde simüle etmişlerdir [1, 49].

Sönmez yaptığı çalışmada Armox 500 T çeliğinin U matkap ile delinmesinde oluşan delik içi yüzey pürüzlülüğü, deliğin daireselliği ve kesici takım üzerindeki aşınmaları incelemiştir. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin değişikliklere yol açmadığını, dairesellikten sapmanın ise kesme hızının artmasına paralel olarak arttığını tespit etmiştir [50].

Chernyshov U matkapların kesici uçlarında gerilme-şekil değiştirme durumunun hesaplanmasının sonuçlarını, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelemiştir. Delme işleminde kesme kuvvetlerinin hesaplanması için bir denklem sistemi geliştirmiştir. Farklı şekillerdeki değiştirilebilir kesici uçları incelemiştir. Kesici uçlardaki şekil ve açı değişimlerinin kesici dayanımı üzerinde doğrudan etkili olduğunu tespit etmiştir [11].

Kantharaj ve diğerleri faz değiştirme ısı transfer cihazı (ısı boruları) kullanarak takım iş parçası ara yüzünden ısıyı uzaklaştırmak için yeni bir yöntemi, U matkaplar tarafından gerçekleştirilen delme işlemi için uygulamışlardır. Özel olarak yapılmış bir U matkabı, eksenel olarak yerleştirilmiş bir ısı borusu ile tasarlamışlardır. Takım iş parçası ara yüzünün sıcaklığı, kesme kuvveti bileşenlerinin deneysel değerlerini kullanarak analitik olarak tahmin etmişlerdir. Kuru işlemeye göre ısı borularının kesme sıcaklığını azalttığını tespit etmişlerdir [51].

Svensson ve diğerleri AISI 4140 çeliğinin U matkap ile delinmesi sürecini 3D sonlu elemanlar yöntemi ile simüle etmişlerdir. İtme kuvveti, tork ve sıcaklık dağılımını modellemişlerdir. Deneysel sonuçlar ile simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında torku başarılı bir şekilde modellerken, itme kuvvetinin %12-20 arasında bir hata ile tahmin etmişlerdir. Simülasyon sonuçlarına göre itme kuvvetinin %55'i merkezi uç, torkun ise %70'lik kısmının çevresel uç ile karşılandığını tespit etmişlerdir [52].

U matkaplar ile ilgili çalışmaların literatür özeti Çizelge 3.1'de bulunmaktadır.

Çizelge 3.1. U matkaplar ile ilgili literatür özeti

Tarih	Malzeme	Çap	Girdi Parametreleri	Çıktı Parametreleri	Kaynak
1988	AISI 1045	18, 20	Farklı kesiciler (U matkap, normal matkap), Kesme hızı	İtme kuvveti, Tork, Çaptan sapma, Dairesellikten sapma, Güç	[2]
1991	AISI 1026	19	Farklı özellikte gövde ve uç, Kesme hızı	İtme kuvveti, Tork, Dairesellikten sapma, Ses seviyesi, Titreşim	[3]
1993	AISI 1045	20	Farklı kesiciler (U matkap, normal matkap)	Dairesellikten sapma	[21]
1996	AISI 1018 Çeliği	19	Farklı özellikte gövde ve uç	BUE, Yüzey pürüzlülüğü, Dairesellikten sapma, Kesici aşınması	[5]
2005	AISI 5120, AISI 1045	-	İlerleme miktarı, Kesme hızı	İtme kuvveti, Tork, Sıcaklık	[22]
2006	Al 7050-T7451	-	Farklı özellikte gövde, İlerleme miktarı, Kesme hızı	İtme kuvveti, Tork, Ses analizi, Titreşim	[4]
2007	AISI 1050	20	Farklı kesiciler (U matkap, normal matkap, uç kısmı değiştirilebilir matkap), Kesme hızı, İlerleme miktarı, Sonlu elemanlar analizi	İtme kuvveti	[23]
2008	Çelik	19	Soğutma yöntemleri	İtme kuvveti, Tork, Yüzey pürüzlülüğü, Kesici aşınması	[24]
2009	AISI 1045, 4140, 5115, AA 2007	25	Kesici uç şekli, MQL miktarı, İlerleme miktarı, Kesme hızı	İtme kuvveti, Tork, Sıcaklık	[27]
2009	AISI 1035	19, 23, 26	Delik çapı, Delik derinliği, İlerleme miktarı, Kesme hızı	Yüzey pürüzlülüğü, Dairesellikten sapma, Diklik	[25]
2012	AISI 1045		Sonlu elemanlar analizi	İtme kuvveti, Tork, Kesici aşınması, Sıcaklık	[10]
2012	Dievar (Sıcak), Sleipner (Soğuk)	16	Malzeme, Farklı kesiciler, Kesme hızı, İlerleme miktarı	İtme kuvveti, Tork, Yüzey pürüzlülüğü, Dairesellikten sapma, Sertlik, Mikro yapı	[29]
2012	AISI 4337 - AA 6082	25	Malzeme, Soğutma yöntemleri, Soğutucu miktarı, İlerleme hızı	Yüzey pürüzlülüğü, Dairesellikten sapma, Çapak yüksekliği	[28]
2012	AA7050-T7451	21	Analitik modelleme	İtme kuvveti	[30]
2013	Magnezyum AZ31b	25	Soğutma yöntemleri, İlerleme miktarı, Sonlu elemanlar analizi	İtme kuvveti, Sertlik	[33]
2014	AISI1045, AISI 304, Ti-6Al-4V, Inconel 718	16	Malzeme, Farklı matkaplar (U matkap, helisel matkap), İlerleme miktarı, Kesme hızı	İtme kuvveti, Yüzey pürüzlülüğü, Kesici aşınması, Sıcaklık, Talaş analizi	[35]

Çizelge 3.1. (devam) U matkaplar ile ilgili literatür özeti

2014	AISI 1035		Matkap çapı, Delik derinliği, İlerleme miktarı, Kesme hızı	Yüzey pürüzlülüğü, Dairesellikten sapma, Diklik	[26]
2014	42CrMoS4 (SS 2244).	24	Analitik modelleme, İlerleme miktarı	İtme kuvveti, Tork	[34]
2015	42CrMoS4 (SS 2244).	24	Analitik modelleme, İlerleme miktarı	İtme kuvveti, Tork	[36]
2016	Çelik P265GH, Ti katmanı	20	Malzeme, Farklı kesici ve uçlar	İtme kuvveti, Tork, Yüzey pürüzlülüğü	[42]
2016	AL 7075-T7451		Analitik modelleme	İtme kuvveti	[31, 32]
2016	2205 Dupleks paslanmaz çelik	39	İlerleme miktarı, Kesme hızı	Dairesellikten sapma, Kesici aşınması	[44]
2016	Dövme döküm Çeliği		İlerleme miktarı, Kesme hızı	Dairesellikten sapma, Diklik	[41]
2016	AISI 1030	35	Kesici uç boşluk açıları, Sonlu elemanlar analizi	Kesici aşınması	[43]
2017	Taban 25mm çelik P265GH, 5mm Ti kaplama	20	Farklı kesiciler, Yüzey pürüzlülüğü ölçüm yöntemi,	Yüzey pürüzlülüğü	[45]
2017	AISI 304	16	Soğutma yöntemleri, İlerleme miktarı, Kesme hızı	İtme kuvveti, Tork, BUE, Sıcaklık, Talaş analizi, Mikro yapı	[46]
2017	AISI 321	25	Kesici uç şekli	İtme kuvveti, Tork	[47]
2017	34CrNiMoS6 (SS 2541)	24	Farklı U matkap, İlerleme miktarı, Kesme hızı	Ses analizi, Titreşim	[48]
2017	34CrNiMoS6 (SS 2541)	24	Analitik modelleme, İlerleme miktarı	İtme kuvveti, Tork, Ses analizi, Titreşim	[49]
2019	Armox 500T	20	Kesme hızı	Yüzey pürüzlülüğü, Dairesellikten sapma, Kesici aşınması, Mikro yapı	[50]
2019	-		Kesici uç şekli, Sonlu elemanlar analizi	BUE, Diklik	[11]
2019	Dökme Demir	20	İlerleme miktarı, Kesme hızı	İtme kuvveti, Tork	[51]
2022	AISI 4140	23	Sonlu elemanlar analizi, İlerleme miktarı	İtme kuvveti, Tork, Çapak yüksekliği	[52]

3.2. Alüminyum Alaşımlarının Delinmesi ile İlgili Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında AA 2024-T351, AA 6061-T651 ve AA 7075-T651 olmak üzere üç adet alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Bu malzemelerin delinmesi ile ilgili literatür özeti aşağıda yer almaktadır.

Nouari ve diğerleri AA 2024 alüminyum alaşımını, sement tungsten karbür ve HSS takımlarının aşınma mekanizmalarını araştırmak için kullanmışlardır. Çaptan sapma, sıcaklık, yüzey pürüzlülüğü ve kesicilerin aşınma görüntülerini incelemişlerdir. HSS matkaplar ile AA 2024'ün kuru delinmesinin uygun olmadığını tespit etmişlerdir [53].

Kaynak yaptığı çalışmada AA 2024-T4 alaşımını farklı kaplamalara sahip matkaplar ile kuru şartlarda delmiştir. Deneysel ve sayısal yöntemlerle itme kuvveti ve kesme sıcaklığını karşılaştırarak incelemiştir. TiN kaplama ile beraber 130° uç açısına sahip matkabın daha iyi sonuç verdiğini tespit etmiştir [54].

Kurt ve diğerleri AA 2024 alaşımının delinmesinde farklı kaplama, uç açısı, kesme hızı ve ilerleme hızının delik boyutu, yüzey pürüzlülüğü, üretilen deliğin daireselliği ve radyal sapması üzerindeki rolünü deneysel olarak incelemişlerdir. Delik çapının uç açısından önemli oranda etkilendiğini, çeşitli titreşim modlarının dairesellikten sapma üzerinde olumsuz etkiye sebep olduğunu tespit etmişlerdir [55].

Lauderbaugh AA 2024-T351 ve AA 7075-T6 alüminyum alaşımlarını kullanmıştır. Deneysel çalışmayı, simülasyon ve istatistiksel araçları birleştirmek için bir yöntem sunmuştur. Bu yöntem ile çapak yüksekliğini, kuvveti, ısı akışını ve sıcaklığı başarılı bir şekilde tahmin etmiştir [56].

Kutlu yaptığı çalışmada AA 2024 malzemesini farklı çaplarda elmas benzeri karbon (DLC) ile kaplanmış matkaplarla delmiştir. Meydana gelen sıcaklık, yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvvetini incelemiştir. Kuru ortamda AA 2024 malzemesini DLC kaplamalı matkapla delmenin uygun olduğunu tespit etmiştir [57].

Zitoun ve diğerleri optimum işleme parametrelerini seçmek için çeşitli çaplarda karbür matkaplarla, karbon fiber takviyeli plastik (CFRP)/AA 2024 yığınının soğutma sıvısı olmadan delmiştir. İtme kuvveti, tork ve yüzey kalitesini deneysel olarak incelemişlerdir. Matkap çapının arttığında itme kuvveti ve torkun arttığını, CFRP malzemesine göre AA 2024 malzemesi ile daha iyi yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik elde edilebileceğini tespit etmişlerdir [58].

Zhu ve diğerkleri AA 2024-T351/ Ti6Al4V yığınınını farklı geometrik özelliklere sahip helisel matkaplar ile delmişlerdir. İtme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, talaş analizi ve çapak yüksekliğini incelemişlerdir. Kesme hızındaki artış ile delik dışına atılan talaş miktarının azaldığını dolayısıyla itme kuvvetinin arttığını, talaş morfolojisi üzerinde ilerleme miktarının daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir [59].

Sreenivasulu ve Srinivasa AA 6061 alaşımının delinmesinde çapak boyutunun modellenmesi, simülasyonu ve deneysel doğrulamasını itme kuvvetinin incelenmesi ile gerçekleştirmişlerdir. Düşük kesme hızlarında deneysel sonuçlar ile simülasyon sonuçlarının uyumsuz olduğunu bu duruma düşük kesme hızı ve ilerleme miktarında malzemeyi matkabın daha zor ağızlamasına bağlamışlardır [60].

Yarar yaptığı çalışmada AA 6061 malzemesini kaplamalı ve kaplamasız HSS matkaplar ile titreşimsiz ve titreşim destekli olarak delmiştir. İtme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını karşılaştırarak incelemiştir. AA 6061 malzemesine yapılan T1 ısıt işleminin T6 ısıt işlemine göre %25 daha yüksek kesme kuvvetine, %300 yüzey pürüzlülüğünde artışa neden olduğunu bu duruma daha yumuşak olan malzemenin kesiciye yapışarak daha fazla sürtünme kuvveti meydana getirmesinin neden olduğunu tespit etmiştir [61].

Özçelik ve Bağcı AISI 1040 çeliği ve AA 7075-T651 alüminyum alaşımını TiAlN kaplamalı matkaplar ile delmişlerdir. Deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar modelinden elde edilen verileri sıcaklık ve itme kuvveti açısından karşılaştırarak incelemişlerdir. İlerleme miktarının artması ile sıcaklığın azaldığını tespit etmişlerdir. Deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar modelinin tutarlı olduğunu tespit etmişlerdir [62, 63].

Özkan yaptığı çalışmada AA 7075-T6 alüminyum alaşımını farklı çaptaki helisel matkaplar ile delmiştir. Delme esnasında meydana gelen sıcaklık oluşumunu yapay sinir ağları ile modelleyerek incelemiştir. Deneysel sonuçlar ile modelden elde edilen sonuçların yüksek bir doğrulukta olduğunu tespit etmiştir [64].

Yakut yaptığı çalışmada AA 7075 malzemesini DLC kaplamalı matkaplar ile delmiştir. Girdi parametrelerinin sıcaklık ve itme kuvvetine etkisini incelemiştir. AA 7075 malzemesinin DLC kaplamalı matkaplar ile kuru şartlarda başarılı bir şekilde

delinebileceğini belirlemiştir. Sıcaklık ve itme kuvveti üzerinde en büyük etkiye ilerleme miktarının sebep olduğunu tespit etmiştir [65].

Çakıroğlu ve Acır AA 7075-T6 alüminyum alaşımını kaplamalı ve kaplamasız matkaplar ile delmişlerdir. Delik delme esnasında meydana gelen sıcaklıkları inceleyerek optimize etmeye çalışmışlardır. Sıcaklığın kesme hızının artışıyla arttığını, ilerleme miktarının artması ile azaldığını tespit etmişlerdir [66].

Lei ve diğerleri AA 7075 alüminyum alaşımını farklı kaplamalara sahip matkaplar ile delmişlerdir. Delik delme esnasında meydana gelen itme kuvveti ve aşınmaları incelemiştir. Kaplama kalınlığının az olduğunda çabucak kalktığını, çok olduğunda ise kısa bir delme süresi sonunda aşındığını ifade ederek orta kalınlıkta kaplamanın daha ideal sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir [67].

Çakır yaptığı çalışmada AA 7075 ve AA 6013 alüminyum malzemeleri HSS ve karbür matkaplarla delmiştir. İtme kuvveti, moment ve talaşları karşılaştırarak analiz etmiştir. AA 7075 malzemesinin AA 6013 malzemesine göre itme kuvvetinin daha yüksek olduğunu, HSS matkabın karbür matkaptan daha fazla itme kuvvetine neden olduğunu tespit etmiştir [68].

Ucun yaptığı çalışmada AA 7075-T6 alüminyum alaşımının delinmesinde helisel ve üç oluklu matkapları kullanmıştır. Meydana gelen deneysel itme kuvveti sonucunu, sonlu elemanlar yöntemiyle modellenen simülasyon sonuçları ile karşılaştırmıştır. Üç oluklu matkabın daha fazla itme kuvveti ve torka neden olduğunu tespit etmiştir [69].

Çakır yaptığı çalışmada AA 7075 ve AA 2024 alüminyum alaşımlarını dört farklı soğutma yöntemini kullanarak delmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma, dairesellikten sapma ve silindiriklikten sapma, itme kuvveti ve torkları incelemiştir. En düşük değerlerin geleneksel soğutma yöntemi ile elde edilirken, en yüksek değerlerin basınçlı hava ile soğutma yöntemi ile elde edildiğini tespit etmiştir. AA 2024 ile elde edilen çıktı yanıtlarının AA 7075 ile elde edilenlerden daha yüksek olduğunu tespit etmiştir [70].

Kılıçkap ve Hüseyinoğlu AA 7075 malzemesinin matkap ile delinmesinde kullanılan farklı soğutma tekniklerinin yüzey pürüzlülüğü, çapak yüksekliği ve sıcaklık üzerindeki etkilerini

incelemişlerdir. Basınçlı hava ve kuru işlemeye göre minimum soğutma sıvısı yönteminin daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir [71].

Aydın ve Nalbant karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) kompozit ve AA 7075 malzemenin oluşturduğu istifli yapıyı farklı kaplamalara ve uç açılarına sahip matkaplar ile delmişlerdir. Deneylerde itme kuvveti, moment, delaminasyon değerleri, yüzey pürüzlülükleri, kesici aşınmalarını incelemişlerdir. TiAlN kaplamalı matkapların çok fazla talaş sıvanması ve buna bağlı itme kuvveti artışı ile bu malzemeyi delmede başarılı olduğunu, 130° uç açısına sahip karbür matkapla delmenin daha başarılı sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir [72, 73].

Çaydaş ve Çelik AA 7075 - T6 alüminyum alaşımını karbür takımlarla delmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü, itme kuvveti ve takım uç sıcaklığını deneysel olarak incelemişlerdir. İlerleme miktarı ve matkap uç açısındaki artış ile itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün arttığını, sıcaklığın ise azaldığını tespit etmişlerdir [74].

Özbek yaptığı çalışmada AA 7075-T651 malzemesini farklı kaplamalara sahip matkaplar ile delmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, matkap aşınması ve talaşları incelemiştir. DLC kaplı matkaplar ile elde edilen iş mili yüklerinin (zorlanma) diğer kaplamalara göre daha fazla olduğunu, en iyi yüzey kalitesinin karbür-TiAlN kaplamalı matkap ile elde edildiğini tespit etmiştir [75].

Erkan ve Yücel AA 7075 malzemesinin delinmesi ile deliklerde meydana gelen yüzey pürüzlülüğünü istatistiki yöntem ile incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiye kesme hızının, daha sonra ilerleme miktarının ve son olarak ise uç açısının neden olduğunu tespit etmişlerdir [76].

Alüminyum alaşımları ile ilgili çalışmaların literatür özeti Çizelge 3.2’de bulunmaktadır.

Çizelge 3.2. Alüminyum alaşımları ile ilgili literatür özeti

Tarih	Malzeme	Girdi Parametreleri	Çıktı Parametreleri	Kaynak
2005	AA 2024	Matkap malzemesi, Kaplama, Kesme hızı	Çaptan sapma, Sıcaklık, Yüzey pürüzlülüğü, Kesici aşınması	[53]
2006	AA 2024-T4	Kaplama, Uç açısı, İlerleme miktarı, Kesme hızı	İtme kuvveti, Sıcaklık	[54]
2006	AA 7075-T651	İlerleme miktarı, Kesme hızı	Sıcaklık, İtme kuvveti	[62, 63]

Çizelge 3.2. (devam) Alüminyum alaşımları ile ilgili literatür özeti

2008	AA 2024	Kaplama, Uç açısı, İlerleme miktarı, Kesme hızı	Delik boyutu, Yüzey pürüzlülüğü, Dairesellik, Radyal sapma	[77]
2009	AA 2024-T351 AA 7075-T6	İlerleme miktarı, Kesme hızı, Matkap çapı, Uç açısı, Malzeme	Çapak yüksekliği, İtme kuvveti, Sıcaklık	[56]
2009	AA 2024	İlerleme miktarı, Kesme hızı, Matkap çapı	Sıcaklık, Yüzey pürüzlülüğü, İtme kuvvetini	[57]
2009	AA 7075	İlerleme miktarı, Kesme hızı	Sıcaklık, İtme kuvveti	[65]
2009	AA 7075 ve AA 6013	Malzeme, Kesici, İlerleme miktarı, Kesme hızı	İtme kuvveti, Tork	[68]
2009	AA 7075	İlerleme miktarı, Kesme hızı	Yüzey pürüzlülüğü, Çapak yüksekliği, Sıcaklık	[78]
2010	CFRP /AA 2024 Yığını	İlerleme miktarı, Kesme hızı, Matkap çapı	İtme kuvveti, Tork, Yüzey kalitesi	[58]
2013	AA 7075-T6	İlerleme miktarı, Kesme hızı, Matkap çapı	Sıcaklık	[64]
2013	AA 7075-T6	İlerleme miktarı, Kesme hızı, Kaplama	Sıcaklık	[66]
2015	AA 7075	Kaplama	İtme kuvveti, Kesici aşınması	[67]
2015	AA 7075 ve AA 2024	Malzeme, Kesici, İlerleme miktarı, Kesme hızı, Tezgâh, Soğutma yöntemleri,	Yüzey pürüzlülüğü, Çaptan sapma, Dairesellikten sapma, Silindiriklikten sapma, İtme kuvveti, Tork	[70]
2016	AA 6061	Kaplama, İlerleme miktarı, Kesme hızı, Titreşim frekans ve genliği	İtme kuvveti, Yüzey pürüzlülüğü, Takım aşınması	[61]
2016	AA 7075-T6	Matkap türü, İlerleme miktarı, Kesme hızı	İtme kuvveti, Tork	[69]
2017	AA 7075 - T6	İlerleme miktarı, Uç açısı	İtme kuvveti, Yüzey pürüzlülüğü, Sıcaklık	[74]
2018	AA 2024-T351/ Ti6Al4V yığını	Matkap uç geometrisi, İlerleme miktarı, Kesme hızı	İtme kuvveti, Yüzey pürüzlülüğü, Talaş analizi, Çapak yüksekliği	[59]
2018	AA 6061	İlerleme miktarı, Kesme hızı, matkap çapı, Uç açısı, Boşluk açısı	İtme kuvveti	[60]
2018	AA 7075	İlerleme miktarı, Kesme hızı, Uç açısı	Yüzey pürüzlülüğü	[76]
2019	CFRP /AA 7075 Yığını	Matkap uç açısı, Kaplama, Delme yöntemi	İtme kuvveti, Tork, Delaminasyon değeri, Yüzey pürüzlülüğü, Kesici aşınması	[72, 73]
2020	AA 7075-T651	İlerleme miktarı, Kesme hızı, Kaplama, Matkap çapı	Yüzey pürüzlülüğü, Matkap aşınması, İş mili yükü	[79]

3.3. Literatürün genel değerlendirilmesi

U matkaplar ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde kullanılan U matkaplar Ø16 ile Ø39 arasında değişmekle beraber genellikle Ø20'li değerlerin daha fazla yer aldığı görülmüştür. Çalışmaların yürütülmesinde deneysel çalışmalar ağırlıklı olmak üzere analitik ve sonlu elemanlar analizi ile yapılan modellemelerde bulunmaktadır. İncelenen çıktı parametreleri dikkate alındığında ise itme kuvveti, tork, yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma gibi çalışmalar ağırlıklı yer almaktadır. Deney malzemesi olarak genellikle çelik içerikli alaşımlar tercih edilmiştir. Alüminyum alaşımlarından yalnızca AA 7050-T7451, AA 2007, AA 7075-T7451 ve AA 6082 malzemeleri kullanılmıştır. Bu çalışmada U matkap uzunluğunun delik delmeye etkisini incelemek üzere uzunluğun çapa oranı 3D, 4D ve 5D olan U matkaplar tercih edilmiştir. Bununla beraber aynı uzunluk/çap oranına sahip olmakla beraber merkezi ucun bulunduğu talaş tahliye kanalına açılan ekstra soğutucu deliğin etkisinin de incelenmesi hedeflenmiştir. Alüminyum alaşımlarından olan AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. İncelenen çalışmaların tümü HSS veya karbür matkaplar kullanılarak delinmiştir. Girdi parametreleri olarak ilerleme miktarı, kesme hızı, matkap çapı, matkap kaplaması, uç açısı gibi değişkenler belirlenmiştir. Çıktı parametreleri olarak ise itme kuvveti, tork, yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık gibi değişkenler incelenmiştir. Daha önce U matkaplar ile delik delme çalışmalarında kullanılmayan AA2024-T351, AA6061-T651 ve AA7075-T651 malzemeleri tercih edilmiştir. Bu çalışma ile farklı uzunluk/çap oranlarının ve ekstra soğutucu deliğin alüminyum alaşımlarının delinmesine etkisi itme kuvveti, tork, iş mili yükü, yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma, silindiriklikten sapma, dairesellikten sapma, sıcaklık, ses seviyesi gibi çıktı yanıtları ile incelenmesi hedeflenmiştir. Böylelikle alüminyum alaşımlarının işlenmesinde literatürde bulunan büyük bir boşluğun kapatılacağı düşünülmüştür.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Deney Tasarımı

Farklı geometrik özelliklere sahip U matkaplar kullanılarak alüminyum alaşımlarının delinmesinde çıktı parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Çıktı parametreleri olarak itme kuvveti, tork, iş mili yükü, ses seviyesi, çaptan sapma, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma, sıcaklık, kesici görünümü ve talaş görüntüleri incelenmiştir. Deneyler tam faktöriyel deney tasarımına göre yapılmıştır. İki aşamalı bir deney planı düşünülmüştür. Deney planları aşağıdaki çizelgelerde yer almaktadır. Ana deneyler (Çizelge 4.1) ıslak (emülsiyon) ortamda, sıcaklık oluşumunun etkisini incelemek üzere yapılan ek deneyler (Çizelge 4.2) ise kuru ortamda ve tek ilerleme miktarı (f) ile yapılmıştır. Kuru şartlarda alüminyum malzemenin U matkaba sıvanması problemi nedeniyle tek f değeri (0,12 mm/rev) tercih edilmiştir. Yüksek f değerinin seçilmesindeki ana sebep delme süresinin kısalması dolayısıyla sıcaklığın fazla artmadan delme sürecinin tamamlanacağı düşüncesi olmuştur. Ön deneyler ile bu durum netleştirilmiştir. Ana deney tasarımı için 108 adet deney, ek deneyler için 27 adet deney planlanmıştır ancak deneyler esnasında ana deneyler için 13 deney, ek deneyler için 2 adet deney tekrar edilmiştir. Toplamda 150 adet deney yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Ana deney tasarımı

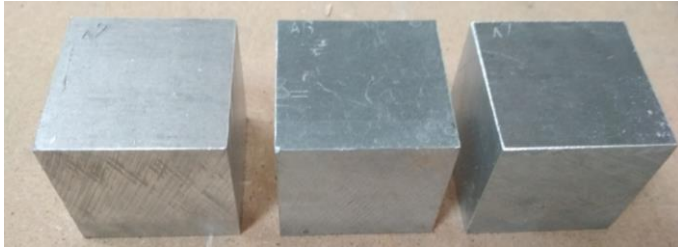
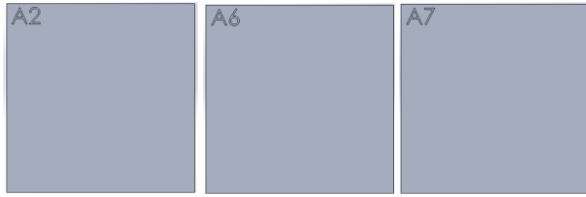
Ana Deneyler (Islak)			
U matkap uzunluk/çap oranı, L/D	Malzeme	İlerleme hızı, f (mm/dev)	Kesme hızı, Vc (m/dak)
4 Adet	3 Adet	3 Adet	3 Adet
3D	AA 2024	0,06	200
4D	AA 6061	0,09	250
4De	AA 7075	0,12	300
5D			
Toplam			108 Deney

Çizelge 4.2. Ek deneyler

Ek Deneyler (Kuru)			
U matkap uzunluk/çap oranı, L/D	Malzeme	İlerleme miktarı, f (mm/dev)	Kesme hızı, Vc (m/dak)
3D	AA 2024	0,12	200
4De	AA 6061		250
5D	AA 7075		300
Toplam			27 Deney

4.2. Deneylerde Kullanılan İş Parçası Malzemeleri

Deneylerin yapılmasında literatür ve piyasa araştırılmış havacılık, savunma gibi endüstrilerde en fazla kullanılan alüminyum alaşımlarından 3 tanesi seçilmiştir. İş parçası malzemesi olarak AA 2024-T351, AA 6061-T651 ve AA 7075-T651 malzemeleri seçilmiştir. İş parçaları üretici tarafından sertifikalı olarak alınmıştır. İş parçaları 40x40x40 mm küp biçiminde hazır ebatlanmış olarak teslim alınmıştır. Teslim alındıktan sonra tüm çapaklar temizlenerek birbiriyle karışmaması için harf ve rakam numaratorleri ile markalama işlemi tüm parçalara yapılmıştır. 2024 malzeme için iş parçasına A2 numarası, 6061 için A6 ve 7075 için A7 numaraları iş parçalarının hepsine markalanmıştır (Şekil 4.1). Şekildeki gibi markalama işlemi delmeye başlanacak yüzeyde ve sol üst köşede olacak şekilde yapılmıştır. Deney sırasında ise deney numaraları iş parçalarının üzerine markalanmıştır.



Şekil 4.1. İş parçalarının markalanması

İş parçaları teslim alındıktan sonrada spektrum analizi ve sertlik ölçümleri tekrar yapılmıştır. Alımı yapılan iş parçalarından AA 2024-T351, AA 6061-T651 ve AA 7075-T651 iş parçaları arasından birer numune seçilerek yüzeyleri temizlenmiştir. Temizlenen yüzeyler önce 240 mesh sonra 600 mesh ve en sonda 1200 mesh zımpara ile zımparalanmıştır. Sertlik ölçümü için “Emcotest Duravision 200 Üniversal sertlik cihazı” kullanılmıştır (Resim 4.1). Brinell sertlik (HB) biriminde ölçümler alınmıştır. Ölçümler için bilye çapı 2,5 mm olan bir uç kullanılarak 61,25 Kg’lık yük ile üç noktadan sertlik ölçümleri alınmıştır. Sertlik değerleri

Çizelge 4.3'te yer almaktadır. Değerler literatürde ve standartlarda yer alan değerler ile uyumlu çıkmıştır.



Resim 4.1. Sertlik ölçümü

Çizelge 4.3. İş parçası sertlik ölçümleri

Malzeme	1.Ölçüm	2.Ölçüm	3.Ölçüm	Ortalama sertlik (HB)
AA 2024-T351	140	134	141	138
AA 6061-T651	114	115	116	115
AA 7075-T651	173	170	174	172

İş parçalarının kimyasal analizi “Bruker Q4 Tasman Model Optik Emisyon Spektrometresi” (Resim 4.2) ile yapılan ölçümler ve sertifikalar elde edilmiştir. Kimyasal bileşim ve yüzdeleri Çizelge 4.4'te yer almaktadır.



Resim 4.2. Optik Emisyon Spektrometresi

Çizelge 4.4. İş parçası spektrum analizi

	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Al
2024-T351	0,16	0,12	0,47	0,02	0,02	4,2	1,3	0,23	93,48
6061-T651	0,5	0,68	0,15	0,17	0,027	0,32	0,98	0,16	97,013
7075-T651	0,18	0,11	0,08	0,2	0,03	1,7	2,6	5,6	89,5

Malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla “Instron 3369 (50kN) cihazında” çekme testi yapılmıştır (Resim 4.3). Çekme testi için numuneler TS EN ISO 6892-1 standardına göre hazırlanarak testler gerçekleştirilmiştir. Çekme hızı olarak 0.6 mm/dak belirlenmiştir. Deneyler sonrasında ve sertifikalar ile elde edilen mekanik özellikler Çizelge 4.5’te yer almaktadır.



Resim 4.3. Çekme testinin yapılması ve numuneler

Çizelge 4.5. İş parçası malzemelerinin mekanik özellikleri

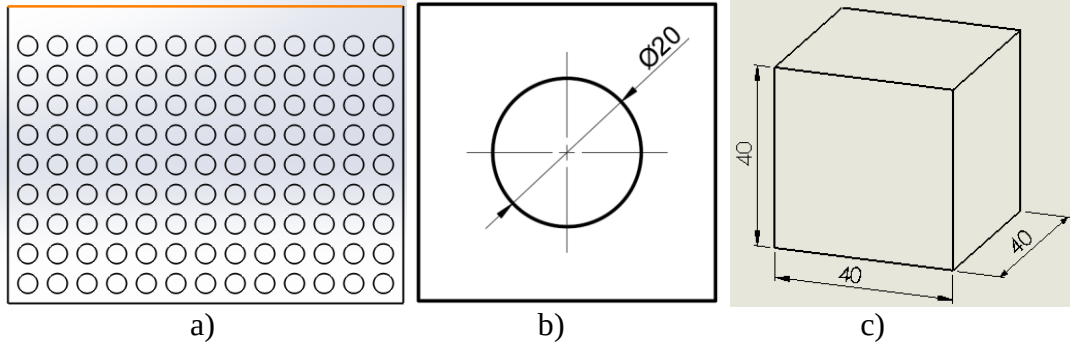
	Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	Uzama (%)	Elastik modülü (Gpa)	Pekleşme üsteli (n)
AA 2024-T351	447,8	312,1	15,4	54,7	0,178
AA 6061-T651	253,1	278,1	9,1	62,1	0,07
AA 7075-T651	503,8	468,5	10,5	57	0,085

Bu çalışma kapsamında belirlenen iş parçası malzemelerinin termal iletkenlikleri AA 2024 için 121 W/m.K, AA 6061 için 167 W/m.K ve AA 7075 için 130 W/m.K’dir. İş parçası malzemeleri birbirleriyle karşılaştırıldığında AA 2024’ün içeriğinde en çok bulunan alaşım elementi bakırdır ve % uzaması en yüksek olan malzemedir. AA 6061’in içeriğinde en fazla bulunan alaşım elementleri demir ve silisyumdur. İçeriğindeki alüminyum miktarı daha

fazladır. Diğerlerine göre sertliği ve işlenebilirlik oranı daha düşüktür. Elastikiyet modülü ve termal iletkenliği daha yüksektir. AA 7075'in içeriğinde daha fazla bulunan alaşım elementleri magnezyum ve çinkodur. Akma dayanımı, çekme dayanımı ve malzeme sertliği diğer malzemelere göre daha yüksektir. Alaşım elementlerinin kimyasal içeriği, mekanik ve termal özellikleri birbirlerinden farklı özellikte olup işlenebilirlik açısından farklı sonuçlar elde edilmektedir. Aralarındaki farklar bu çalışma kapsamında incelenecektir.

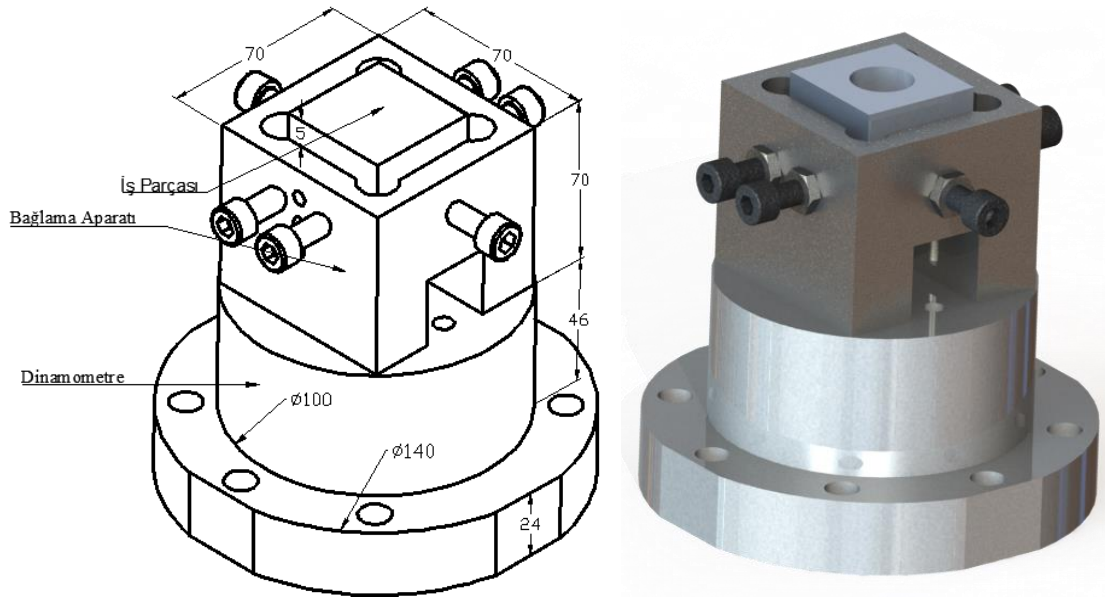
4.3. İş Parçası Bağlama Aparatı

Deney numunelerinin kuvvet ve tork ölçümü için dinamometreye (Kistler 9272) bağlanmasında bir plaka üzerinde çoklu delik delme (Şekil 4.2a) yerine bir deney için bir iş parçası (Şekil 4.2b) kullanılması tercih edilmiştir. İş parçası boyutları Şekil 4.2c'de yer almaktadır.

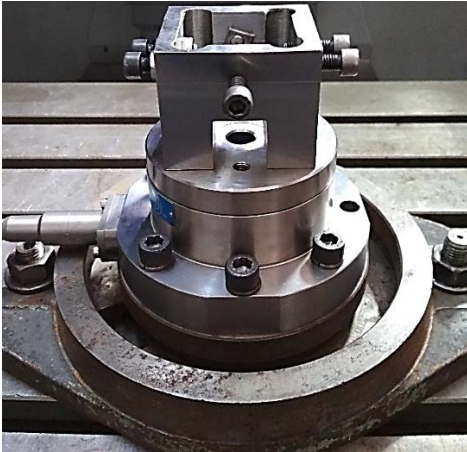


Şekil 4.2. a) Çoklu delik delme numunesi, b) tekli delme numunesi, c) iş parçası boyutları

Deneylerde kullanılan iş parçası boyutları, kesme kuvvetleri ve tork değerleri ölçümlerinin sağlıklı bir şekilde alınabileceği etki alanı içerisinde kalacak şekilde ayarlanmış ve bağlama aparatı dikkate alınarak belirlenmiştir. İş parçası üzerinden sıcaklıklar ölçülmüştür ve bu işlem için ısı çiftleri kullanılmıştır. Deneylerde iş parçasının bağlanması için uygun bir aparat tasarlanmıştır. Bağlama aparatında, hem sıcaklık ölçümü hem de delme esnasında iş parçasının dönmesini önlemek amacıyla en uygun parça sıkma ve konumlandırma yöntemi tercih edilmiştir (Şekil 4.3). İmalatı tamamlanan aparatın montajı yapılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.3. İş parçası bağlama aparatı tasarımı.



Şekil 4.4. İmalatı tamamlanmış bağlama aparatı

4.4. Takım Tezgâhı

Delme deneylerinin gerçekleştirilmesi için Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliğinde bulunan Resim 4.4'te ki "Johnford VMC 850 CNC dik işleme tezgâhı" kullanılmıştır. Tezgâhın özellikleri Çizelge 4.6'da yer almaktadır. Soğutucu olarak emülsiyon soğutucu delme ortamına dışarıdan püskürtülerek kullanılmıştır. Bilindiği gibi, derin delik ve kısa delik olmak üzere iki tip delik bulunmaktadır. Literatürde delik derinliği, matkap çapının üç katından büyük ise derin delik, üç katından az ise kısa delik olarak anılmaktadır. Bu çalışmada U matkap çapı 20 mm, delik derinliği ise 40 mm'dir. Ayrıca kesici takım kataloglarında da delik derinliği çapın üç katından büyük olursa içten soğutucu

kullanımı gerekliliği ifade edilmiştir. Emülsiyon karışımı suya %5 oranında “K 102 FORCE yarı sentetik kesme ve soğutma sıvısı” karıştırılarak hazırlanmıştır.

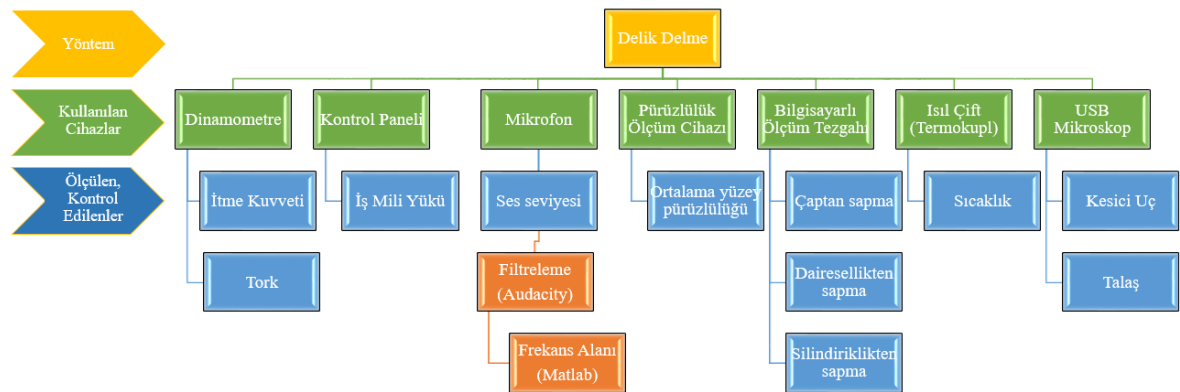


Resim 4.4. CNC dik işleme tezgâhı

Çizelge 4.6. CNC tezgâhının özellikleri

Tezgâhın gücü	7,5 KW
En yüksek devir sayısı	8000 dev/dak
Ölçü hassasiyeti	0,001 mm
Soğutucu tipi	Emülsiyon
Kontrol paneli	Fanuc

Girdi parametrelerine göre yapılan deneylerin akış şeması Şekil 4.5’te bulunmaktadır. Şekilde deney esnasında ve sonrasında yapılan işlemler ve elde edilen çıktı yanıtları bulunmaktadır.



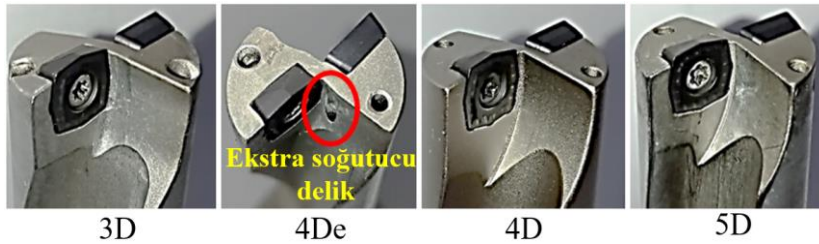
Şekil 4.5. Deneylerin akış şeması

4.5. Kesici Takımlar

Deneyleerde farklı geometrik özelliğe sahip 4 adet U matkap kullanılmıştır (Resim 4.5). Kullanılan U matkaplar ve kesici uçlar Korloy markadır ve ticari olarak piyasadan temin edilmiştir. Matkapların nominal çapı 20 mm'dir. Uzunluğun çapa oranı olarak ise 3D, 4D ve 5D U matkaplar kullanılmıştır. Aynı nominal çapa sahip 4D matkaplardan iki adet kullanılmıştır. 4De'nin merkezi ucun bulunduğu talaş tahliye kanalına üretici tarafından ekstra soğutucu deliği açılmıştır (Resim 4.6). 4D'de ise ekstra soğutucu delik yoktur. Farklı uzunluk/çap oranlarına sahip kesiciler arasındaki karşılaştırma maliyet açısından düşünülmüştür. Farklı derinliklere sahip iş parçalarının delinmesi işlemi için her zaman uygun uzunluk/çap oranına sahip U matkapların satın alınması maliyet açısından olumsuz olabilmektedir. Bu bakımdan daha büyük uzunluk/çap oranına sahip U matkapların seçilmesi, böylelikle daha kısa deliklerinde delinebileceği ihtimali dikkate alınmıştır. Ayrıca U matkaplar uygulayıcılar tarafından yoğun olarak kaba talaş boşaltma kesicisi olarak düşünülmektedir. Sonrasında ikincil işlemler ile delik kalitesi arzulanan tolerans seviyelerinde işlenmektedir. Bu çalışma ile son işlem olarak U matkap ile delik delmenin alüminyum alaşımlarının işlenmesinde mümkün olup olmadığının tespiti amaçlanmıştır.

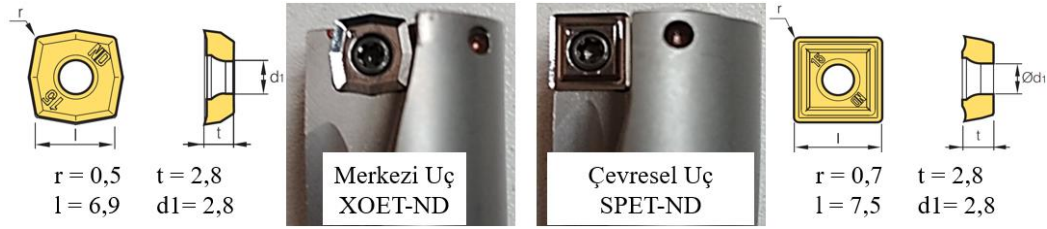


Resim 4.5. Kullanılan U matkaplar



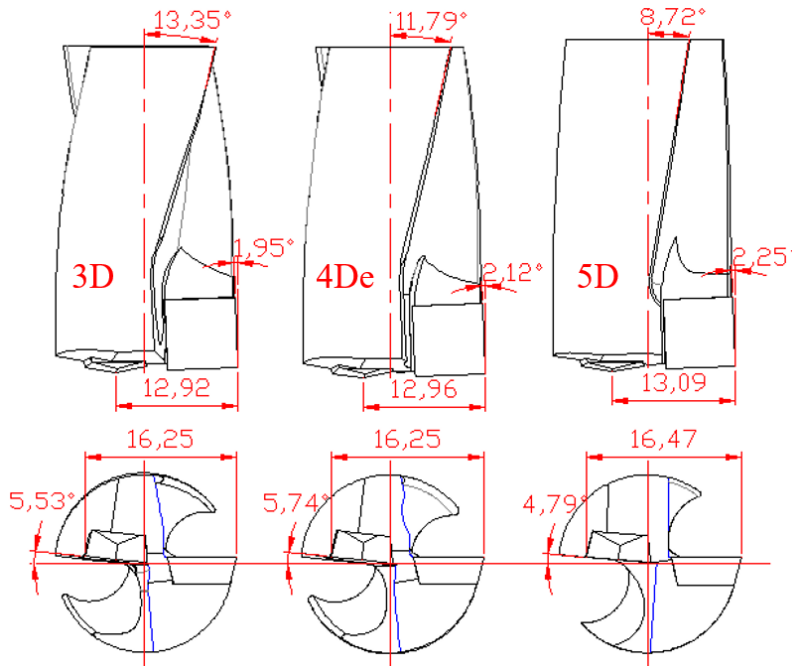
Resim 4.6. U matkapların uç kısmı

U matkaplarda biri içte diğeri ise dışta olmak üzere iki kesici uç bulunmaktadır (Şekil 4.6). Bu kesici uçların geometrileri birbirinden farklı olmakla beraber ikisi de alüminyum alaşımı işlemeye uygun kaplamasız tungsten karbür uçlardır. Merkezi uç olarak XOET-ND 07T205, çevresel uç için SPET-ND 07T208 ve H01 kalitesinde uçlar kullanılmıştır. Her delik delme işleminden sonra kesici uçlar yenisi ile değiştirilmiştir.



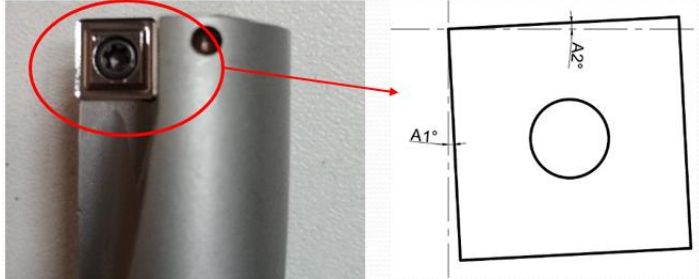
Şekil 4.6. Kullanılan kesici uç geometrileri

Kesici takım firmasından alınan U matkapların katalog ölçüleri birbirlerinin aynısı olup sadece aralarında uzunluk farkının olduğu belirtilmektedir. Ancak deneyler sonrasında bazı değerlerde beklentinin aksi yönde bulgular elde edilmiştir. Bu bulguların nedenlerinin detaylı olarak araştırılması amacıyla U matkapları tersine mühendislik kapsamında 3 boyutlu tarama ile taranmıştır. Veriler bilgisayar ortamına aktarılarak üç boyutlu modellenmiştir. Elde edilen 3B matkap modelleri, bir CAD programında açılarak üzerinden ölçüler alınmıştır. U matkaplar arasında tespit edilen ölçü farkları Şekil 4.7’de yer almaktadır.



Şekil 4.7. Üç boyutlu tarama ile elde edilen U matkap ölçüleri

Bununla birlikte, deneylerde kullanılacak olan U matkaplara kesici uçlar bağlandıktan sonra delmesi muhtemel çap optik ölçüm tezgâhı ile ölçülmüştür (Şekil 4.8). Ölçüm sonuçları ise Çizelge 4.7’de bulunmaktadır.



Şekil 4.8. Optik ölçüm şekli

Çizelge 4.7. Kesici uçların optik ölçüm değerleri

Optik ölçüm değerleri			
U Matkap	D, Çap (mm)	A1°	A2°
3D	19,826	1,94	2,12
4D	19,916	1,98	1,99
5D	19,886	1,66	2,1

U matkabı iş miline bağlamak için BT 40 VT 25 90 Veldon tipi takım tutucu kullanılmıştır (Resim 4.7).



Resim 4.7. Takım tutucu ve kesicinin bağlanması

4.6. Ölçme Yöntemleri

Mevcut çalışmada çıktı olarak itme kuvveti, tork, iş mili yükü, ses seviyesi, yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma, sıcaklık, kesici

görünümü, kapak ve talaş görüntüleri analiz edilmiştir. Bu yanıtların her birinin ölçümün için kullanılan cihazlar aşağıda sıralanmıştır.

4.6.1. Dinamometre ile kuvvet ölçümleri

Çalışma kapsamında farklı U matkaplar kullanılarak alüminyum alaşımları delinmiştir. Tüm deliklerin delinmesi esnasında itme kuvveti (F_z) ve tork (M_z) ölçülmüştür. Ölçümler için “Kistler marka 9272 modelinde dinamometre” kullanılmıştır. Amplifikatör olarak ise “Kistler 5070A” modeli kullanılmıştır. Deneylerden veriler 100 Hz örnekleme frekansında alınmıştır. Ölçüm verilerini grafik olarak gösteren ve ölçümlerin alındığı ara yüz programı olarak “DynoWare” kullanılmıştır (Şekil 4.9). DynoWare programında açılan sinyallerin en stabil aralıkları tespit edilerek ortalama F_z ve M_z değerleri alınmıştır.



Şekil 4.9. Kuvvet ölçüm ekipmanları

Delik delme deneylerinde kullanılan dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 4.8’de yer almaktadır.

Çizelge 4.8. Dinamometre ölçüm aralığı

Ölçüm aralığı		
F_x, F_y	kN	-5 5
F_z	kN	-5 20
M_z	N.m	-200 200

4.6.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri

Tüm delinen iş parçalarının pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler için “Mahr Perthometer M1” tipi yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır (Resim 4.8). Deliğin hem girişinden hem de çıkışından 5 mm içeride olmak üzere 4 kenardan ölçümler tekrar edilerek

aritmetik ortalama alınmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) ölçülmüştür. Cihazda kullanılan ölçüm ayarları Çizelge 4.9’da bulunmaktadır.



Resim 4.8. Delik içi pürüzlülük ölçümü

Çizelge 4.9. Ölçüm ayarları

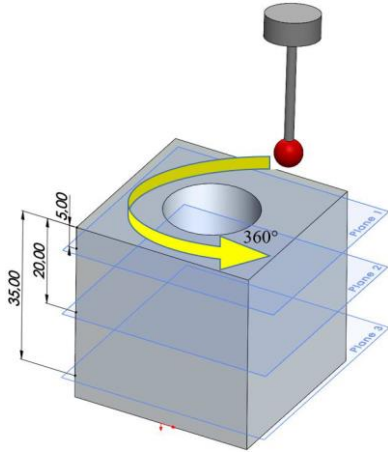
Ölçme yöntemi	İzleyici uç
Tarama hızı (mm/sn)	0,5
Sınır uzunluğu(Cut-off length), mm	0,8
Tarama uzunluğu, mm	5,6

4.6.3. Geometrik ve boyutsal ölçümler

Delikler delindikten sonra “Hexagon marka” bilgisayarlı ölçüm makinesi (CMM) kullanarak deliklerin çapı, dairesellik ve silindiriklikten sapma değerleri ölçülmüştür (Resim 4.9). Ölçümler alınırken iş parçasını bağlamak için delik delme esnasında kullanılan bağlama aparatı tercih edilmiştir. Ölçümler deliğin girişinden 5, 20 ve 35 mm derinliğinde oluşturulan üç düzlemde ölçülmüştür (Şekil 4.10). Ölçümler tespit edilen düzlemde deliğin tüm çevresi 360° taranarak yapılmıştır.

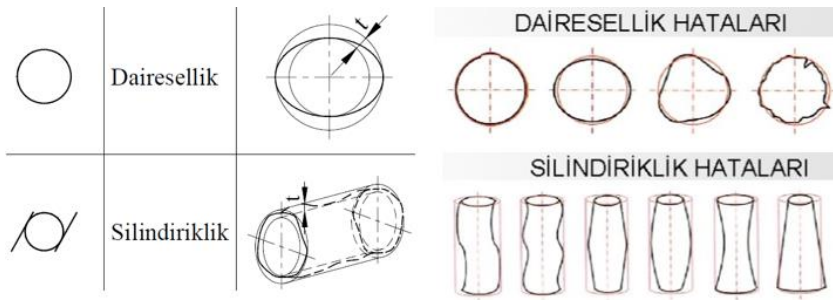


Resim 4.9. CMM tezgâhı ve ölçüm kurulumu



Şekil 4.10. CMM ölçüm düzlemleri

CMM tezgâhı kullanılarak iş parçasının üç düzleminden alınan veriler yardımıyla deliğin geometrik kalitesi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla deliğin çaptan sapması, dairesellikten sapması ve silindiriklikten sapması tespit edilmiştir. Deliğin çaptan sapması, deliğin nominal delik çapından ne kadar saptığının bir göstergesidir. Dairesellikten sapma, nominal daire şeklinden sapmayı temsil ederken, silindiriklikten sapma, deliğin silindiriklikten sapmasını temsil etmektedir (Şekil 4.11). Delik kalitesinin belirlenen tolerans aralıkları içerisinde olması gerekmektedir. Aksi halde malzeme fitesi, ikincil işlemler, zaman ve maliyet gibi problemler meydana gelmektedir.



Şekil 4.11. Yapılan ölçüm tipleri

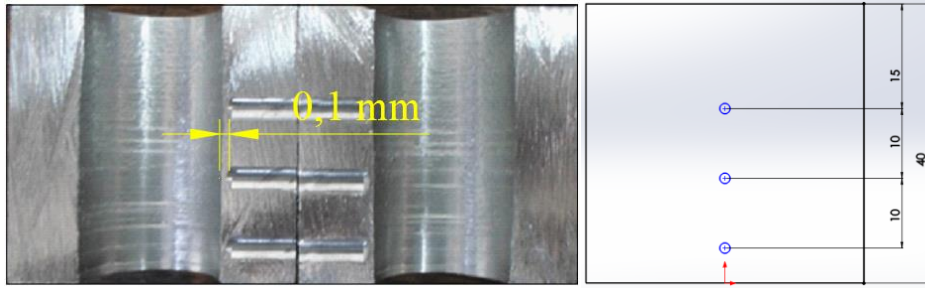
4.6.4. Sıcaklık ölçümü

Kuru deneylerde delik delme işlemiyle meydana gelen sıcaklıkları ölçmek için ısı çifti (termokupl) yöntemi kullanılmıştır (Resim 4.10). Isıl çift Ø1mm, K tipi, NiCrNi -200 ile 1200°C aralığında ölçüm yapabilmektedir. Isıl çiftler parçanın üst düzleminden birincisi 15mm, ikincisi 25mm ve üçüncüsü 35mm derinlikte bağlama kalıbına ve iş parçalarına

delinerek yerleştirilmişlerdir (Şekil 4.12). Sonra bu deliklerden ısıtıcı çiftler geçirilerek delik yüzeyine 0,1 mm'lik bir mesafeye kadar yaklaştırılmıştır.



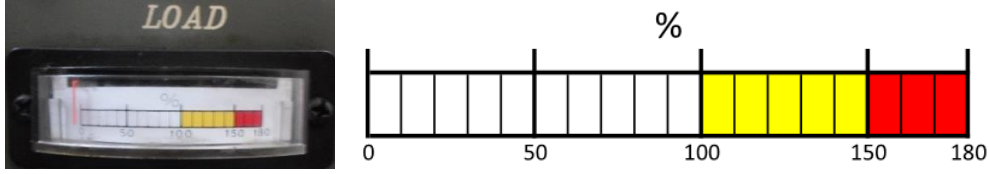
Resim 4.10. Sıcaklık ölçüm kurulumu



Şekil 4.12. Ölçüm delik pozisyonları

4.6.5. İş mili yükü

Delik delme deneyleri esnasında meydana gelen kesici zorlanmaları CNC takım tezgâhının kontrol panelinde bulunan “Load %” göstergesi takip edilerek maksimum değerler kaydedilmiştir (Resim 4.11). Böylelikle iş mili yükü değerleri elde edilmiştir. Beyaz bölge olan 0 ile 100 arasındaki değerler kesme işleminin sağlıklı olduğunu ifade etmektedir. Sarı bölge olan 100 ile 150 arasındaki değerler kesme işleminde yapışma, sıvanma gibi zorlanmaların meydana geldiğini ifade eder. Kırmızı bölge olan 150 ile 180 arasındaki değerler ise kesicinin kesme işlemini gerçekleştiremediğini işleme devam edilmesi durumunda kesici uç kırılması, iş miline hasar gibi olayların meydana gelebileceğini ifade etmektedir.



Resim 4.11. Load göstergesi

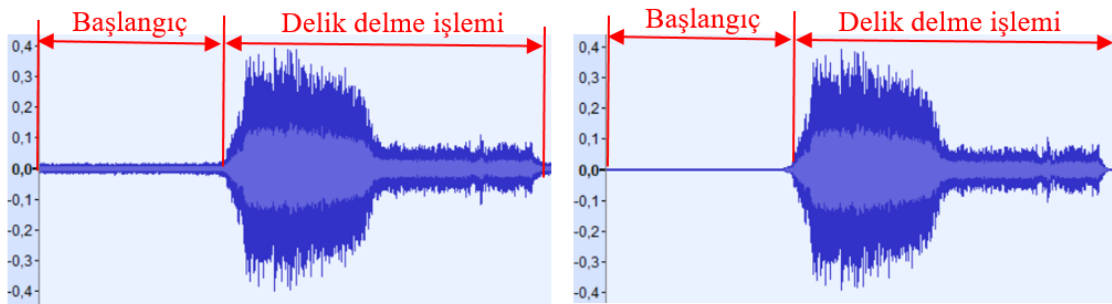
4.6.6. Ses seviyesi ölçümü

Ses seviyelerinin ölçümü için bir mikrofon kesme ortamına yakın bir konuma sabitlenmiştir (Resim 4.12). Kesme ortamından alınan sesler bir bilgisayar yardımıyla kaydedilmiştir. Kaydetme işlemi 44100 Hz örnekleme frekansında gerçekleştirilmiştir.



Resim 4.12. Kullanılan mikrofon ve konumlandırıldığı yer

Şekil 4.13'te örnek bir ses kaydı bulunmaktadır. Kaydedilen sesler Audacity bilgisayar programı yardımıyla işlenmiştir. Her bir delik delme işlemi sonrasında ses kaydının başlangıç kısmı seçilerek tüm ses kaydından, gürültü azaltma yöntemiyle çıkarılmıştır. Çünkü her işlem için U matkap, kesme hızı ve ilerleme miktarı farklıdır. Bu farklılıkların azaltılarak etkin bir ses analizinin yapılabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 4.13. Sesin ham hali (sol), gürültü azaltılmış hali (sağ)

4.6.7. Kesici uç, kapak ve talaş görüntüleri

Delik delme işlemi sonrasında kesici uçların durumunun görüntüsünü almak için 500X yakınlaştırma yapabilen bir USB mikroskop kullanılmıştır (Resim 4.13). Örnek kesici uç görüntüleri Resim 4.14’de bulunmaktadır. Bu cihaz ile talaş ve kapak görüntüleri de alınmıştır.



Resim 4.13. USB mikroskop



Kullanılmamış
Çevresel Uç



3D U matkap, AA 6061, Çevresel
Uç, 300 m/dak, 0,09 mm/dev



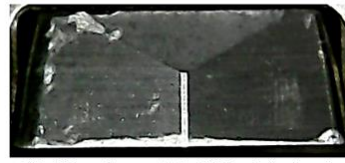
5D U matkap, AA 6061, Çevresel
Uç, 250 m/dak, 0,09 mm/dev



Kullanılmamış
Merkezi Uç



3D U matkap, AA 7075, Merkezi
Uç, 200 m/dak, 0,06 mm/dev



3D U matkap, AA 6061, Merkezi
Uç, 300 m/dak, 0,09 mm/dev

Resim 4.14. Merkezi ve çevresel uç görüntüleri

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Farklı U matkaplar kullanarak AA 2024-T351, AA 6061-T651 ve AA 7075-T651 malzemeleri belirlenen delme parametreleri ile delinmiştir. Delik delme esnasında ve sonrasında elde edilen değerler tek tek ele alınmıştır. Deneyler kapsamında 4 adet farklı geometriye sahip U matkap kullanılmıştır. Islak deneyler ile U matkap başına üç grup malzemenin hepsi için 27 adet deney yapılmıştır. Kuru deneyler ile üç grup malzeme için U matkap başına 9 adet deney yapılmıştır. Tüm değerlendirmelerde oluşturulan grafikler bu değerlerin ortalamaları alınarak elde edilmiştir. Değerlendirmeler aşağıda verilen konu başlıklarına göre sırasıyla verilmiştir.

- İtme kuvvetinin değerlendirilmesi.
- Torkun değerlendirilmesi.
- İş mili yükünün değerlendirilmesi.
- Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi.
- Çaptan sapmanın değerlendirilmesi.
- Dairesellikten sapmanın değerlendirilmesi.
- Silindiriklikten sapmanın değerlendirilmesi.
- Ölçülen sıcaklıkların değerlendirilmesi.
- Ses seviyesi sinyallerinin değerlendirilmesi.
- Kesici görünümü, delik çıkışı elde edilen kapak ve talaşların değerlendirilmesi.
- Deneysel sonuçların genel değerlendirilmesi

5.1. İtme Kuvvetinin Değerlendirilmesi

Dinamometre yardımıyla ölçülen ıslak deneyler için itme kuvveti değerleri Çizelge 5.1’de bulunmaktadır. İtme kuvveti (F_z) kesiciye gelen yük ve tezgâhın harcayacağı güç bakımından önemli bir değerdir. F_z ’nin artmasıyla beraber kesicinin malzemeyi kesmek için harcayacağı güç tüketimi artmakta ve işlemin verimliliği doğrudan etkilenmektedir [2]. Islak şartlarda en düşük F_z değeri (222 N), AA 7075 malzemesini 5D U matkap ile 300 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme miktarında delerken meydana gelmiştir. Maksimum F_z değeri (1006 N), AA 6061 malzemesini 4D U matkap ile 200 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme miktarında delinmesi sırasında elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Islak deneyler için Fz değerleri

Islak	Vc	f	3D Fz (N)			4D Fz (N)			4De Fz (N)			5D Fz (N)		
			2024	6061	7075	2024	6061	7075	2024	6061	7075	2024	6061	7075
200	0,06		342	347	295	338	413	305	472	399	478	340	352	276
200	0,09		406	481	329	427	715	379	556	543	514	413	502	304
200	0,12		466	680	372	504	1006	441	574	671	539	489	663	365
250	0,06		343	433	275	337	462	314	511	334	481	330	358	273
250	0,09		409	442	326	396	717	353	553	587	509	399	491	306
250	0,12		472	577	371	466	883	377	586	627	536	499	582	333
300	0,06		350	316	316	324	425	276	473	353	370	314	360	222
300	0,09		374	466	308	385	576	358	545	431	481	380	474	299
300	0,12		409	587	307	460	825	378	611	580	539	397	601	301

Kuru deneyler için itme kuvveti değerleri Çizelge 5.2’de yer almaktadır. Kuru şartlarda en düşük Fz değeri (295 N), AA 7075 malzemesini 5D U matkap ile 300 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme miktarında delerken meydana gelmiştir. Maksimum Fz değeri (692 N), AA 2024 malzemesini 4De U matkap ile 300 m/dak kesme hızı ve 0,12 mm/dev ilerleme miktarında delinmesi sırasında elde edilmiştir.

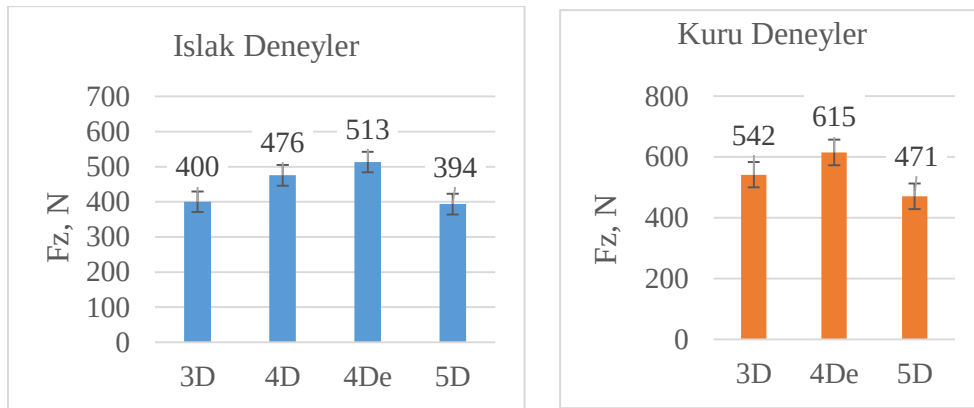
Çizelge 5.2. Kuru deneyler için Fz değerleri

Kuru	Vc	f	3D Fz (N)			4De Fz (N)			5D Fz (N)		
			2024	6061	7075	2024	6061	7075	2024	6061	7075
	(m/dak)	(mm/dev)									
200		0,12	470	689	436	605	629	546	495	690	355
250		0,12	487	619	449	589	635	677	443	633	311
300		0,12	441	603	680	692	586	576	436	579	295

5.1.1. Uzunluk/çap oranına göre Fz’nin değişimi

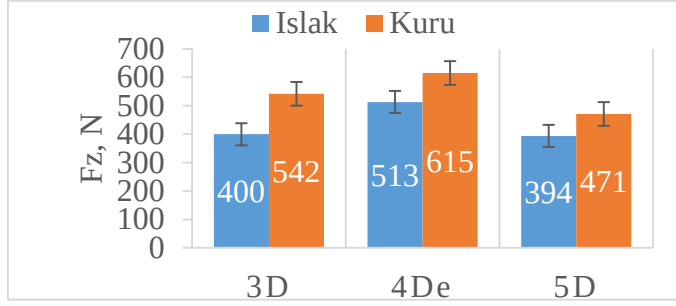
Bu bölümde, Fz’nin değişimi için ıslak yapılan deneylerden (U matkap başına 27 adet deney) ve kuru yapılan deneylerden (U matkap başına 9 adet deney) elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Ortalama değerler için Fz değişim grafikleri Şekil 5.1’de verilmiştir. En düşük ortalama Fz değeri (394 N), 5D ile meydana gelirken en yüksek değer (513 N) 4De ile elde edilmiştir. 4D ile 476 N ve 3D ile 400 N ölçülmüştür. 4De, 4D’ye göre %7,8 daha yüksek değer meydana getirmiştir. Kuru deneyler dikkate alındığında ise en düşük değer (471 N), 5D ile elde edilirken en yüksek değer (615 N), 4De ile meydana gelmiştir.

4De’de bulunan ekstra soğutucu deliğın, talaş akışının bozulmasına sebep olarak yüksek bir değeri meydana getirebileceğı, ekstra soğutucu deliğın, talaş kırıcı gibi davranarak kesikli talaş oluşumuna neden olduğı değerlendirilmiştir. Ayrıca gövde içerisinde fazladan bir soğutucu deliğı, ekstra bir boşluk yaratarak U matkabın rijitliğinin azalmasına ve tırlamanın meydana gelmesine sebep olduğı değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, literatürde itme kuvvetine, kesici uçların malzemeyi kesmesinin dışında kesici geometrisi, kanal tasarımı, iş parçası yüzeyi ve kesici gövdesi arasındaki sıvanma, yapışma gibi durumlarda etki ettiğı belirtilmektedir [2]. Ayrıca talaş yükünün artmasının itme kuvvetini artırdığı da ifade edilmektedir [36]. 5D U matkap ile elde edilen düşük değeri incelendiğinde ise bu duruma merkezi uçların talaş açısının neden olduğı düşünülmüştür. 5D dışındaki U matkapların talaş açısı yaklaşık 2° negatiftir. 5D ise pozitif talaş açısına sahiptir. Negatif talaş açısına göre, pozitif talaş açısı kesme düzlemi açısının artmasına neden olmaktadır. Daha büyük kesme düzlemi açısı ise daha ince talaşların meydana gelmesine neden olarak daha düşük kesme kuvvetlerine neden olmaktadır. Bu literatür tarafından bilinen bir durumdur. Bu mekanizma neticesinde 5D U matkap ile daha düşük değeri meydana geldiğı değerlendirilmiştir.



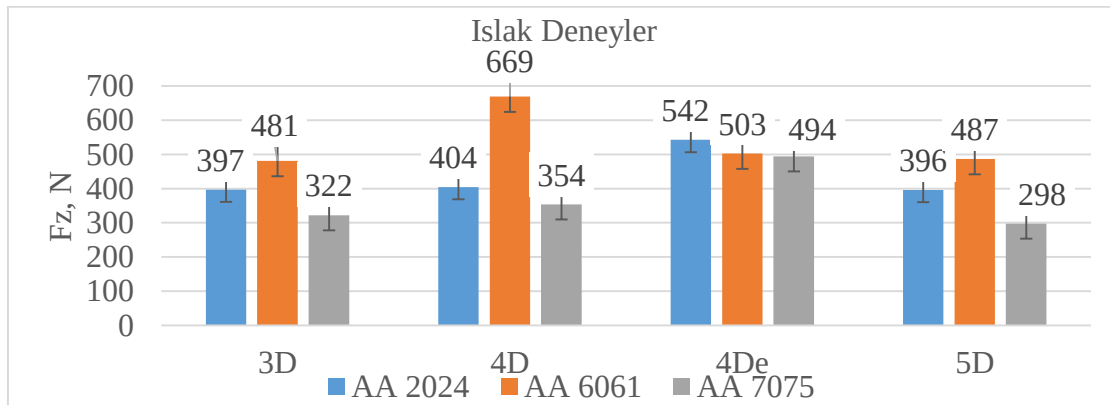
Şekil 5.1. L/D oranına göre Fz değeri değişimi

İslak ve kuru deneylerin sonuçları karşılaştırıldığında Şekil 5.2’de bulunan grafik elde edilmiştir. İslak deneylere göre kuru deneylerde 3D için %35,5 oranında, 4De ve 5D için %20 oranında daha yüksek Fz meydana gelmiştir. İslak delme şartları kesici takım, talaş ve iş parçası arasındaki sürtünmeleri, yapışmaları dolayısıyla ısınmayı azaltarak kesme kuvvetlerinin daha düşük meydana gelmesine neden olduğı değerlendirilmiştir. Bu bağlamda literatür bu görüşü desteklemektedir [80].



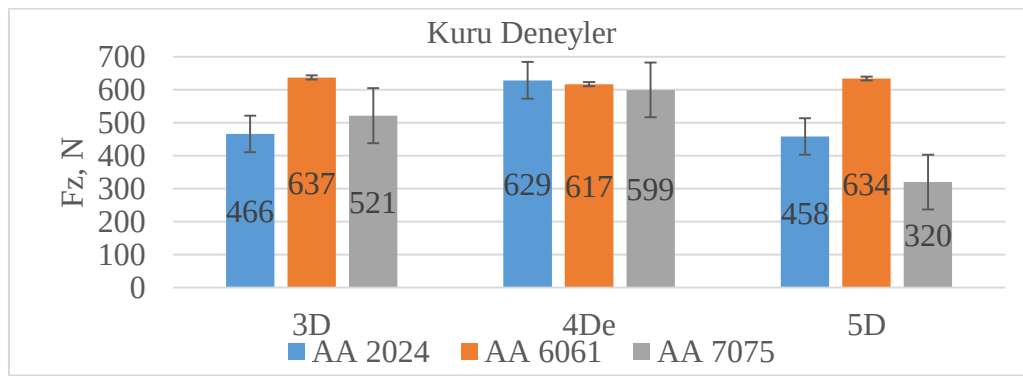
Şekil 5.2. Islak ve kuru deneylerin Fz'ye göre karşılaştırılması

Malzemelere göre ıslak deneylerin Fz değerleri dikkate alındığında Şekil 5.3 elde edilmiştir. 4De dışındaki U matkapların hepsinde en yüksek ortalama değer AA 6061 malzemesinde, en düşük ortalama değer ise AA 7075 malzemesinde meydana gelmiştir. AA 2024 malzemesi için en düşük ortalama Fz, 5D ile elde edilirken en yüksek değer, 4De ile elde edilmiştir. AA 6061 malzemesi için en düşük ortalama Fz, 3D ile meydana gelirken en yüksek değer, 4D ile meydana gelmiştir. AA 7075 malzemesi için en düşük ortalama Fz, 5D ile elde edilmişken en yüksek değer, 4De ile elde edilmiştir. Tüm malzemeler dikkate alındığında birbirine en yakın değerler 4De U matkap kullanıldığında meydana gelmiştir. 4De'ye göre 4D'de AA 2024 malzemesi için %34, AA 7075 malzemesi için %40 daha fazla Fz elde edilirken, AA 6061 malzemesi için %25 daha düşük Fz elde edilmiştir. Daha düşük kayma açısı ve daha kalın talaşlar kesme kuvvetini artırmaktadır [35]. AA 6061 malzemesinin elastik modülü, termal iletkenliği AA 2024 ve AA 7075 malzemelerinden daha yüksekken çekme dayanımı, akma dayanımı ve % uzama daha düşüktür. Mekanik özelliklerdeki bu farkların bu sonuca neden olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca AA 6061 malzemesi içeriğindeki diğer malzemelere göre daha yüksek silisyum içeriği de daha yüksek Fz değerlerinin meydana gelmesine sebep olmuş olabilir [81].



Şekil 5.3. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Fz'nin değişimi

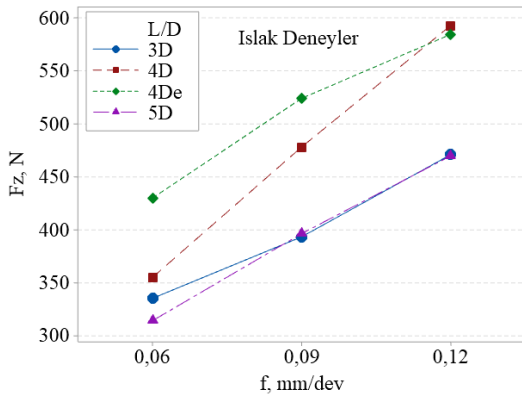
Kuru deneylerin malzemelere göre değişimi dikkate alındığında Şekil 5.4 elde edilmiştir. Kuru deneyler için AA 2024 malzemesinin delinmesinde en düşük değer, 5D ile elde edilmişken en yüksek değer, 4De ile elde edilmiştir. AA 6061 malzemesi için en düşük değer, 4De ile meydana gelmişken en yüksek değer, 3D ile elde edilmiştir. AA 7075 malzemesi için en düşük değer, 5D ile meydana gelirken en yüksek değer, 4De ile meydana gelmiştir. AA 6061 malzemesinin termal iletkenliğin fazla olmasından dolayı iş parçası malzemesi ve kesici arasında daha fazla sıvanma meydana gelmiştir. Bundan dolayı AA 6061 ile elde edilen Fz değerleri nispeten daha yüksek meydana geldiği değerlendirilmiştir.



Şekil 5.4. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Fz'nin değişimi

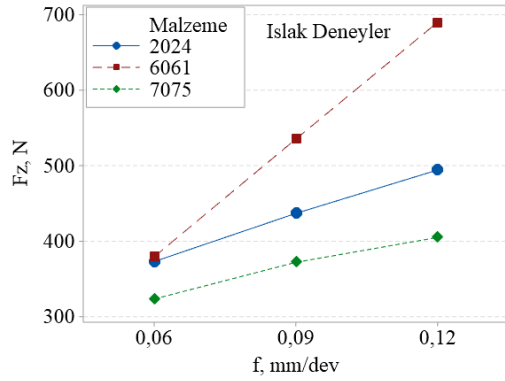
5.1.2. İlerleme miktarına göre Fz'nin değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne göre f'in değişimi Şekil 5.5'de yer almaktadır. Tüm U matkaplar için f'in artmasına paralel olarak Fz değerleri artmıştır [2]. Bu artışın ise f'in artmasına bağlı olarak kesicinin iş parçası içerisinde daha hızlı hareket etmesine ve talaş kalınlığının artmasına atfedilmiştir.



Şekil 5.5. L/D değerleri için f ile Fz'nin değişimi

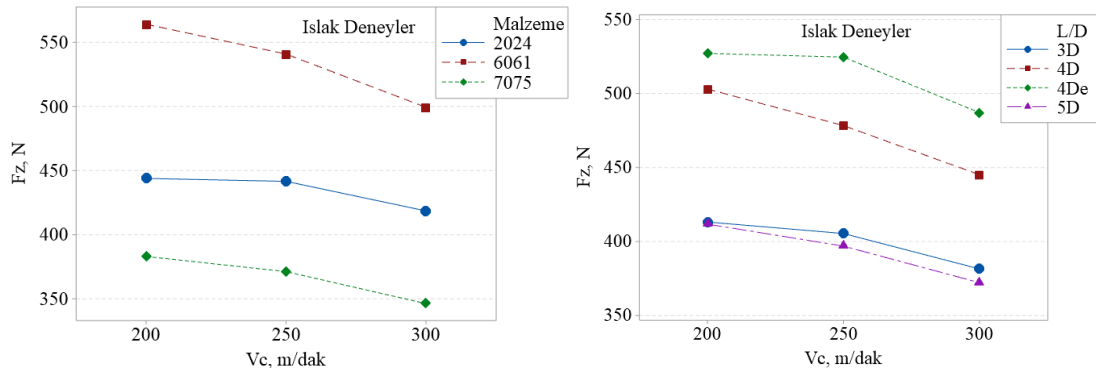
Islak deneyler için malzeme türüne göre f 'in değişimi Şekil 5.6'da yer almaktadır. Tüm U matkaplar için f 'in artmasına paralel olarak F_z değerleri artmıştır. AA 6061 malzemesi için f 'in artmasıyla F_z değerleri oldukça belirgin şekilde artmıştır. AA 6061 malzemesinin elastik modülü diğer iki malzemeye göre daha fazla ancak % uzaması daha düşüktür. Dolayısıyla AA 6061 malzemesini deforme etmek için gereken kuvvet ilerleme miktarının artmasıyla beraber diğer iki malzemeye göre daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.6. Malzemelere göre f in F_z ile değişimi

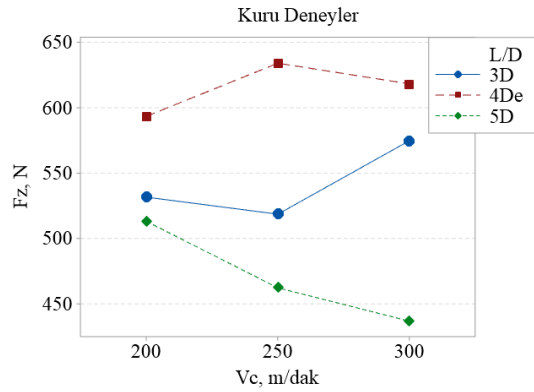
5.1.3. Kesme hızına göre F_z 'nin değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne ve malzeme gruplarına göre V_c ile F_z 'nin değişimi Şekil 5.7'de yer almaktadır. Tüm U matkaplar ve malzeme grupları için V_c 'nin artmasına paralel olarak F_z değerleri azalmaktadır. V_c 'nin artmasıyla beraber kayma açısı artarak daha ince talaşlar oluşmakta ve takım-talaş temas süresinin ve temas uzunluğunun azalması ile kesme kuvvetleri azalmaktadır [29].



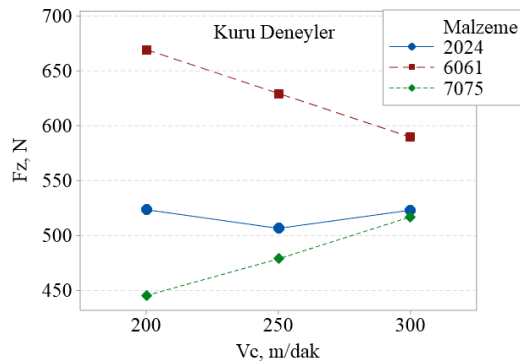
Şekil 5.7. L/D ve malzeme için V_c ile F_z 'nin değişimi (Islak)

Kuru deneyler için U matkap türüne göre V_c 'nin değişimi Şekil 5.8'de yer almaktadır. 3D için orta V_c 'de değerler azalmışken yüksek V_c 'de tekrar artmıştır. 4De için orta V_c 'de değerler artmışken yüksek V_c 'de tekrar azalmıştır. 5D için V_c 'nin artmasına paralel olarak F_z değerleri azalmaktadır. Düşük kesme hızlarında plastik deformasyona karşı dislokasyon hareketi daha zor olduğu için dislokasyon yığılması sonucunda pekleşme meydana gelir ve bu da kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır [80].



Şekil 5.8. L/D değerlerine göre V_c ile F_z 'nin değişimi (Kuru)

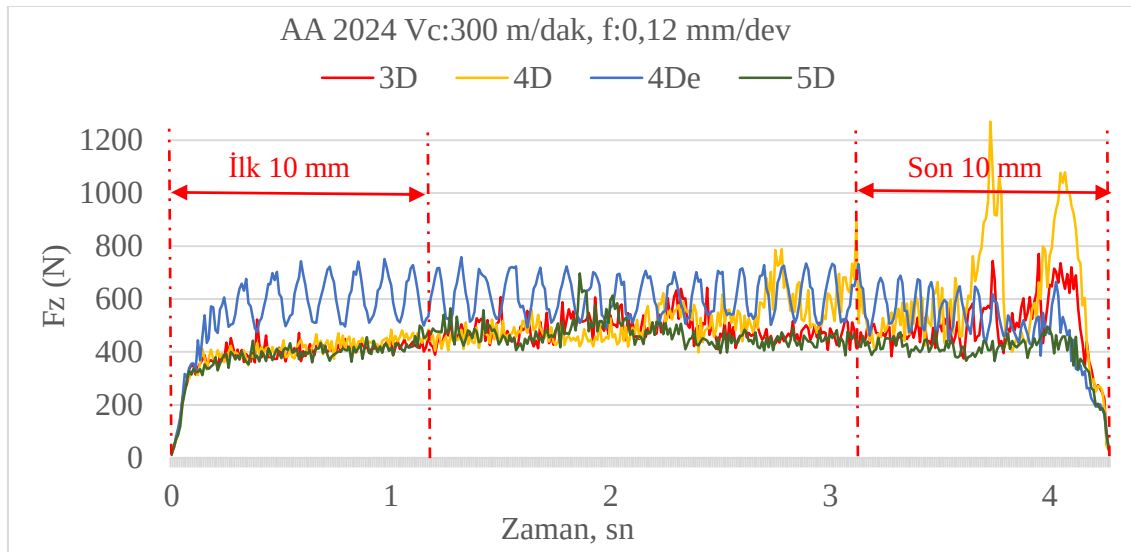
Kuru deneyler için malzeme türüne göre V_c 'nin değişimi Şekil 5.9'da yer almaktadır. AA 6061 malzemesi için V_c 'nin artmasına paralel olarak F_z değerleri azalmaktadır. AA 7075 malzemesi için V_c 'nin artmasına paralel olarak F_z değerleri artmaktadır. AA 2024 malzemesi için orta V_c 'de değerler azalmışken yüksek V_c 'de tekrar artmıştır. Malzeme gruplarının birbirinden farklı mekanik ve kimyasal özellikte olmaları V_c ile F_z 'nin değişiminde kararsızlığa yol açmıştır. AA 6061 malzemesi için F_z değeri literatürden beklendiği gibi V_c 'nin artmasıyla azalmıştır. Ancak AA 7075 malzemesi için V_c 'nin artmasıyla beraber F_z artmıştır.



Şekil 5.9. Malzeme türüne göre V_c ile F_z 'nin değişimi (Kuru)

5.1.4. Fz'nin zamana bağlı değişimi

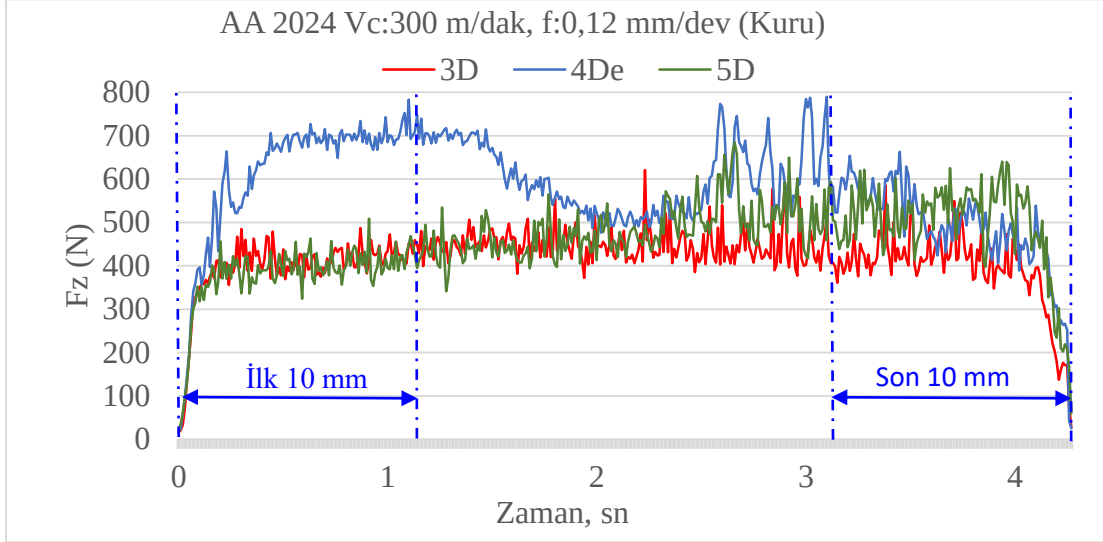
Şekil 5.10'da AA 2024 alüminyum alaşımının 300 m/dak ve 0,12 mm/dev'de ki zamana bağlı Fz değişimleri görülmektedir. 3D, 4D ve 5D için başlangıçta kuvvet sinyalleri birbirine benzerdir. Ancak deliğin çıkışına yaklaştıkça talaş sıvanma ve yapışmaların artmasıyla kuvvetlerde anlık artma ve azalmalar görülmektedir. 4De için Fz sinyalleri diğer U matkaplardan ayrılmıştır. Diğer sinyallere göre genliği fazla frekansı azdır. Yapılan bir çalışmada bu kuvvet sinyallerindeki dalgalanmaların matkabın salgı yapmasından kaynaklandığı ileri sürülmüştür [4]. Ancak 4De için bu duruma merkezi uç tarafından kesilen talaşların 4De'de bulunan ekstra soğutucu deliğin talaş akışını bozmasının, kesilen talaşların delik içerisinde sıkışması ve kurtulması sonucu Fz sinyalinin diğerlerine göre daha düşük frekans ve daha fazla genlikte dalgalanmasına neden olduğu değerlendirilmiştir. AA 2024 malzemesi için 4De ile Fz sinyali deliğin girişinden çıkışına kadar hemen hemen aynı frekans ve genlikte devam etmiştir. Deliğin sonuna doğru sıvanma ve yapışmaların etkisiyle ani Fz değerlerinde artma ve azalmalar dikkati çekmektedir.



Şekil 5.10. AA 2024 malzemesi zamana göre Fz'nin değişimi (Islak)

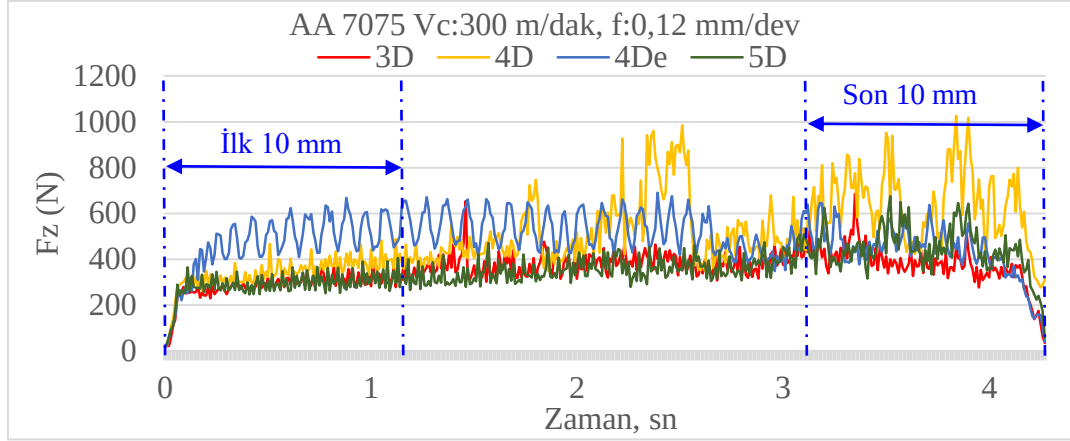
Şekil 5.11'de AA 2024 malzemesinin kuru şartlarda delinmesinde zamana göre Fz değerlerinde ki değişim yer almaktadır. Şekil incelendiğinde 3D ve 5D hemen hemen benzer sinyallerle hareket ederken 4De onlardan belirgin şekilde ayrılmıştır. 4De için başlangıçta Fz değerleri daha fazlayken yaklaşık deliğin ortasından itibaren Fz değeri azalmış daha sonra ise ani artma ve azalmalar meydana gelmiştir. 4De'de ki bu farklılıkların ekstra soğutucu delikten kaynaklandığı düşünülmüştür. Tüm U matkaplar için delik derinliğinin 20 mm

civarından sonra sıcaklığın artmasıyla beraber oluşan talaş sıvanmaları ve kırılan/kopan talaşların sonucu ani Fz artış ve azalışları meydana gelmiştir.



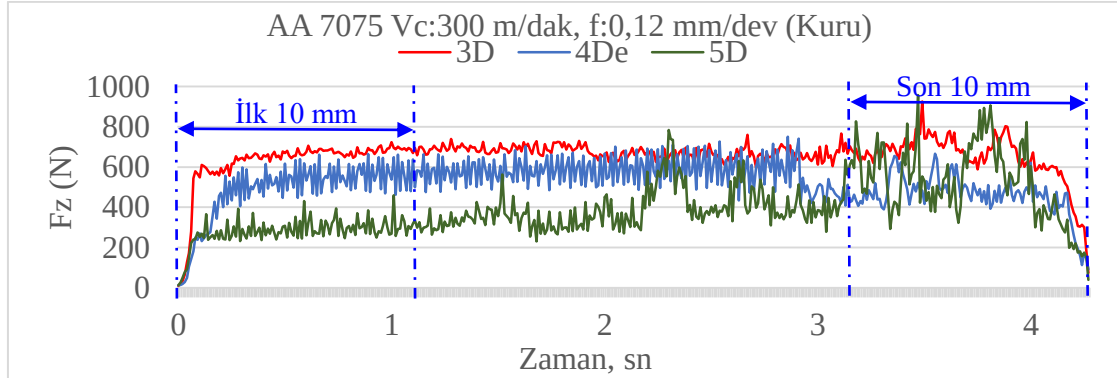
Şekil 5.11. AA 2024 malzemesi zamana göre Fz'nin değişimi (Kuru)

Şekil 5.12’de AA 7075 alüminyum alaşımının 300 m/dak ve 0,12 mm/dev’de ki zamana bağlı Fz değişimleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde 3D, 4D ve 5D için başlangıçtaki kuvvet sinyalleri birbirine benzerdir. Ancak deliğin çıkışına yaklaştıkça talaş sıvanma ve yapışmaların artmasıyla kuvvetlerde anlık artma ve azalmalar görülmektedir. 4De için Fz sinyalleri diğer U matkaplardan ayrılmıştır. Diğer sinyallere göre genliği fazla frekansı azdır. Bu duruma 4De’de bulunan ekstra soğutucu deliğin bir sonucu olarak, merkezi uç tarafından kesilen talaşların sıkışması ve kurtulması Fz sinyalinin bu şekilde oluşmasına neden olmuş olabileceği değerlendirilmektedir. Deliğin sonuna doğru sıvanma ve yapışmaların etkisiyle ani Fz değerlerinde artma ve azalmalar dikkati çekmektedir. AA 2024 ile AA 7075 malzemeleri için sinyallerin dalgalanmaları birbirlerine benzemektedir.



Şekil 5.12 AA 7075 malzemesi zamana göre Fz'nin değişimi (Islak)

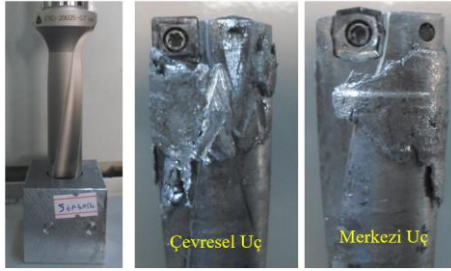
Şekil 5.13'te AA 7075 malzemesinin kuru şartlarda delinmesinde zamana göre Fz değerlerinde ki değişim yer almaktadır. Şekil incelendiğinde tüm U matkaplar için elde edilen Fz sinyalleri birbirinden farklı değerlerde oluşmuştur. En yüksek değer 3D ile elde edilirken en düşük değer 5D ile elde edilmiştir. L/D oranı düşük olmasına rağmen 300 m/dak ve 0,12 mm/dev de işlenmesinde kesici uç incelendiğinde çevresel uça tanecik kopmaları (chipping) ve yüksek oranda sıvanma meydana gelmiştir. Bundan dolayı Fz'nin fazla çıktığı düşünülmüştür.



Şekil 5.13. AA 7075 malzemesi zamana göre Fz'nin değişimi (Kuru)

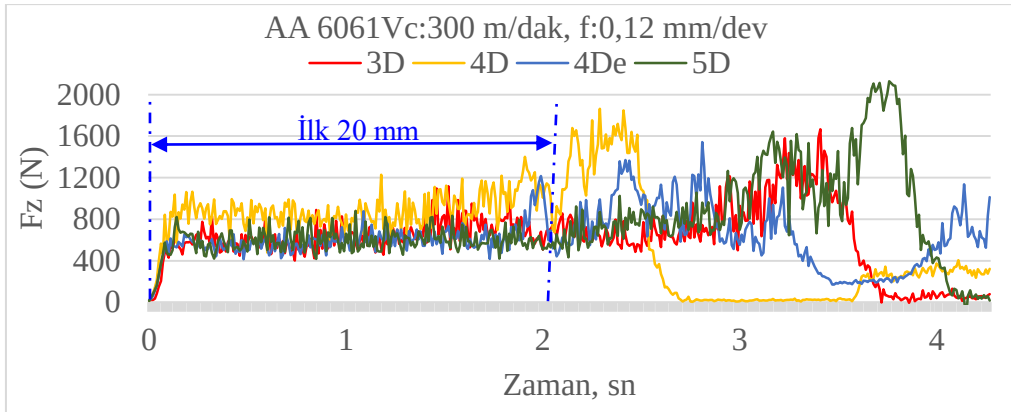
Şekil 5.14'de AA 6061 alüminyum alaşımının 300 m/dak ve 0,12 mm/dev'de ki zamana bağlı Fz değişimleri görülmektedir. 300 m/dak ve 0,12mm/dev için delme süresi 40 mm delik derinliği dikkate alındığında yaklaşık 4,2 saniyedir. Şekil incelendiğinde 4D için 2 saniyeye kadar diğerleri için 3 saniyeye kadar delik delme süreci sıkıntısız devam ederken, sonrasında iş mili yükü değeri çok fazla artmış buna paralel olarak Fz değerleri de artmıştır. U matkabın deliğe sıvanarak saplanmaması için f değeri elle müdahale edilerek ani olarak

durdurulmuş ve sonra f değerinin %20 oranında azaltılması ile delik delme süreci tamamlanmıştır. Bu duruma AA 6061 malzemesinin AA 2024 ve AA 7075 malzemelerine göre elastikiyet modülünün yüksek, akma dayanımı ve % uzamasının düşük olmasının neden olduğu değerlendirilmiştir. Çünkü AA 6061 malzemesi deyim yerindeyse çamur gibi U matkap gövdelerine yapışarak bu durumun meydana gelmesine neden olmuştur. 5D U matkap ile AA 6061-T651 malzemesinin 200 m/dak kesme hızı, 0,12 mm/dev'de yapılan delme işleminin sonucu gövdeye yapışan alüminyum malzeme görüntüsü Resim 5.1'de bulunmaktadır. Helis açısı ve helisel oluk yüksekliğinin de talaş tahliyesinde etkili bir parametre olduğu düşünülmüştür. En az helis açısına 5D U matkap sahiptir. Ancak burada AA 6061 malzemesinin yapışma eğiliminin daha baskın olarak bu sonuca neden olduğu değerlendirilmiştir.



Resim 5.1. U matkap gövdesine yapışan alüminyum malzeme

AA 6061 malzemesinin ısı iletim katsayısı (167 W/m.K), AA 2024 (121 W/m.K) ve AA 7075 (130 W/m.K) malzemelerinin ısı iletim katsayısından yüksektir. Delik derinliği arttıkça soğutma sıvısı kesme bölgesine daha az nüfuz ettiği için sıvanma ve yapışmanın artarak F_z değerlerinde artışa neden olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 5.14. AA 6061 malzemesi zamana göre F_z 'nin değişimi (Islak)

5.1.5. Fz için varyans ve regresyon analizleri

AA 2024-T351, AA 6061-T651 ve AA 7075-T651 malzemelerinin U matkap ile delinmesinden elde edilen deneysel Fz değerlerinin kesme hızı, ilerleme miktarı ve U matkap uzunluk/çap oranı girdi faktörlerine göre değiştiği varsayılarak varyans ve regresyon analizleri yapılmıştır. Ortalama etki grafikleri elde edilmiştir. Çizelge 5.3'te Fz değerlerinin malzemelere göre varyans analizi, Çizelge 5.4'de ise model özetleri bulunmaktadır. AA 2024 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, itme kuvveti üzerinde tüm girdi parametrelerinin ($p < 0,05$ olduğu için) oluşturulan model üzerinde etkili oldukları tespit edilmiştir. Fz üzerinde en etkili parametre % 56,97 ile L/D oranı iken sırasıyla %36,29 ilerleme miktarı ve %1,94 kesme hızının etkili olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel modelin belirlilik kat sayısı olan R^2 değeri ise AA 2024 malzemesi için %95,19 olarak tespit edilmiştir. AA 6061 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, itme kuvveti üzerinde tüm girdi parametrelerinin ($p < 0,05$ olduğu için) oluşturulan model üzerinde etkili oldukları tespit edilmiştir. Fz üzerinde en etkili parametre % 62,9 ile ilerleme miktarı iken sırasıyla %23,66 L/D ve %2,82 kesme hızının etkili olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel modelin belirlilik kat sayısı olan R^2 değeri ise AA 6061 malzemesi için %89,38 olarak tespit edilmiştir. AA 7075 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, itme kuvveti üzerinde tüm girdi parametrelerinin ($p < 0,05$ olduğu için) oluşturulan model üzerinde etkili oldukları tespit edilmiştir. Fz üzerinde en etkili parametre % 76,82 ile L/D oranı iken sırasıyla %14,91 ilerleme miktarı ve %3,13 kesme hızının etkili olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel modelin belirlilik kat sayısı olan R^2 değeri ise AA 7075 malzemesi için %94,86 olarak tespit edilmiştir.

AA 2024 ve AA 7075 malzemesi için en etkili girdi parametresi uzunluğun/çapa oranı iken AA 6061 malzemesi için ilerleme miktarıdır. Diğer iki malzemeye göre bu duruma AA 6061 malzemesinin yüksek sıvanma/yapışma miktarının neden olduğu söylenebilir. U matkap L/D oranından ziyade ilerleme miktarının artmasıyla AA 6061 malzemesi U matkaba daha fazla sıvanarak/yapışarak kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmuştur. Model özetlerine göre en düşük belirlilik katsayısı AA 6061 malzemesi ile elde edilmiştir. U matkaplara AA 6061 malzemesinin sıvanması/yapışmasının bu duruma neden olduğu değerlendirilmiştir.

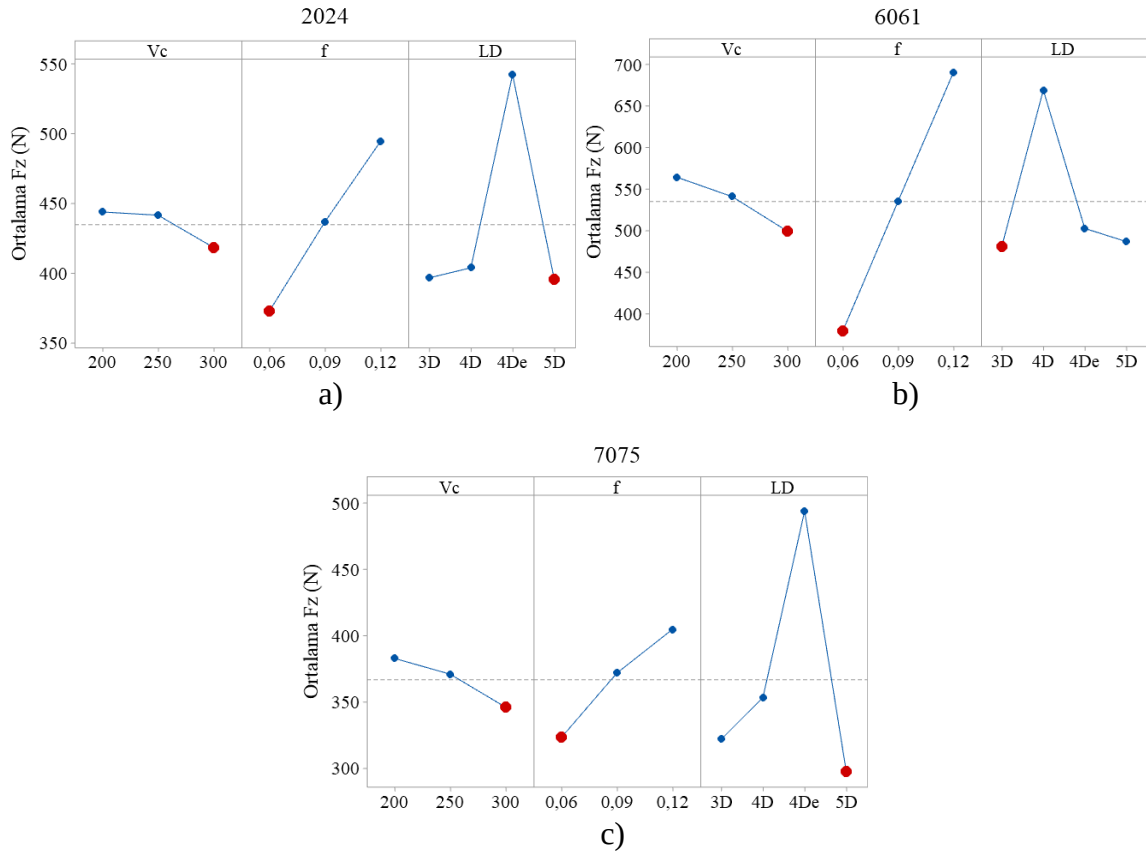
Çizelge 5.3. Fz için malzemelerin varyans analizleri

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı (Adj SS)	Kareler ortalaması (Adj MS)	F değeri	P değeri	Etki (%) Contribution
<i>AA 2024-T351 Ortalama İtme Kuvveti, Fz (N)</i>						
Model	7	232 265	33 180,7	79,22	0	95,19%
Lineer	7	232 265	33 180,7	79,22	0	95,19%
Vc	2	4 733	2 366,4	5,65	0,009	1,94%
f	2	88 542	44 270,9	105,7	0	36,29%
L/D	3	138 990	46 330,1	110,62	0	56,97%
Hata	28	11 727	418,8			4,81%
Toplam	35	243 992				100,00%
<i>AA 6061-T651 Ortalama İtme Kuvveti, Fz (N)</i>						
Model	7	824 491	117 784	33,67	0	89,38%
Lineer	7	824 491	117 784	33,67	0	89,38%
Vc	2	25 985	12 993	3,71	0,037	2,82%
f	2	580 233	290 117	82,94	0	62,90%
L/D	3	218 273	72 758	20,8	0	23,66%
Hata	28	97 937	3 498			10,62%
Toplam	35	922 428				100,00%
<i>AA 7075-T651 Ortalama İtme Kuvveti, Fz (N)</i>						
Model	7	257 437	36 776,7	73,83	0	94,86%
Lineer	7	257 437	36 776,7	73,83	0	94,86%
Vc	2	8 502	4 251,1	8,53	0,001	3,13%
f	2	40 462	20 230,9	40,61	0	14,91%
L/D	3	208 473	69 490,9	139,5	0	76,82%
Hata	28	13 948	498,1			5,14%
Toplam	35	271 385				100,00%

Çizelge 5.4. Fz için malzemelerin model özetleri

	S	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
AA 2024	20,4652	95,19%	93,99%	92,05%
AA 6061	59,1418	89,38%	86,73%	82,45%
AA 7075	22,3189	94,86%	93,58%	91,50%

Şekil 5.15'te tüm malzemelerin etki grafikleri yer almaktadır. Tüm malzeme grupları için en düşük itme kuvvetleri, en yüksek kesme hızı olan 300 m/dak ile elde edilmiştir. İlerleme miktarı için ise 0,06 mm/dev daha etkili olarak sonuçlanmıştır. L/D oranı dikkate alındığında ise AA 2024 ve AA 7075 için 5D daha etkili olarak sonuçlanmışken, AA 6061 için 3D daha etkili sonuçlar vermiştir. 3D ile 5D U matkaplar birbirine çok yakın değerler meydana getirmiştir.



Şekil 5.15. Fz için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075

AA 2024 malzemesinin itme kuvveti modeline göre regresyon eşitliği Eş. 5.1'de, AA 6061 için Eş. 5.2'de ve AA 7075 için Eş. 5.3'te bulunmaktadır.

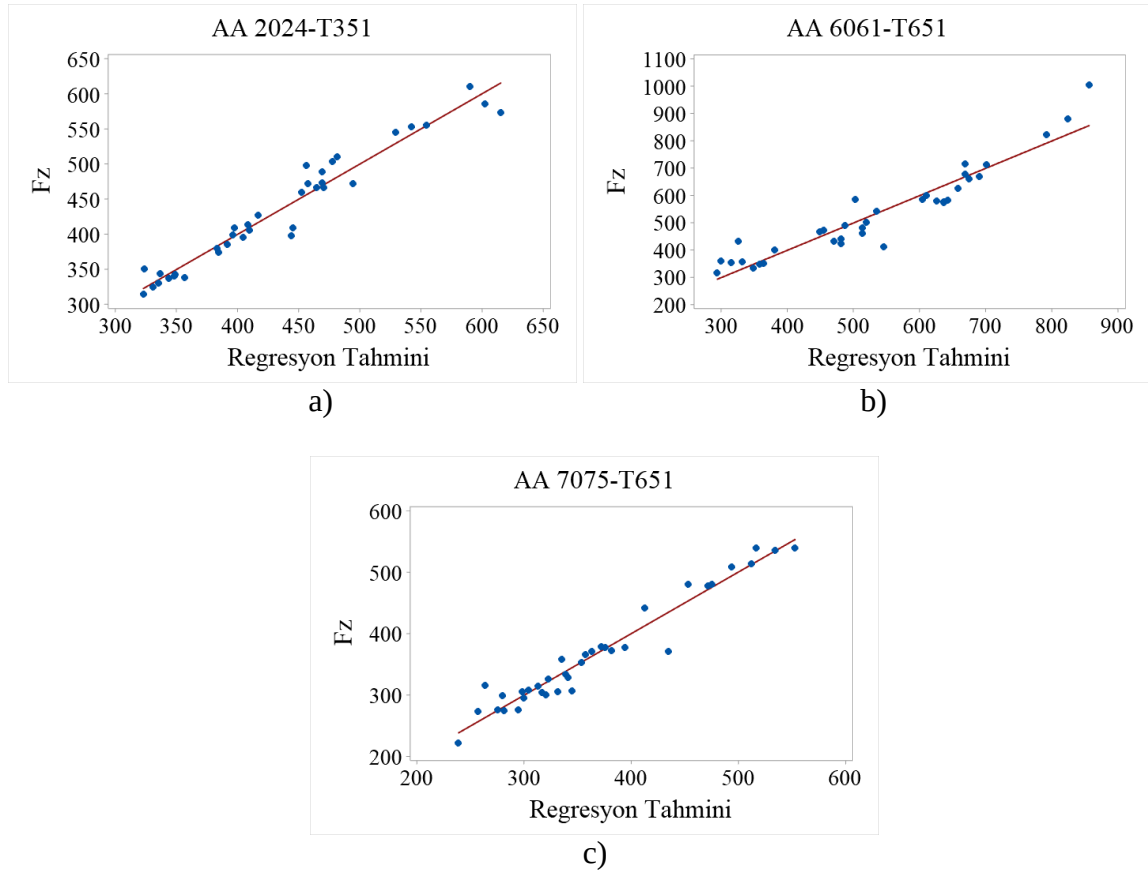
$$\begin{aligned}
 Fz_{2024} = & 434,78 + 9,22 Vc_{200} + 6,95 Vc_{250} - 16,16 Vc_{300} - 61,77 f_{0,06} \\
 & + 2,13 f_{0,09} + 59,65 f_{0,12} - 37,86 L/D_{3D} - 30,63 L/D_{4D} + 107,48 L/D_{4De} \\
 & - 38,99 L/D_{5D}
 \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned}
 Fz_{6061} = & 535,04 + 29,4 Vc_{200} + 6,1 Vc_{250} - 35,5 Vc_{300} - 155,7 f_{0,06} \\
 & + 0,4 f_{0,09} + 155,3 f_{0,12} - 54,0 L/D_{3D} + 134,2 L/D_{4D} - 32,2 L/D_{4De}
 \end{aligned}$$

$$- 48,0 L/D_{5D} \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} Fz_{7075} = & 366,84 + 16,25 Vc_{200} + 4,38 Vc_{250} - 20,62 Vc_{300} - 43,42 f_{0,06} \\ & + 5,22 f_{0,09} + 38,20 f_{0,12} - 44,71 L/D_{3D} - 13,37 L/D_{4D} + 127,27 L/D_{4De} \\ & - 69,19 L/D_{5D} \end{aligned} \quad (5.3)$$

Eşitlikler kullanılarak hesaplanan regresyon tahminleri Şekil 5.16’da grafik olarak verilmiştir. AA 2024 için maksimum tahmin hatası (APE:Absolute Percentage Error) %11,7 tüm deneylerin ortalama tahmin hatası (MAPE: Mean Absolute Percentage Error) ise %3,2 olarak hesaplanmıştır. AA 6061 için APE %32,1 MAPE ise %7,8’dir. AA 7075 için APE %17,4 MAPE ise %4,2’dir. Bu sonuçlara göre sırasıyla AA2024, daha sonra AA7075 ve son olarak ise AA 6061 malzemeleri için daha yüksek doğrulukta tahmin yapılabileceği tespit edilmiştir.



Şekil 5.16. Fz için tahmin sonuçları a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075

5.2. Tork'un Değerlendirilmesi

Dinamometre yardımıyla ölçülen tork (Mz) değerleri ıslak deneyler için Çizelge 5.5'te, kuru deneyler içinse Çizelge 5.6'da yer almaktadır.

Çizelge 5.5. Islak deneyler için Mz değerleri

Islak		3D Mz (Ncm)			4D Mz (Ncm)			4De Mz (Ncm)			5D Mz (Ncm)		
Vc	f	2024	6061	7075	2024	6061	7075	2024	6061	7075	2024	6061	7075
200	0,06	351	333	345	363	404	356	374	369	364	363	344	343
200	0,09	497	504	517	503	647	509	502	553	483	507	515	470
200	0,12	628	673	608	624	840	652	628	678	610	640	691	637
250	0,06	346	429	328	359	441	362	377	328	363	365	349	390
250	0,09	498	443	479	492	639	499	497	606	480	495	503	471
250	0,12	623	603	558	619	797	601	612	662	593	648	631	606
300	0,06	340	318	380	355	396	364	369	335	346	346	370	325
300	0,09	503	484	500	490	555	495	487	456	466	479	497	516
300	0,12	591	618	566	637	746	607	609	632	595	601	649	591

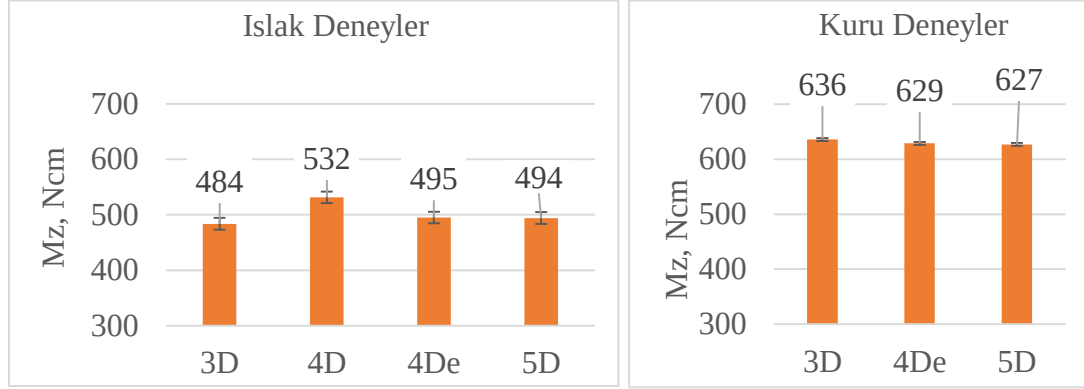
Çizelge 5.6. Kuru deneyler için Mz değerleri

Kuru		3D Mz (Ncm)			4De Mz (Ncm)			5D Mz (Ncm)		
Vc (m/dak)	f (mm/dev)	2024	6061	7075	2024	6061	7075	2024	6061	7075
200	0,12	628	692	669	624	656	622	633	688	618
250	0,12	625	633	579	617	646	663	618	652	600
300	0,12	629	644	623	602	630	601	622	620	591

5.2.1. Uzunluk/çap oranına göre Mz'nin değişimi

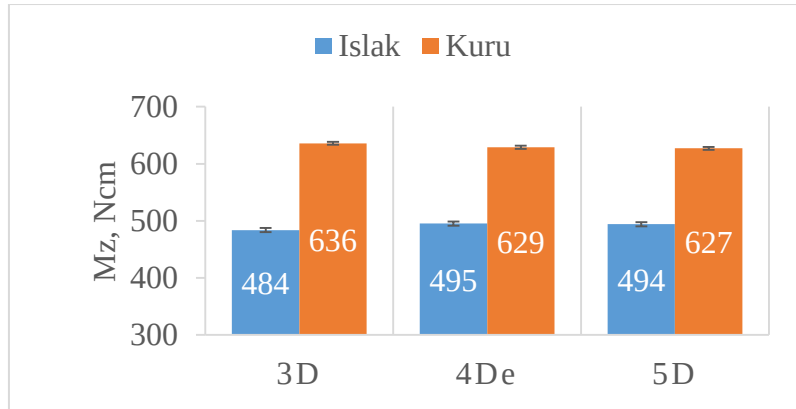
Deneyler kapsamında farklı geometrik özelliğe sahip 4 adet U matkap kullanılmıştır. Islak deneyler ile tüm malzeme grupları için U matkap başına 27 adet deney yapılmıştır. Tüm bu değerlerin ortalaması alındığında Şekil 5.17 elde edilmiştir. Elde edilen değerlere göre en düşük Mz ortalaması (484 Ncm) 3D ile elde edilmişken en yüksek ortalama (532 Ncm) 4D ile elde edilmiştir. 4De ile 495 Ncm ve 5D ile 494 Ncm elde edilmiştir.

Kuru deneyler ile tüm malzeme grupları için U matkap başına 9 adet deney yapılmıştır. Şekle göre en düşük Mz ortalaması (627 Ncm) 5D ile elde edilirken en yüksek değer (636 Ncm) 3D ile elde edilmiştir.



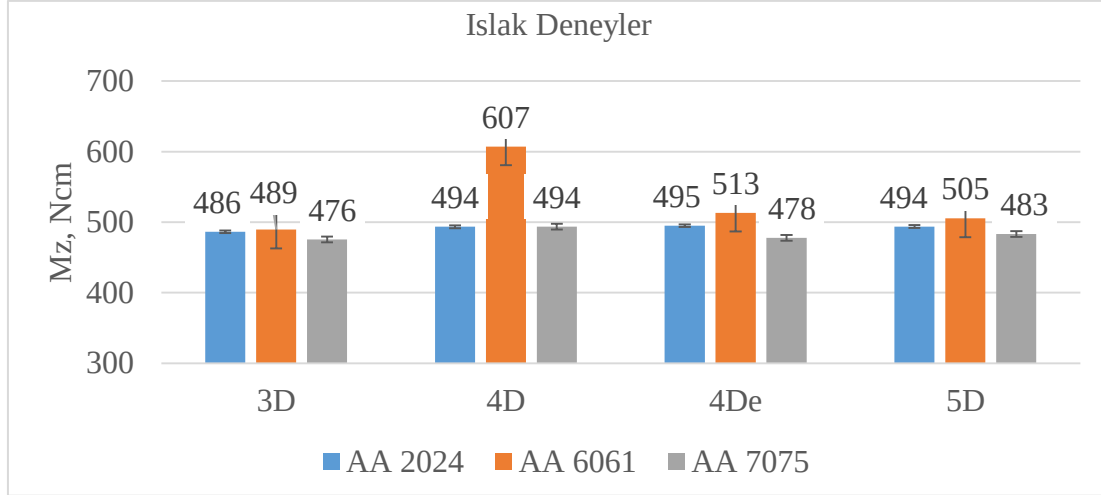
Şekil 5.17. L/D oranına göre Mz değerlerinin değişimi

Islak ve kuru deneylerin sonuçları karşılaştırıldığında ise Şekil 5.18 elde edilmiştir. Kuru deneyler ıslak deneylere göre 3D için %31,4 iken 4De ve 5D için %27 daha yüksek meydana gelmiştir. Islak delme şartları kesici takım, talaş ve iş parçası arasındaki sürtünmeleri ve dolayısıyla ısınmayı azaltarak kesme kuvvetlerinin daha düşük meydana gelmesine neden olmuştur [80].



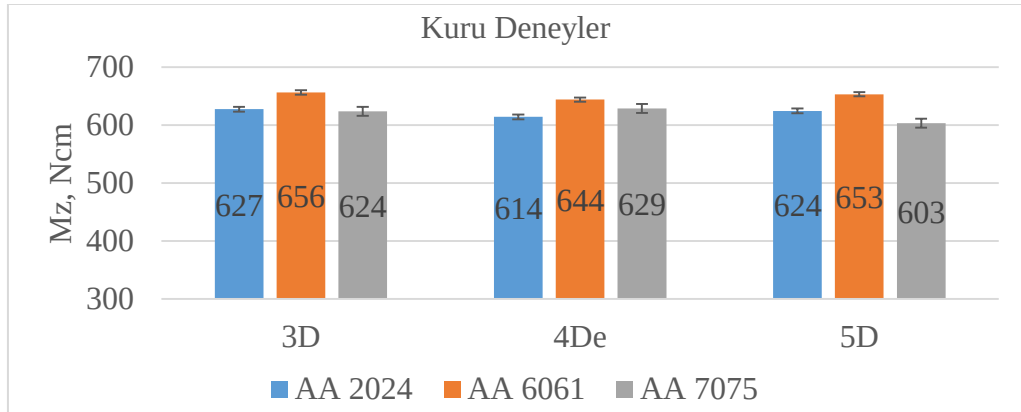
Şekil 5.18. Islak ve kuru deneylerin Mz'ye göre karşılaştırılması

Malzemelere göre ıslak deneylerin Mz değerleri dikkate alındığında Şekil 5.19 meydana gelmiştir. Tüm malzeme grupları için U matkapların hemen hemen hepsinde Mz değerleri birbirlerine yakın sonuçlanmıştır. Sadece AA 6061 malzemesinin 4D ile delinmesinde meydana gelen Mz değeri diğerlerine göre yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.19. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Mz'nin değişimi

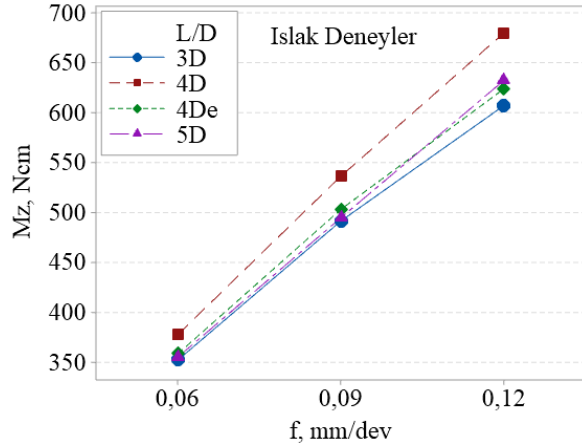
Kuru deneylerin malzemelere göre değişimi dikkate alındığında Şekil 5.20 elde edilmiştir. Tüm malzeme grupları için U matkapların hemen hemen hepsinde Mz değerleri birbirlerine yakın değerlerde sonuçlanmıştır.



Şekil 5.20. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Mz'nin değişimi

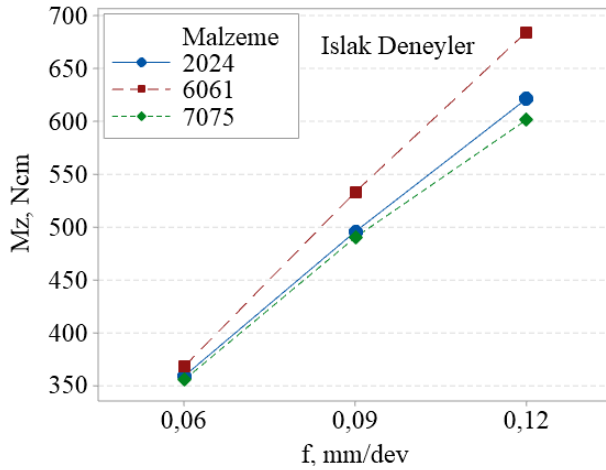
5.2.2. İlerleme miktarına göre Mz'nin değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne göre f 'in değişimi Şekil 5.21'de yer almaktadır. Tüm U matkaplar için f 'in artmasına paralel olarak Mz değerleri artmıştır [2]. Bu ise f 'in artmasına bağlı olarak kesicinin iş parçası içerisinde daha hızlı hareket etmesine ve talaş kalınlığının artmasına atfedilmiştir.



Şekil 5.21. L/D değerleri için f ile Mz'nin değişimi

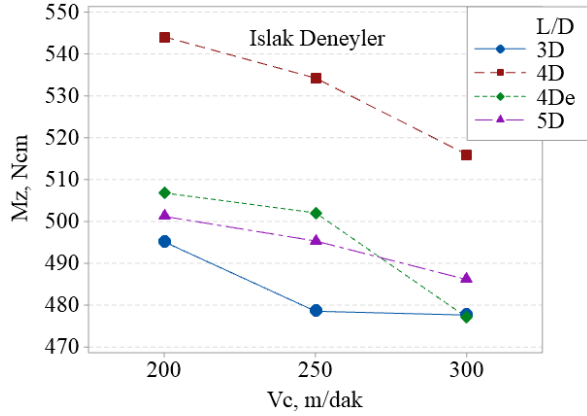
Islak deneyler için malzeme türüne göre f'in değişimi Şekil 5.22'de yer almaktadır. Tüm U matkaplar için f'in artmasına paralel olarak Mz değerleri artmıştır.



Şekil 5.22. Malzemelere göre f'in Mz ile değişimi

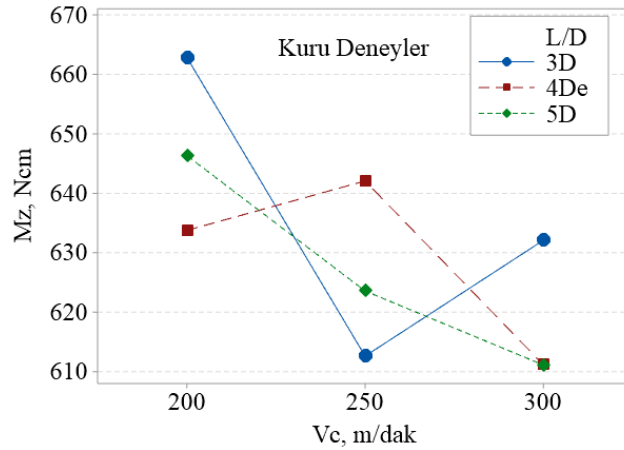
5.2.3. Kesme hızına göre Mz'nin değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.23'te yer almaktadır. Tüm U matkaplar için Vc'nin artmasına paralel olarak Mz değerleri azalmıştır. Vc'nin artmasıyla beraber kayma açısı artarak daha ince talaşlar oluşmakta ve takım-talaş temas süresinin ve temas uzunluğunun azalması ile kesme kuvvetleri azalmaktadır [29]. Diğer U matkaplara göre 4D U matkap ile daha yüksek moment değerlerinin elde edilmesinde U matkap gövdesinin helis açısı, denge açısı, kesici uç açıları gibi tasarımdan kaynaklanan nedenlerden dolayı biraz daha yüksek değerlerin meydana gelmiş olduğu değerlendirilmiştir.



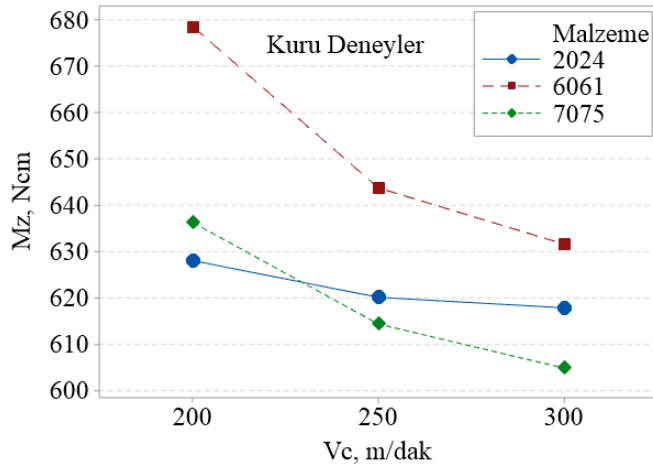
Şekil 5.23. L/D değerleri için Vc ile Mz'nin değişimi (Islak)

Kuru deneyler için U matkap türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.24'de yer almaktadır. 5D için Vc'nin artmasına paralel olarak Mz değerleri azalmıştır. 3D için orta Vc'de değerler azalmışken yüksek Vc'de tekrar artmıştır. 4De için orta Vc'de değerler artmışken yüksek Vc'de tekrar azalmıştır.



Şekil 5.24. L/D değerlerine göre Vc ile Mz'nin değişimi (Kuru)

Kuru deneyler için malzeme türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.25'de yer almaktadır. Tüm malzeme grupları için Vc'nin artmasına paralel olarak Mz değerleri azalmıştır. En belirgin azalma ise AA 6061 malzemesinde meydana gelmiştir. En az değişim ise AA 2024 malzemesinde meydana gelmiştir. AA 6061 malzemesi diğer malzemelere göre daha yüksek elastikiyet modülüne ve daha düşük sertliğe sahiptir. Kesme hızı yükseldikçe kayma açısı artarak daha ince talaşların meydana geldiği, bu durumun da kuvvetlerde azalmaya neden olduğu literatüre göre bilinen bir durumdur. AA 6061 malzemesi için bu mekanizmanın daha etkili olduğu düşünülmüştür.

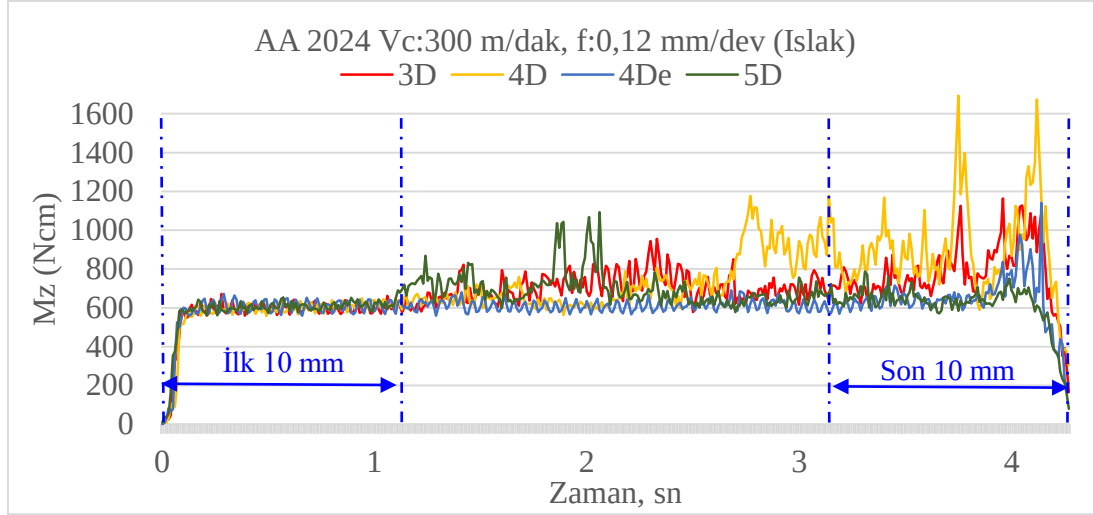


Şekil 5.25. Malzeme türüne göre Vc ile Mz'nin değişimi (Kuru)

5.2.4. Tork'un zamana göre değişimi

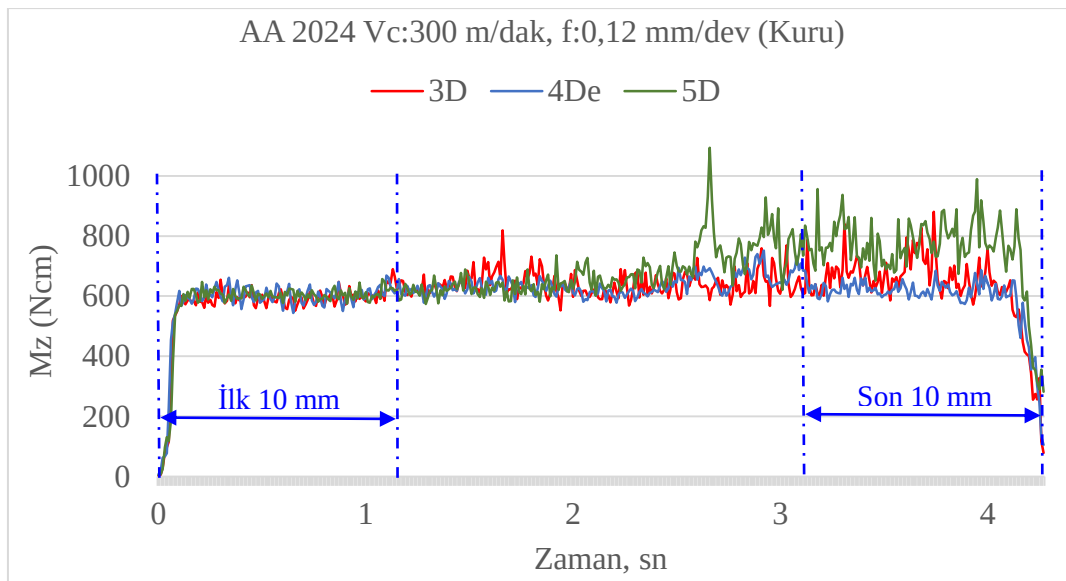
Şekil 5.26'da AA 2024 alüminyum alaşımının 300 m/dak ve 0,12 mm/dev'de ki zamana bağlı Mz değişimleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde başlangıçta tork sinyalleri birbirine benzemektedir. Ancak deliğin çıkışına yaklaştıkça talaş sıvanma/yapışma ve kurtulmaların artmasıyla Mz değerlerinde anlık artma ve azalmalar görülmektedir. 4De için Mz sinyalleri diğer U matkaplara göre biraz daha istikrarlı gitmiştir. Diğer U matkaplarda torkta meydana gelen ani artış ve azalmalar daha fazlayken 4De'de daha az meydana gelmiştir. Bu durumun merkezi uç tarafından kesilen talaşların, 4De'de bulunan ekstra soğutucu deliğe sıkışması ve kurtulması sonucu meydana gelmiş olabileceği değerlendirilmiştir. Ekstra soğutucu deliğin talaş kırıcı gibi davranarak daha kısa talaşların meydana gelmesine neden olduğu böylelikle talaş sıkışmalarının daha az olduğu değerlendirilmiştir.

Ekstra soğutucu deliği, U matkabın merkezinde olduğu için Fz değerlerine oldukça belirgin bir şekilde etki etmişken Mz değerlerinin ortalamaları arasında fazla bir fark oluşmamıştır. Bu duruma ise matkabın merkezinde Vc'nin sifıra yakinken çevreye doğru Vc değerlerinin artması neden olmuş olabilir. Ekstra soğutucu deliği de merkezi yakın konumda bulunduğundan Mz değerlerine fazla etkisi olmadığı düşünülmüştür.



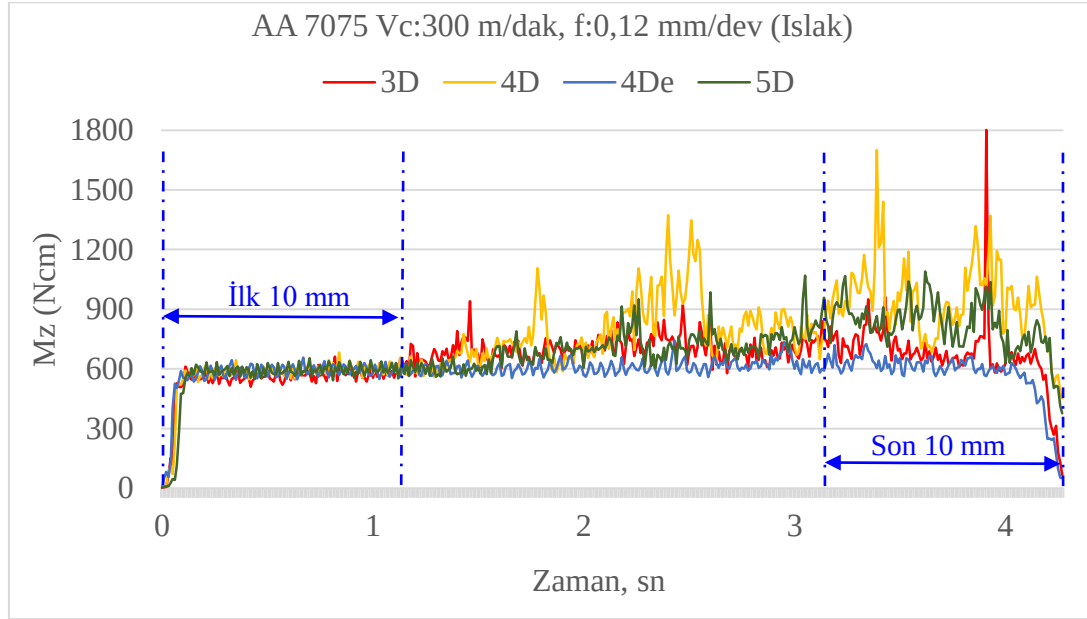
Şekil 5.26. AA 2024 için zamana göre Mz'nin değişimi (Islak)

Şekil 5.27’de AA 2024 malzemesinin kuru şartlarda zamana göre Mz değişimi yer almaktadır. Şekil incelendiğinde yaklaşık 25 mm delik derinliğine kadar Mz değerleri birbirine yakın seyretmiştir. Deliğin sonlarına doğru ise ani Mz zirveleri meydana gelmiştir. En belirgin artışlar ise 5D’de meydana gelmiştir. L/D değerinin artmasıyla beraber Mz değerlerinde ani artışlar meydana gelmiştir. Yüksek L/D oranına sahip 5D’nin delik derinliğinin artmasıyla beraber rijitliğin azalarak daha fazla yanıl sapması neticesinde Mz değerlerinde artışın meydana gelmiş olabileceği değerlendirilmiştir. Bunun dışında talaş sıkışmaları da daha fazla meydana gelmiş olabilir.



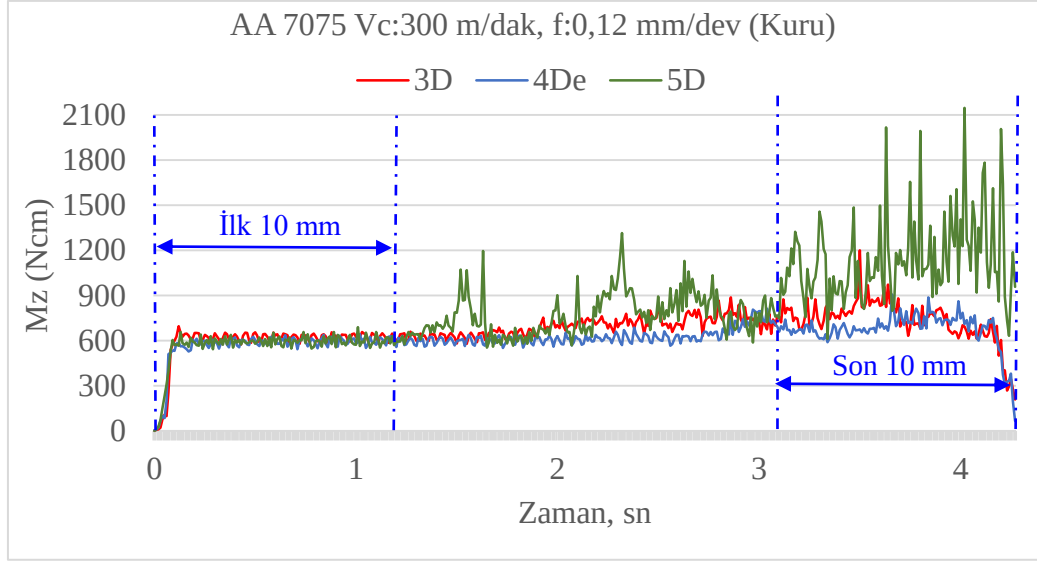
Şekil 5.27. AA 2024 için zamana göre Mz'nin değişimi (Kuru)

Şekil 5.28’de AA 7075 alüminyum alaşımının 300 m/dak ve 0,12 mm/dev’de ki zamana bağlı Mz değişimleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde başlangıçta Mz sinyalleri birbirine benzerdir. Ancak deliğin çıkışına yaklaştıkça talaş sıvanma ve yapışmaların artmasıyla Mz değerlerinde anlık artma ve azalmalar görülmektedir. 4De için Mz sinyalleri diğer U matkaplara göre biraz daha istikrarlı gitmiştir. Diğer U matkaplarda Mz’de ki ani artış ve azalmalar daha fazlayken 4De’de daha azdır. Bu durumun merkezi uç tarafından kesilen talaşların 4De’de bulunan ekstra soğutucu deliğe sıkışması ve kurtulması sonucu meydana gelmiş olabileceği değerlendirilmiştir. AA 2024 malzemesi için yapılan değerlendirmenin AA 7075 içinde geçerli olduğu değerlendirilmiştir. 3D ve 4D U matkapları için talaş sıkışmalarının daha fazla meydana geldiği, bu durumun U matkapların geometrik özelliklerinden kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmiştir.



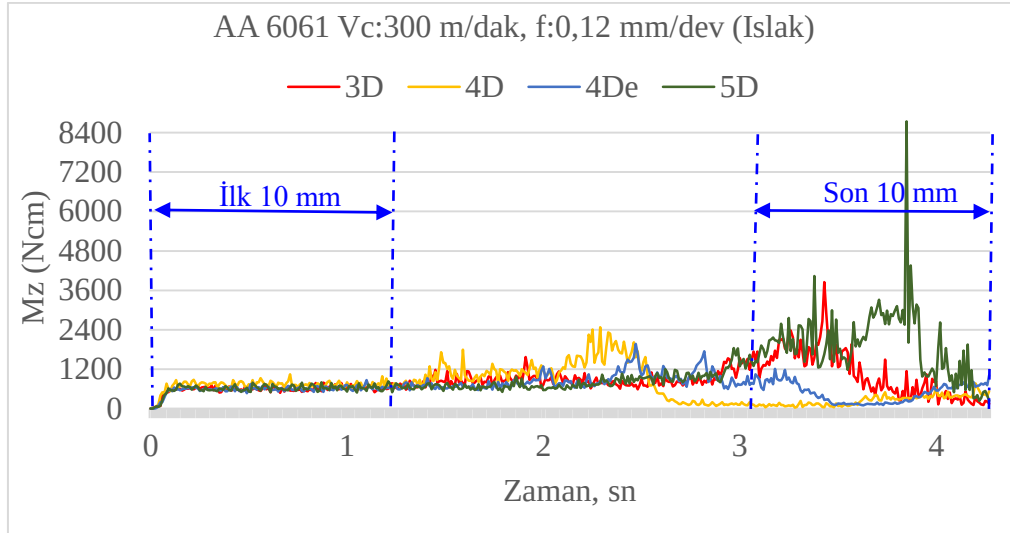
Şekil 5.28. AA 7075 için zamana göre Mz’nin değişimi (Islak)

Şekil 5.29’da AA 7075 malzemesinin kuru şartlarda zamana göre Mz değişimi yer almaktadır. Şekil incelendiğinde yaklaşık deliğin girişinden 30 mm derinliğe kadar Mz değerleri birbirine yakın seyretmiştir. Deliğin sonlarına doğru ise ani Mz zirveleri meydana gelmiştir. 4De’nin daha istikrarlı Mz değerleri oluşturduğu söylenebilir. 5D U matkap için zirveler daha yoğun olduğu görülmektedir. 5D U matkap için denge açısı ($4,79^\circ$) diğer U matkaplara göre oldukça düşüktür. Bundan dolayı yanal sapmalar daha fazla meydana gelerek bu sonuca neden olmuş olabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 5.29. AA 7075 için zamana göre Mz'nin değişimi (Kuru)

Şekil 5.30'da AA 6061 alüminyum alaşımının 300 m/dak ve 0,12 mm/dev'de ki zamana bağlı Mz değişimleri görülmektedir. 300 m/dak kesme hızı 0,12mm/dev ilerleme miktarı ve 40 mm delik derinliği için delme süresi yaklaşık 4,2 saniyedir. Şekil incelendiğinde yaklaşık 20 mm delik derinliği yani 2 saniyeye kadar delik delme süreci kısmen sıkıntısız devam ederken, sonrasında iş mili yükü değeri çok fazla artmış buna paralel olarak Mz değerleri de artmıştır. U matkabın deliğe sıvanarak yapışmaması için f değerine elle müdahale edilerek ani olarak durdurulmuş ve sonrasında f değeri %20 oranında azaltılarak delik delme süreci tamamlanmıştır. Bu duruma AA 6061 malzemesinin AA 2024 ve AA 7075 malzemelerine göre elastikiyet modülünün yüksek, akma dayanımı ve % uzamasının düşük olmasının neden olduğu değerlendirilmiştir. Çünkü AA 6061 malzemesi deyim yerindeyse çamur gibi U matkap gövdelerine yapışarak bu durumun meydana gelmesine neden olmuştur. AA 6061 malzemesinin ısı iletim katsayısı (167 W/m.K), AA 2024 (121 W/m.K) ve AA 7075 (130 W/m.K) malzemesininkinden yüksektir. Delik derinliği arttıkça soğutma sıvısı kesme bölgesine daha az nüfuz ettiği için sıvanma ve yapışmanın artarak Fz değerlerinde artışa neden olduğu değerlendirilmiştir [73].



Şekil 5.30. AA 6061 için zamana göre Mz'nin değişimi (Islak)

5.2.5. Mz için varyans ve regresyon analizleri

AA 2024-T351, AA 6061-T651 ve AA 7075-T651 malzemelerinin U matkap ile delinmesinden elde edilen deneysel Mz değerlerinin kesme hızı, ilerleme miktarı ve U matkap uzunluk/çap oranı girdi faktörlerine göre değiştiği varsayılarak varyans ve regresyon analizleri yapılmıştır. Ortalama etki grafikleri elde edilmiştir. Çizelge 5.7’de Mz değerlerinin malzemelere göre varyans analizi, Çizelge 5.8’de ise model özetleri bulunmaktadır. AA 2024 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, tork üzerinde kesme hızı ve ilerleme miktarı girdi parametrelerinin $p < 0,05$ olduğu için oluşturulan model üzerinde etkili oldukları, L/D’nin ise $p > 0,05$ olduğu için etkili olmadığı tespit edilmiştir. Mz üzerinde en etkili parametre % 98,77 ile ilerleme miktarı iken onu % 0,32 ile kesme hızı takip etmektedir. İstatistiksel modelin belirlilik katsayısı olan R^2 değeri ise AA 2024 malzemesi için %99,18 olarak tespit edilmiştir. AA 6061 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, tork üzerinde tüm girdi parametrelerinin $p < 0,05$ olduğu için oluşturulan model üzerinde etkili oldukları tespit edilmiştir. Mz üzerinde % 82,5 ilerleme miktarı, %10,45 uzunluk/çap oranı ve %1,53 kesme hızının etkili olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel modelin belirlilik kat sayısı olan R^2 değeri ise AA 6061 malzemesi için %94,48 olarak tespit edilmiştir. AA 7075 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, tork üzerinde sadece ilerleme miktarının $p < 0,05$ olduğu için oluşturulan model üzerinde etkili olduğu, diğer girdi parametrelerinin ise $p > 0,05$ olduğu için anlamlı bir etkiye sahip olmadıkları tespit edilmiştir. Mz üzerinde en etkili parametrenin % 96,04 ile ilerleme miktarı olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel modelin belirlilik kat sayısı olan R^2 değeri ise AA 7075 malzemesi için %96,88 olarak tespit

edilmiştir. Tüm malzemeler için en etkili girdi parametresi olarak ilerleme miktarı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.7. Mz için malzemelerin varyans analizleri

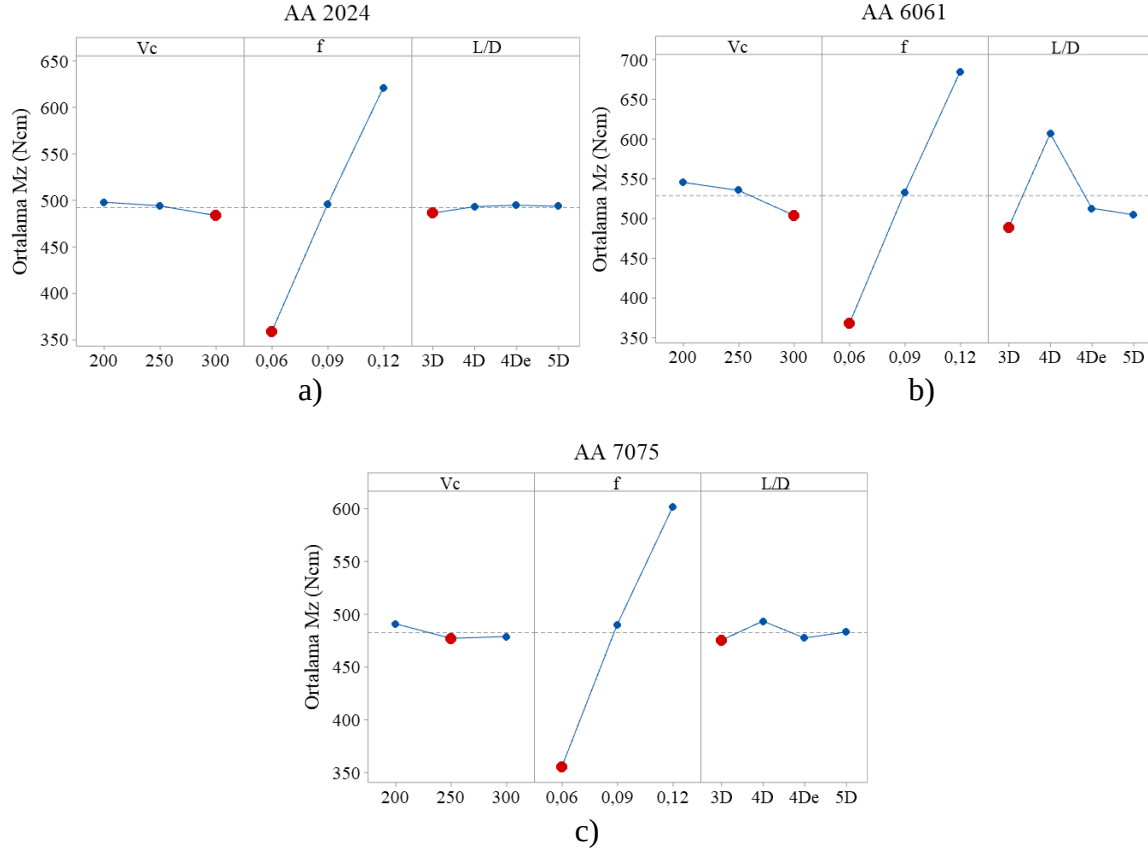
Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı (Adj SS)	Kareler ortalaması (Adj MS)	F değeri	P değeri	Etki (%) Contribution
<i>AA 2024-T351 Ortalama Tork, Mz (Ncm)</i>						
Model	7	415 674	59 382	486,16	0	99,18%
Lineer	7	415 674	59 382	486,16	0	99,18%
Vc	2	1 322	661	5,41	0,01	0,32%
f	2	413 944	206 972	1 694,48	0	98,77%
L/D	3	408	136	1,11	0,36	0,10%
Hata	28	3 420	122			0,82%
Toplam	35	419 094				100,00%
<i>AA 6061-T651 Ortalama Tork, Mz (Ncm)</i>						
Model	7	690 850	98 693	68,47	0	94,48%
Lineer	7	690 850	98 693	68,47	0	94,48%
Vc	2	11 182	5 591	3,88	0,033	1,53%
f	2	603 233	301 617	209,25	0	82,50%
L/D	3	76 434	25 478	17,68	0	10,45%
Hata	28	40 360	1 441			5,52%
Toplam	35	731 209				100,00%
<i>AA 7075-T651 Ortalama Tork, Mz (Ncm)</i>						
Model	7	368 523	52 646	124,06	0	96,88%
Lineer	7	368 523	52 646	124,06	0	96,88%
Vc	2	1 373	686	1,62	0,216	0,36%
f	2	365 359	182 680	430,48	0	96,04%
L/D	3	1 791	597	1,41	0,262	0,47%
Hata	28	11 882	424			3,12%
Toplam	35	380 405				100,00%

Çizelge 5.8. Mz için malzemelerin model özetleri

	S	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
AA 2024	11,0519	99,18%	98,98%	98,65%
AA 6061	37,966	94,48%	93,10%	90,88%
AA 7075	20,6	96,88%	96,10%	94,84%

Şekil 5.31’de tüm malzemelerin etki grafikleri yer almaktadır. AA 2024 ve AA 6061 için en düşük tork, en yüksek kesme hızı olan 300 m/dak ile elde edilirken, AA 7075 için 250 m/dak

kesme hızında elde edilmiştir. İlerleme miktarı için ise 0,06 mm/dev daha etkili olarak sonuçlanmıştır. Uzunluğun/çapa oranı dikkate alındığında ise tüm malzeme grupları için en etkili sonucu 3D vermiştir.



Şekil 5.31. Mz için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075

AA 2024 malzemesinin tork modeline göre regresyon eşitliği Eş. 5.4’de, AA 6061 için Eş. 5.5’de ve AA 7075 için Eş. 5.6’da bulunmaktadır.

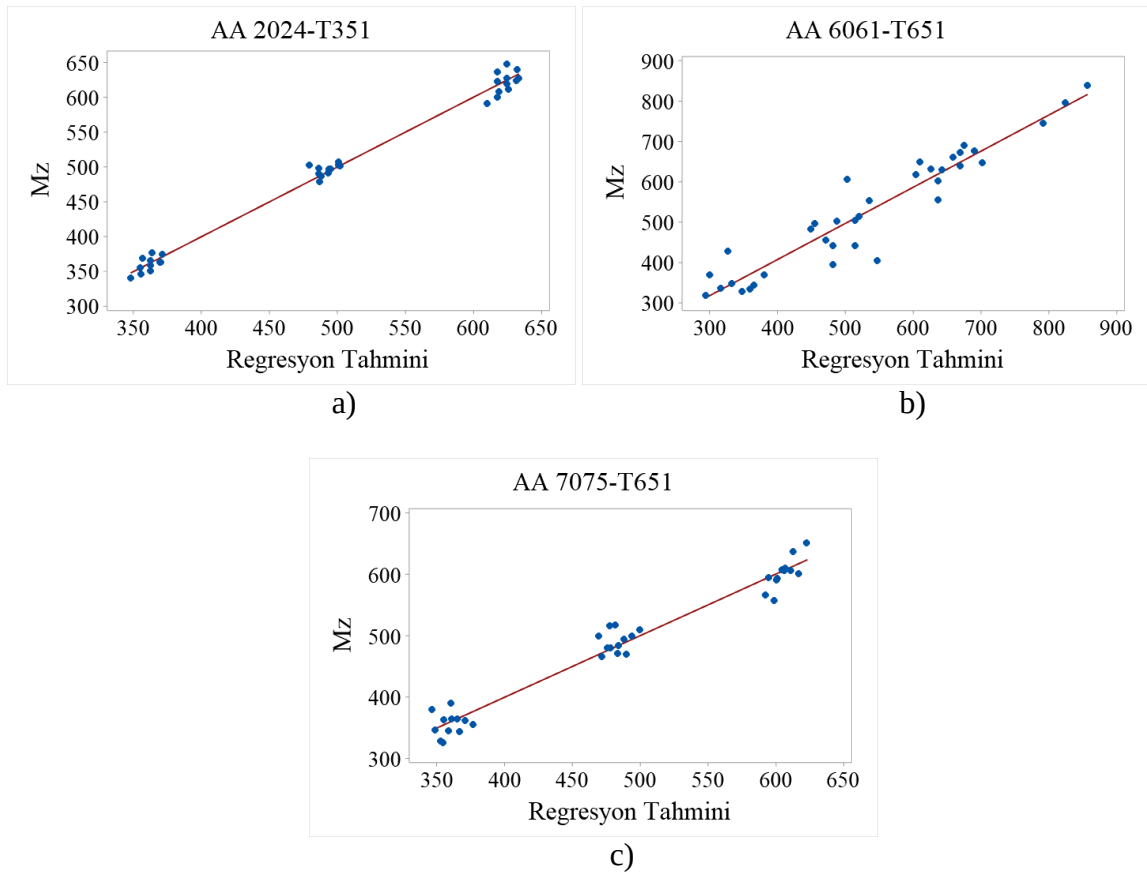
$$\begin{aligned}
 Mz_{2024} = & 492,20 + 6,09 Vc_{200} + 2,17 Vc_{250} - 8,27 Vc_{300} - 133,16 f_{0,06} \\
 & + 3,74 f_{0,09} + 129,42 f_{0,12} - 5,75 L/D_{3D} + 1,28 L/D_{4D} + 2,82 L/D_{4De} \\
 & + 1,65 L/D_{5D}
 \end{aligned} \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned}
 Mz_{6061} = & 528,79 + 17,14 Vc_{200} + 7,11 Vc_{250} - 24,24 Vc_{300} \\
 & - 160,78 f_{0,06} + 4,59 f_{0,09} + 156,20 f_{0,12} - 39,4 L/D_{3D} + 78,4 L/D_{4D} \\
 & - 15,5 L/D_{4De} - 23,5 L/D_{5D}
 \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$Mz_{7075} = 482,62 + 8,68 Vc_{200} - 5,20 Vc_{250} - 3,48 Vc_{300} - 127,13 f_{0,06}$$

$$+ 7,87 f_{0,09} + 119,26 f_{0,12} - 7,08 L/D_{3D} + 11,16 L/D_{4D} - 4,88 L/D_{4De} + 0,80 L/D_{5D} \quad (5.6)$$

Eşitlikler kullanılarak hesaplanan regresyon tahminleri Şekil 5.32’de grafik olarak verilmiştir. AA 2024 için en fazla tahmin hatası (APE) %4,7 tüm deneylerin ortalama tahmin hatası (MAPE) ise %1,7 olarak hesaplanmıştır. AA 6061 için APE %22,8 MAPE ise %5’dir. AA 7075 için APE %8,8 MAPE ise %3,3’dir. Bu sonuçlara göre sırasıyla regresyon analizinin AA2024, daha sonra AA7075 ve son olarak ise AA 6061 malzemeleri için daha yüksek doğrulukta tahmin yapılabileceği tespit edilmiştir.



Şekil 5.32. Mz tahmin sonuçları a) AA 2024, b) AA 6061, C) AA 7075

5.3. İş Mili Yüğü 'nün Değerlendirilmesi

İş mili yüğü (İMY), güç tüketimi ile ilişkili bir değerdir [82]. Eğer operatör tarafından dikkat edilmezse kesicinin kırılmasına veya kesicinin malzemeye saplanarak CNC tezgâhın alarm vererek durmasına bile neden olabilir. Bundan dolayı kesme parametreleri belirlenirken iş mili yüğü değerleri dikkate alınmalı, kesme parametreleri ona göre verilmelidir [83]. CNC

takım tezgâhının kontrol panelinde bulunan “Load, %” göstergesi delik delme deneyleri süresince takip edilerek maksimum iş mili yükü değerleri not edilip Çizelge 5.9 elde edilmiştir. Bu göstergedeki iş mili yükü verileri, mevcut iş mili gücünün makinenin maksimum gücüne bölünmesiyle hesaplanmaktadır [84]. Çizelgede yer alan %180 değeri İMY değerinin çok yükseldiği ve iş milinin durma noktasına geldiği için f’in azaltıldığı değerlerdir. Bu durum yalnızca AA 6061 malzemesinde meydana gelmiştir. Islak deneyler esnasında AA 6061 alüminyum alaşımının delinmesinde kullanılan neredeyse tüm U matkaplar için 0,12 mm/dev de İMY çok yükseldiği için f değeri elle müdahale edilerek düşürülmüştür. Bundan dolayı AA 6061 malzemesinin 0,12 mm/dev ilerleme miktarında ki değerlendirilmesi şekiller ile yapılmamıştır.

Çizelge 5.9. Islak deneyler için İMY değerleri

Islak	Vc	f	3D			4D			4De			5D		
			İMY (%)			İMY (%)			İMY (%)			İMY (%)		
			2024	6061	7075	2024	6061	7075	2024	6061	7075	2024	6061	7075
	200	0,06	45	60	50	55	90	80	40	60	55	60	90	75
	200	0,09	90	90	60	80	180	80	45	140	45	90	180	75
	200	0,12	70	180	70	85	180	110	60	80	55	90	180	80
	250	0,06	50	70	60	65	120	80	50	80	40	55	170	55
	250	0,09	80	140	70	75	180	105	60	170	50	80	170	70
	250	0,12	85	180	75	95	180	115	65	180	60	80	180	80
	300	0,06	50	80	55	70	135	70	70	130	60	75	150	80
	300	0,09	80	180	90	90	180	100	65	180	70	80	175	90
	300	0,12	100	180	95	120	180	115	85	180	70	90	180	95

Kuru deneyler için İMY değerleri Çizelge 5.10’da yer almaktadır. AA 6061 alüminyum alaşımı 4De U matkap ile Vc 200 m/dak, f 0,12 mm/dev dışında kuru olarak elle müdahale ederek durdurulmadan 40 mm delik derinliğinde parçayı boydan boya delememiştir. U matkabın deliğe sıvanıp yapışmaması için f değeri elle müdahale edilerek %20 oranında düşürülerek delme boydan boya gerçekleşmiştir. Bu durumdan dolayı kuru deneyler için AA 6061 alüminyum alaşımı İMY değerleri değerlendirmeye alınmamıştır. Çünkü AA 6061 malzemesi deyim yerindeyse U matkap gövdelerine delik derinliği arttıkça çamur gibi yapışarak delme işlemini olumsuz olarak etkilemiştir. Bu duruma AA 6061 malzemesinin yüksek termal iletkenliği, içeriğindeki alüminyumun fazla olması, sertliğinin düşük olması gibi özelliklerinin neden olduğu değerlendirilmiştir.

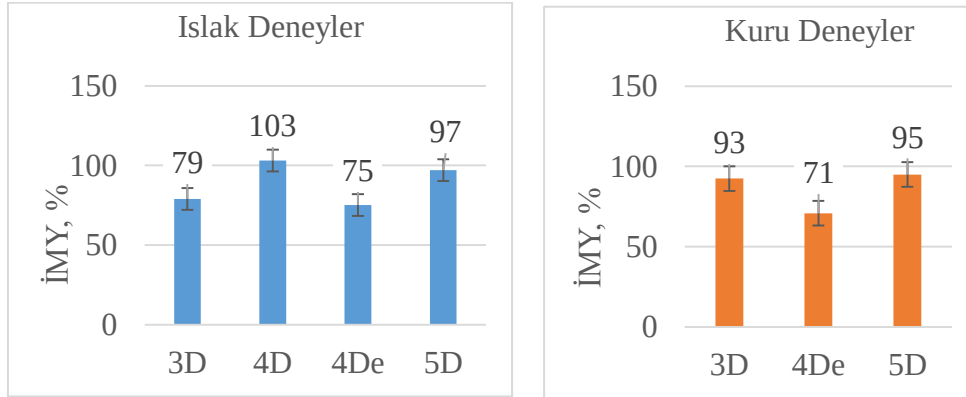
Çizelge 5.10. Kuru deneyler için İMY değerleri

Kuru		3D		4De		5D	
Vc	f	İMY (%)		İMY (%)		İMY (%)	
		2024	7075	2024	7075	2024	7075
200	0,12	100	95	60	60	70	80
250	0,12	100	90	70	80	90	100
300	0,12	80	90	75	80	90	140

5.3.1. Uzunluk/çap oranına göre İMY'nin değişimi

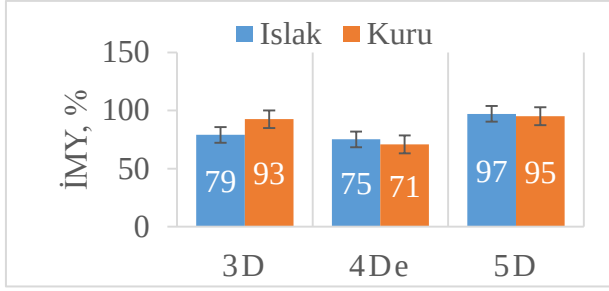
Deneyler kapsamında 4 adet U matkap kullanılmıştır. Islak deneyler ile U matkap başına 27 adet deney yapılmıştır. Tüm bu değerlerin ortalaması alındığında Şekil 5.33 elde edilmiştir. Elde edilen değerlere göre en düşük İMY değeri (% 75) 4De ile elde edilmişken en yüksek değer (% 103) 4D ile elde edilmiştir. 3D ile % 79 ve 5D ile % 97 değeri elde edilmiştir. 4De, 4D'ye göre %27,2 daha düşük değer meydana getirmiştir.

Kuru deneyler ile U matkap başına 9 adet deney yapılmıştır. Kuru deneyler dikkate alındığında ise en düşük değer (% 71) 4De ile elde edilirken en yüksek değer (%95) 5D ile elde edilmiştir.



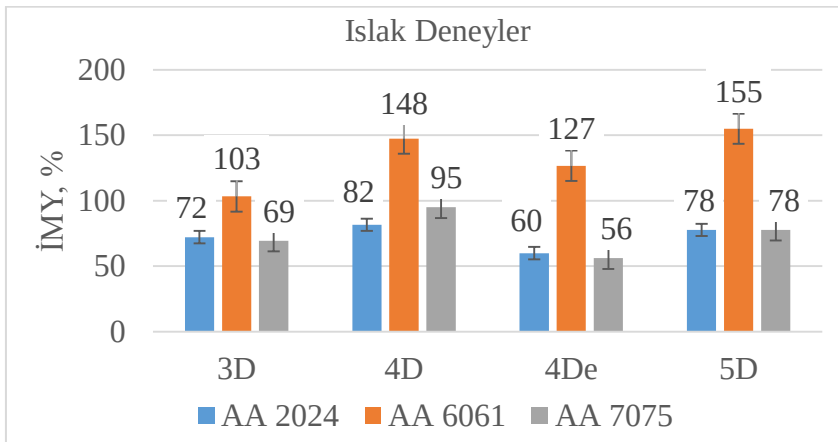
Şekil 5.33. L/D oranına göre İMY değerlerinin değişimi

Islak ve kuru deneylerin sonuçları karşılaştırıldığında ise Şekil 5.34 elde edilmiştir. Kuru deneyler ıslak deneylere göre 3D için %17,7 değerinde artışa, 4De için %5,3 ve 5D için %2,1 düşüşe neden olmuştur.



Şekil 5.34. Islak ve kuru deneylerin İMY değerine göre karşılaştırılması

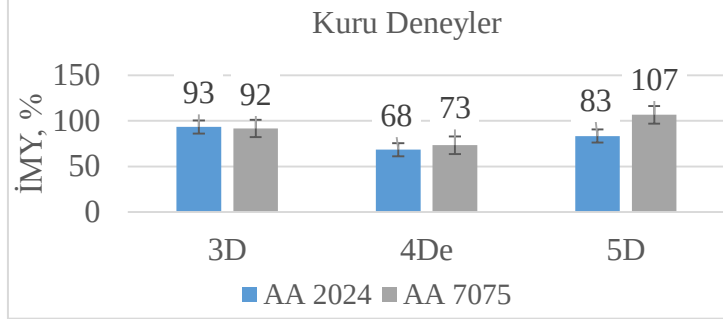
Malzemelere göre ıslak deneylerin İMY değerleri dikkate alındığında ise Şekil 5.35 meydana gelmiştir. U matkapların hepsinde en yüksek ortalama değer AA 6061 malzemesinde meydana gelmiştir. AA 2024 malzemesi için en düşük ortalama İMY 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 4D ile elde edilmiştir. AA 6061 malzemesi için en düşük ortalama İMY 3D ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. AA 7075 malzemesi için en düşük ortalama İMY 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 4D ile elde edilmiştir. Delik delme esnasında kesici takım ne kadar iş parçasına sıkışır/sıyarsa İMY değeri o kadar yükselir [85]. Elde edilen yüksek İMY değerleri dikkate alındığında AA 6061 malzemesi kesiciye diğer iki malzeme grubuna göre daha fazla sıvanmaktadır. Bu durumun AA 6061 malzemesinin ısı iletim katsayısının çok yüksek ve sertliğinin çok düşük olması nedeniyle meydana geldiği değerlendirilmiştir.



Şekil 5.35. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre İMY'nin değişimi

Kuru deneylerin malzemelere göre değişimi dikkate alındığında Şekil 5.36 elde edilmiştir. Kuru deneyler için AA 2024 malzemesinin delinmesinde en düşük ortalama 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 3D ile elde edilmiştir. AA 7075 malzemesi için en düşük değer 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. Buna göre en az kesici

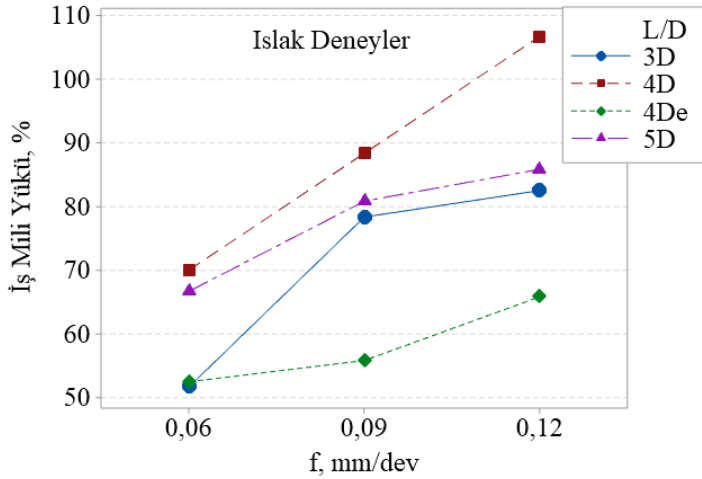
zorlanması 4De’de meydana gelmiştir. Yani tork değerine etki edecek çevresel uca veya U matkap gövdesine sıvanma en az meydana gelmiştir. 4De’de bulunan ekstra soğutucu deliği Fz değerlerinin aksine İMY değerlerine olumlu olarak yansımıştır.



Şekil 5.36. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre İMY'nin değişimi

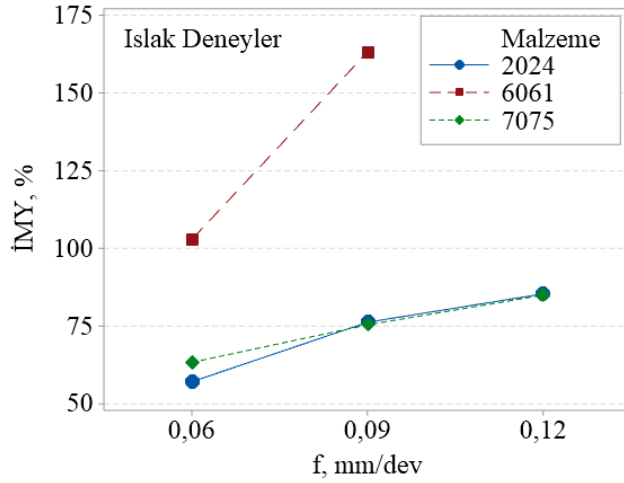
5.3.2. İlerleme miktarına göre İMY'nin değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne göre f 'in değişimi Şekil 5.37’de yer almaktadır. Tüm U matkaplar için f 'in artmasına paralel olarak İMY değerleri artmıştır. Literatürde de benzer sonuçlar elde edilmiştir [75]. Kuru deneylerde tek f değeri dikkate alınmıştır.



Şekil 5.37. L/D değerleri için f ile İMY'nin değişimi

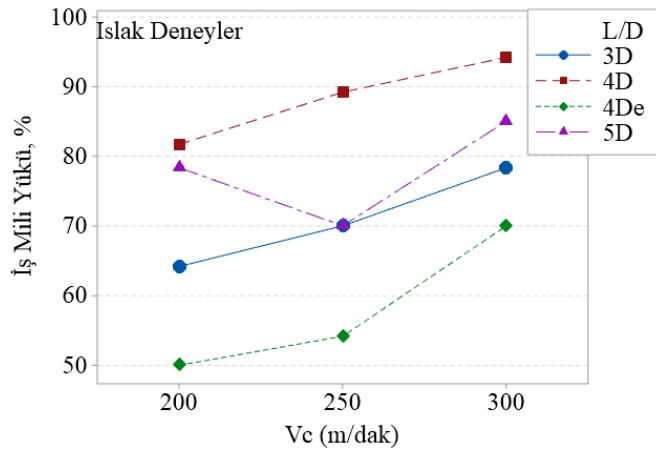
Islak deneyler için malzeme türüne göre f 'in değişimi Şekil 5.38’de yer almaktadır. Tüm U matkaplar için f 'in artmasına paralel olarak İMY değerleri artmıştır. AA 6061 malzemesi için f 'in artmasıyla İMY değerleri oldukça belirgin şekilde artmıştır. f 'in 0,12 mm/dev olduğu değerlerde ise U matkap sıvandığı için f değerleri azaltılmıştır. Bundan dolayı grafikte yer verilmemiştir.



Şekil 5.38. Malzemelere göre fin İMY ile değişimi

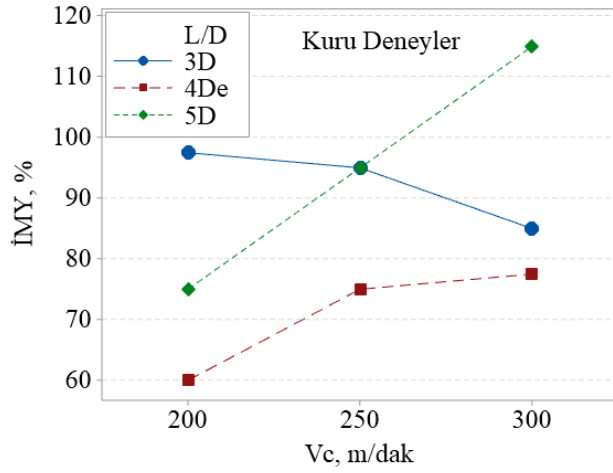
5.3.3. Kesme hızına göre İMY değerlerinin değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne göre V_c 'nin değişimi Şekil 5.39'da yer almaktadır. 5D dışındaki tüm U matkaplar için V_c 'nin artmasına paralel olarak İMY değerleri artmıştır. Literatürde hem ıslak hem de kuru şartlarda V_c 'nin artmasıyla İMY değerleri artmıştır [86].



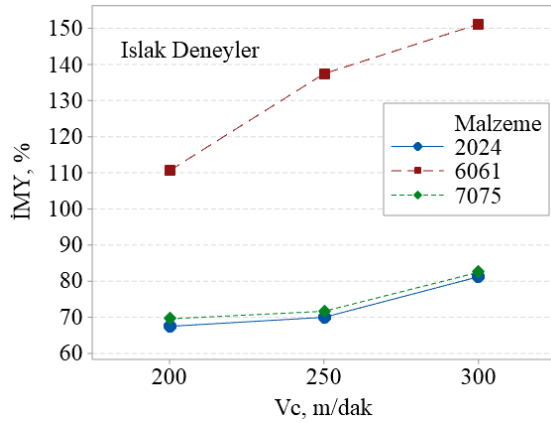
Şekil 5.39. L/D değerleri için V_c ile İMY'nin değişimi (Islak)

Kuru deneyler için U matkap türüne göre V_c 'nin değişimi Şekil 5.40'da yer almaktadır. 4De ve 5D için V_c 'nin artmasına paralel olarak İMY değerleri artmıştır. 3D için V_c 'nin artmasına paralel olarak İMY değerleri azalmıştır.



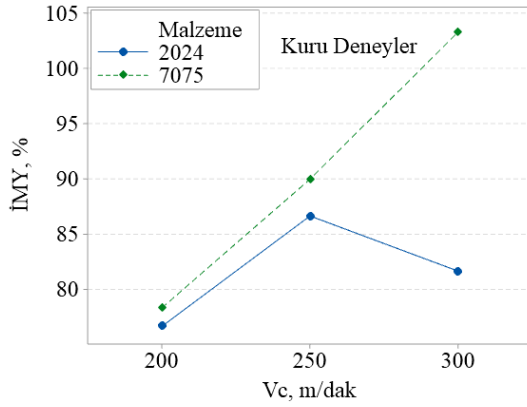
Şekil 5.40. L/D değerlerine göre Vc ile İMY'nin değişimi (Kuru)

Islak deneyler için malzeme türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.41'de yer almaktadır. AA 2024, AA 6061 ve AA 7075 malzemesi için Vc'nin artmasıyla İMY ortalamaları artmıştır. AA 6061 alüminyum alaşımındaki artış oldukça belirgin bir şekilde sonuçlanmıştır.



Şekil 5.41. Malzeme türüne göre Vc ile İMY'nin değişimi (Islak)

Kuru deneyler için malzeme türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.42'de yer almaktadır. AA 2024 malzemesi için orta Vc'de değerler artmışken yüksek Vc'de bir miktar azalmıştır. AA 7075 malzemesi için Vc'nin artmasına paralel olarak İMY değerleri artmıştır. AA 6061 malzemesine boydan boya f değerine müdahale etmeden delinemediği için grafikte yer verilmemiştir.



Şekil 5.42. Malzeme türüne göre Vc ile İMY'nin değişimi (Kuru)

5.3.4. İMY için varyans ve regresyon analizleri

AA 2024-T351, AA 6061-T651 ve AA 7075-T651 malzemelerinin U matkap ile delinmesinden elde edilen deneysel İMY değerlerinin kesme hızı, ilerleme miktarı ve U matkap uzunluk/çap oranı girdi faktörlerine göre değiştiği varsayılarak varyans ve regresyon analizleri yapılmıştır. Ortalama etki grafikleri elde edilmiştir. Çizelge 5.11'de İMY değerlerinin malzemelere göre varyans analizi, Çizelge 5.12'de ise model özetleri bulunmaktadır. AA 2024 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, iş mili yükü üzerinde tüm girdi parametrelerinin $p < 0,05$ olduğu için oluşturulan model üzerinde etkili oldukları tespit edilmiştir. İMY üzerinde en etkili parametre % 44,72 ile ilerleme miktarı iken onu sırasıyla %21,46 uzunluk/çap oranı ve %11,48 ile kesme hızı takip etmektedir. İstatistiksel modelin belirlilik katsayısı olan R^2 değeri ise AA 2024 malzemesi için %77,65 olarak tespit edilmiştir. AA 6061 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, iş mili yükü üzerinde tüm girdi parametrelerinin $p < 0,05$ olduğu için oluşturulan model üzerinde etkili oldukları tespit edilmiştir. İMY üzerinde en etkili parametre % 51,14 ile ilerleme miktarı iken sırasıyla %12,54 uzunluk/çap oranı ve %11,9 kesme hızının etkili olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel modelin belirlilik kat sayısı olan R^2 değeri ise AA 6061 malzemesi için %75,59 olarak tespit edilmiştir. AA 7075 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, iş mili yükü üzerinde tüm girdi parametrelerinin $p < 0,05$ olduğu için oluşturulan model üzerinde etkili oldukları tespit edilmiştir. İMY üzerinde en etkili parametrenin % 53,5 ile uzunluk/çap oranı olduğu, onu sırasıyla %21,16 ilerleme miktarı ve %8,63 kesme hızının takip ettiği tespit edilmiştir. İstatistiksel modelin belirlilik kat sayısı olan R^2 değeri ise AA 7075 malzemesi için %83,29 olarak tespit edilmiştir. AA 2024 ve AA 6061 malzemeleri için en etkili parametre ilerleme miktarı iken AA 7075 için uzunluk/çap oranı olmuştur.

Çizelge 5.11. İMY için malzemelerin varyans analizleri

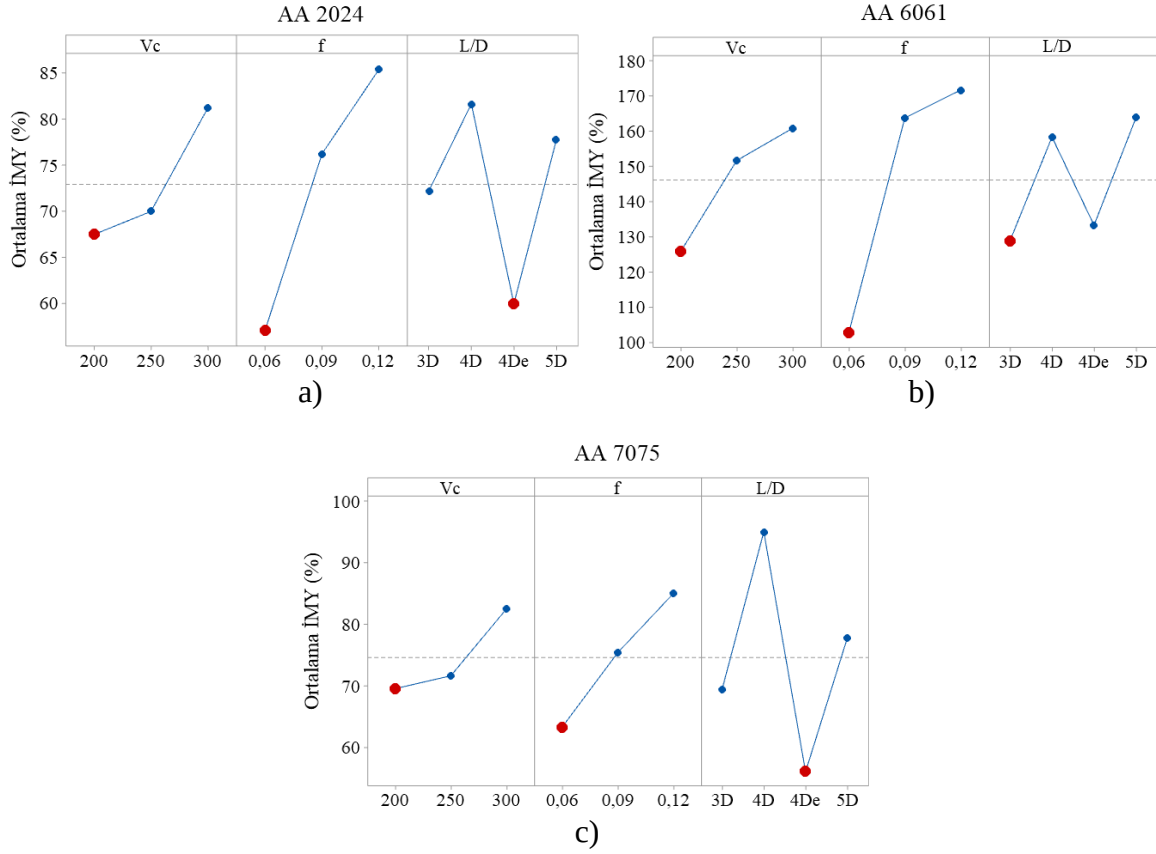
Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı (Adj SS)	Kareler ortalaması (Adj MS)	F değeri	P değeri	Etki (%) Contribution
<i>AA 2024-T351 Ortalama İş Mili Yüğü, İMY (%)</i>						
Model	7	8 712	1 244,54	13,9	0	77,65%
Lineer	7	8 712	1 244,54	13,9	0	77,65%
Vc	2	1 287	643,75	7,19	0,003	11,48%
f	2	5 017	2 508,33	28,02	0	44,72%
L/D	3	2 408	802,55	8,96	0	21,46%
Hata	28	2 507	89,53			22,35%
Toplam	35	11 219				100,00%
<i>AA 6061-T651 Ortalama İş Mili Yüğü, İMY (%)</i>						
Model	7	50 193	7 170,4	12,38	0	75,59%
Lineer	7	50 193	7 170,4	12,38	0	75,59%
Vc	2	7 906	3 952,8	6,83	0,004	11,90%
f	2	33 960	16 979,9	29,33	0	51,14%
L/D	3	8 328	2 775,9	4,79	0,008	12,54%
Hata	28	16 213	579			24,41%
Toplam	35	66 406				100,00%
<i>AA 7075-T651 Ortalama İş Mili Yüğü, İMY (%)</i>						
Model	7	11 135	1 590,77	19,94	0	83,29%
Lineer	7	11 135	1 590,77	19,94	0	83,29%
Vc	2	1 154	577,08	7,24	0,003	8,63%
f	2	2 829	1 414,58	17,74	0	21,16%
L/D	3	7 152	2 384,03	29,89	0	53,50%
Hata	28	2 233	79,76			16,71%
Toplam	35	13 369				100,00%

Çizelge 5.12. Mz için malzemelerin model özetleri

	S	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
AA 2024	9,46223	77,65%	72,07%	63,06%
AA 6061	24,0628	75,59%	69,48%	59,64%
AA 7075	8,93095	83,29%	79,12%	72,38%

Şekil 5.43'te tüm malzemelerin etki grafikleri yer almaktadır. Tüm malzeme grupları için en düşük iş mili yüğü, en düşük kesme hızı olan 200 m/dak ile elde edilmiştir. İlerleme miktarı için ise 0,06 mm/dev daha etkili olarak sonuçlanmıştır. Uzunluğun/çapa oranı dikkate alındığında ise AA 2024 ve AA 7075 malzemeleri için 4De daha etkiliyken, AA 6061 için

3D daha etkili olarak sonuçlanmıştır. AA 6061 malzemesinin çok yapışma/sıvanmaya müsait yapısı nedeniyle diğer malzemelerden ayrıldığı değerlendirilmiştir.



Şekil 5.43. İMY için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075

AA 2024 malzemesinin iş mili yükü modeline göre regresyon eşitliği Eş. 5.7’de, AA 6061 için Eş. 5.8’de ve AA 7075 için Eş. 5.9’da bulunmaktadır.

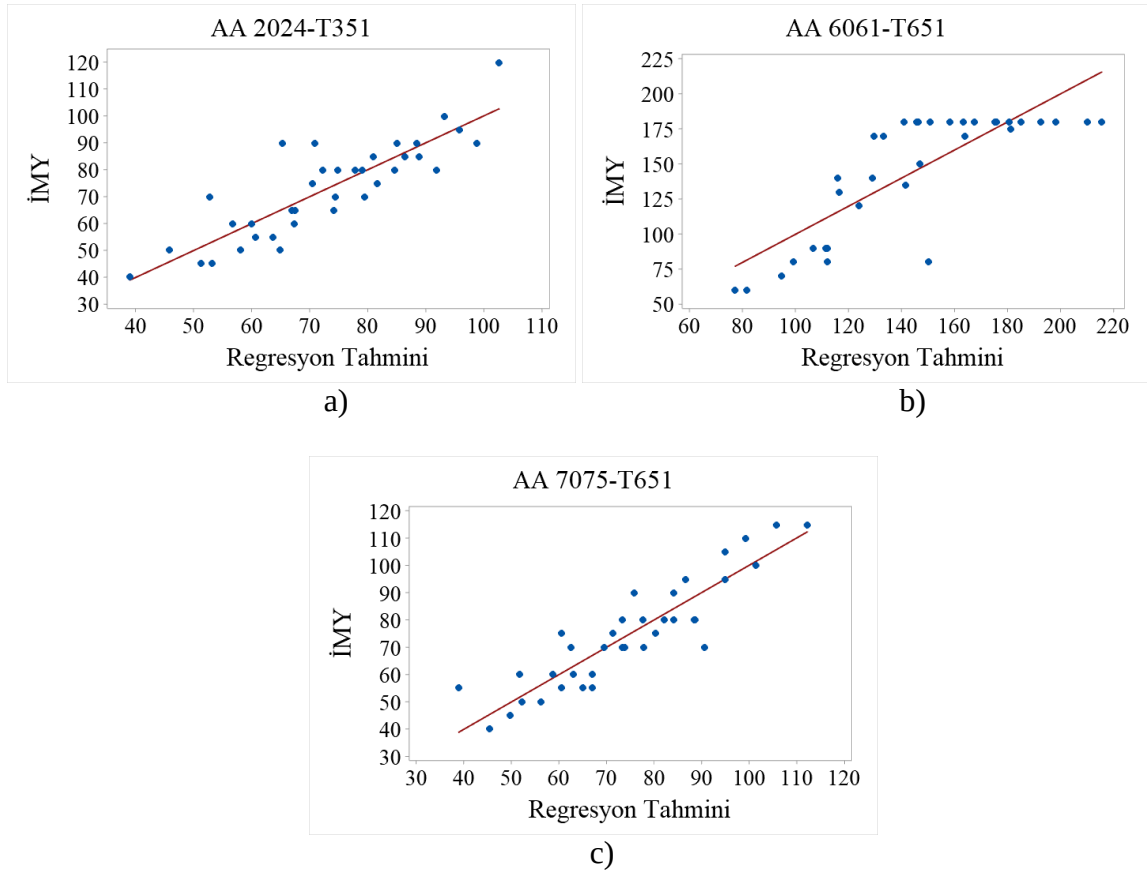
$$\begin{aligned} \dot{IMY}_{2024} = & 72,92 - 5,42 Vc_{200} - 2,92 Vc_{250} + 8,33 Vc_{300} - 15,83 f_{0,06} \\ & + 3,33 f_{0,09} + 12,50 f_{0,12} - 0,69 L/D_{3D} + 8,75 L/D_{4D} - 12,92 L/D_{4De} \\ & + 4,86 L/D_{5D} \end{aligned} \quad (5.7)$$

$$\begin{aligned} \dot{IMY}_{6061} = & 146,11 - 20,28 Vc_{200} + 5,56 Vc_{250} + 14,72 Vc_{300} - 43,19 f_{0,06} \\ & + 17,64 f_{0,09} + 25,56 f_{0,12} - 17,22 L/D_{3D} + 12,22 L/D_{4D} - 12,78 L/D_{4De} \\ & + 17,78 L/D_{5D} \end{aligned} \quad (5.8)$$

$$\begin{aligned} \dot{IMY}_{7075} = & 74,58 - 5,00 Vc_{200} - 2,92 Vc_{250} + 7,92 Vc_{300} - 11,25 f_{0,06} \\ & + 0,83 f_{0,09} + 10,42 f_{0,12} - 5,14 L/D_{3D} + 20,42 L/D_{4D} - 18,47 L/D_{4De} \end{aligned}$$

$$+ 3,19 L/D_{5D} \quad (5.9)$$

Eşitlikler kullanılarak hesaplanan regresyon tahminleri Şekil 5.44’de grafik olarak verilmiştir. AA 2024 için en fazla tahmin hatası (APE) %29,9 tüm deneylerin ortalama tahmin hatası (MAPE) ise %9,8 olarak hesaplanmıştır. AA 6061 için APE %87,8 MAPE ise %16,7’dir. AA 7075 için APE %29,5 MAPE ise %9,7’dir. Bu sonuçlara göre sırasıyla regresyon analizinin AA7075, daha sonra AA2024 ve son olarak ise AA 6061 malzemeleri için daha yüksek doğrulukta tahmin yapılabileceği tespit edilmiştir.



Şekil 5.44. İMY tahmin sonuçları a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075

5.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

Yüzey pürüzlülüğü cihazı yardımıyla ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri (Ra) ıslak deneyler için Çizelge 5.13’te, kuru deneyler içinse Çizelge 5.14’de yer almaktadır. AA 6061 malzemesinin boydan boya f değerine müdahale edilmeden delinen delik sayısı az olduğu için AA 6061 malzemesi için delik girişindeki Ra değeri dikkate alınarak Çizelgede verilmiştir. Bu bağlamda yapılan benzer bir çalışmada AA 6082 malzemesi çapı 25 mm olan U matkap ile 10 mm derinliğinde delinmeye çalışılmıştır [28]. Ancak kuru delme

deneylerinde ve yüksek ilerleme miktarı değerlerinde malzeme kesiciye ve gövdeye yapışarak yüzeyi ve işlemi olumsuz etkilemiştir. Mevcut çalışmada ise U matkap çapı 20 mm delik derinliği 40 mm'dir. AA 6061 malzemesinin delinmesi işleminde delik derinliğinin artmasıyla beraber dışardan emülsiyon soğutma ve kuru işlemenin yüksek ilerleme miktarı ve kesme hızı için uygun olmadığı değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.13. Islak deneyler için Ra değerleri

Islak	Vc	f	3D Ra, μm			4D Ra, μm			4De Ra, μm			5D Ra, μm		
			2024	6061	7075	2024	6061	7075	2024	6061	7075	2024	6061	7075
200	0,06		1,355	3,042	1,109	3,521	4,655	1,348	2,488	4,741	2,181	6,613	4,930	2,254
200	0,09		4,406	6,769	1,986	3,150	6,133	1,384	1,601	9,312	0,773	5,384	4,550	0,732
200	0,12		3,866	2,915	1,747	6,535	4,653	1,476	3,975	3,410	1,556	5,178	5,251	1,224
250	0,06		3,396	2,160	1,314	4,448	4,183	2,003	3,313	2,985	1,444	3,445	3,654	1,683
250	0,09		4,138	4,778	2,085	3,436	3,598	1,668	2,877	5,766	1,247	5,941	5,255	1,860
250	0,12		4,287	4,079	2,404	5,400	3,383	2,253	2,399	5,569	1,661	4,926	1,375	3,594
300	0,06		5,462	3,043	1,334	2,259	3,480	1,556	3,480	4,016	1,768	3,764	7,029	2,452
300	0,09		3,262	4,245	1,828	2,291	4,243	1,096	2,448	3,744	1,437	4,352	4,875	2,874
300	0,12		3,611	5,216	2,468	3,738	2,690	3,596	3,404	5,379	2,099	3,133	5,530	1,943

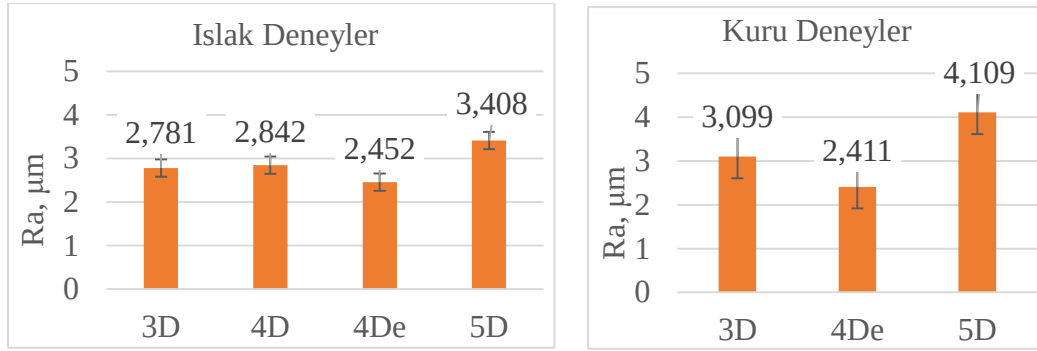
Çizelge 5.14. Kuru deneyler için Ra değerleri

Kuru	Vc	f	3D Ra, μm			4De Ra, μm			5D Ra, μm		
			2024	6061	7075	2024	6061	7075	2024	6061	7075
200	0,12		2,527	3,871	3,480	2,894	2,407	2,037	2,377	1,739	3,099
250	0,12		3,873	3,009	2,962	2,381	2,347	2,567	4,568	2,693	4,443
300	0,12		3,481		2,272	2,692		1,894	5,652		4,514

5.4.1. Uzunluk/çap oranına göre Ra'nın değişimi

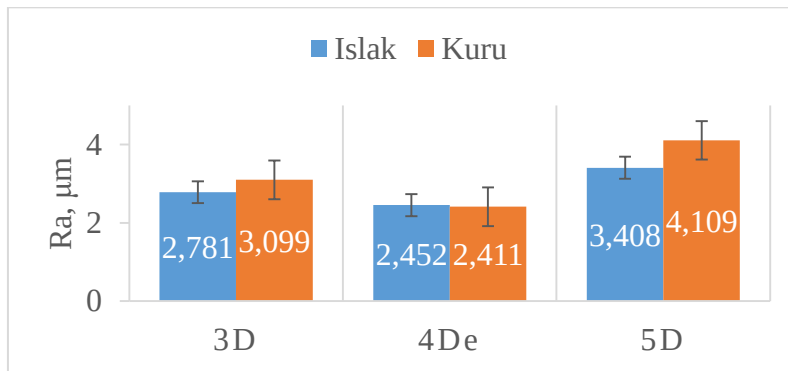
Deneyler kapsamında 4 adet U matkap kullanılmıştır. Islak deneyler ile U matkap başına 27 adet deney yapılmıştır. Tüm bu değerlerin ortalaması alındığında Şekil 5.45 elde edilmiştir. Elde edilen değerlere göre en düşük Ra ortalaması (2,452 μm) 4De ile elde edilmişken en yüksek ortalama (3,408 μm) 5D ile elde edilmiştir. 4D ile 2,842 μm ve 3D ile 2,781 μm elde edilmiştir.

Kuru deneyler ile U matkap başına 9 adet deney yapılmıştır. Şekle göre en düşük Ra ortalaması (2,411 μm) 4De ile elde edilirken en yüksek değer (4,109 μm) 5D ile elde edilmiştir. Uzun matkaplarda Ra değeri kısa matkaplara göre daha fazla çıkmıştır [87]. L/D oranının artmasıyla beraber U matkap rijitliği azalmıştır. Bunun sonucunda titreşimler ve sapmalar meydana gelerek Ra değerleri olumsuz etkilenmiştir. Ancak 4De’de bulunan ekstra soğutucu deliği Ra değerlerine olumlu bir şekilde yansımıştır. Çünkü ekstra soğutucu deliği talaş kırıcı gibi davranarak daha kısa talaşlara sebebiyet vermiş, dolayısıyla talaş tahliyesi rahatlayarak Ra değerlerinin düşmüş olabileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca 4De U matkabın denge açısı (5,74°) diğerlerine göre daha yüksek olduğu için yanıl sapması, dolayısıyla Ra değerleri daha düşük çıkmış olabilir.



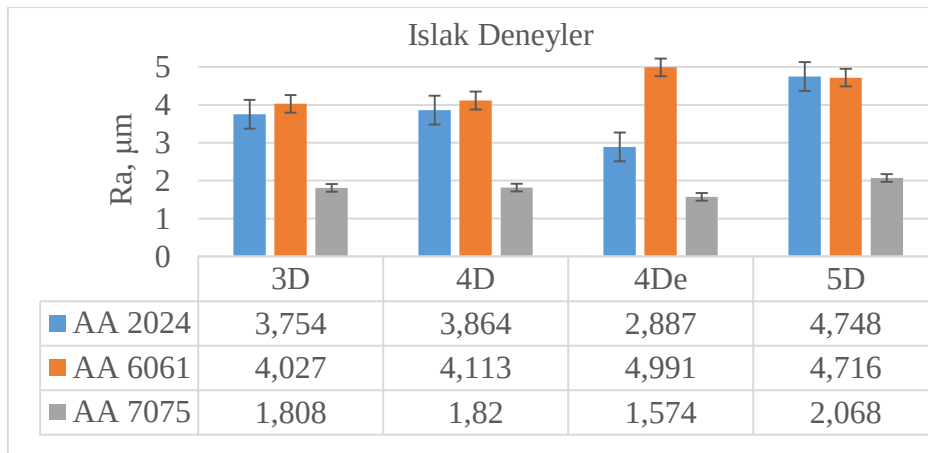
Şekil 5.45. L/D oranına göre Ra değerlerinin değişimi

Islak ve kuru deneylerin sonuçları karşılaştırıldığında ise Şekil 5.46 elde edilmiştir. Kuru deneyler ıslak deneylere göre 3D için %11,4 ve 5D için %20,6 daha yüksek meydana gelmiştir. Islak kesme şartları takım, iş parçası ve talaş arasında soğutma ve yağlamaya neden olarak daha düşük Ra değerlerinin meydana gelmesine neden olmuş olabilir [88].



Şekil 5.46. Islak ve kuru deneylerin Ra'ya göre karşılaştırılması

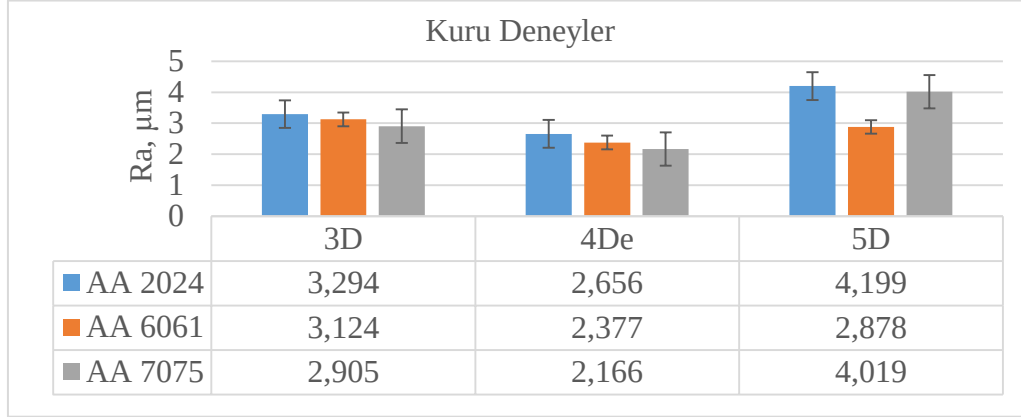
Malzemelere göre ıslak deneylerin Ra değerleri dikkate alındığında Şekil 5.47 meydana gelmiştir. 3D, 4D ve 4De’de en yüksek ortalama değer AA 6061 malzemesinde meydana gelirken en düşük ortalama değer tüm U matkaplarda AA 7075 malzemesinde meydana gelmiştir. AA 2024 malzemesi için en düşük ortalama Ra, 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. AA 6061 malzemesi için en düşük ortalama Ra, 3D ile elde edilmişken en yüksek değer 4De ile elde edilmiştir. AA 7075 malzemesi için en düşük ortalama Ra, 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. 4D’ye göre 4De’de AA 2024 malzemesi için %25,3 daha düşük, AA 6061 malzemesi için %21,3 daha fazla ve AA 7075 malzemesi için %13,5 daha yüksek Ra değerleri meydana gelmiştir. En düşük Ra değerleri 4De ile elde ediliyorken AA 6061 malzemesi için diğer U matkaplara göre fazla çıkan Ra değeri AA 6061 malzemesinin diğer gruptaki malzemelere göre farklı mekanik ve kimyasal özelliklerine atfedilmiştir. Ayrıca iki grup malzeme için iki U matkabın karşılaştırıldığı bir çalışmada bir malzeme için iyi Ra değeri elde eden U matkap diğer malzeme için kötü Ra değerine sebep olmuştur [42]. Malzeme sertliğinin artmasıyla beraber yığıntı talaş (BUE) azalarak işlenebilirlik iyileşmektedir [89]. İşlenebilirliğin iyileşmesi ile daha iyi Ra değerleri meydana gelmektedir [90]. AA 7075 en yüksek sertliğe sahipken, en düşük sertliğe ise AA 6061 malzemesi sahiptir. Bundan dolayı en düşük değerler AA 7075 ile elde edilirken, en yüksek değerler AA 6061 malzemesi işlenirken meydana gelmiş olabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 5.47. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi

Kuru deneylerin malzemelere göre değişimi dikkate alındığında Şekil 5.48 elde edilmiştir. Kuru deneyler için AA 2024 malzemesinin delinmesinde en düşük Ra ortalaması 4De ile elde edilmişken en yüksek ortalama 5D ile elde edilmiştir. AA 6061 malzemesi için en düşük

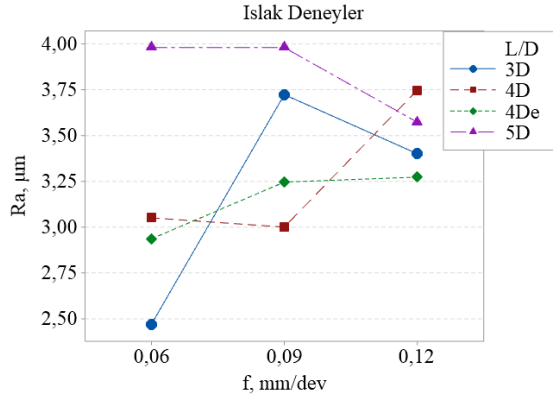
ortalama 4De ile elde edilmişken en yüksek ortalama 3D ile elde edilmiştir. AA 7075 malzemesi için en düşük ortalama 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir.



Şekil 5.48. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi

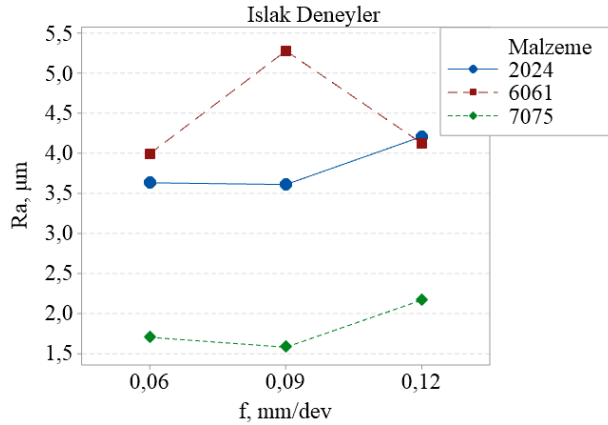
5.4.2. İlerleme miktarına göre Ra'nın değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne göre f 'in değişimi Şekil 5.49'da yer almaktadır. 3D için orta f değerinde Ra artmışken, yüksek f 'te bir miktar azalmıştır. 4D önce hafif azalmış sonra ise artmıştır. 4De f 'in artmasıyla Ra artmıştır. 5D orta f 'te başlangıca göre hemen hemen aynı kalırken, yüksek f değerinde azalmıştır. Kuru deneylerde tek f değeri dikkate alındığı için grafiğe aktarılmamıştır. Literatür incelendiğinde f değerinin artmasıyla beraber Ra değerinin kötüleştiği [38] ifade edilmiş olsa da mevcut çalışmada 4De dışında daha kararsız bir durum söz konusu olmuştur. Yüksek f değerlerinde delme süresi azaldığı için iş parçası ve kesici arasında sıcaklık artışı çok fazla artmadan delme süreci tamamlanmıştır. Bundan dolayı kesiciye talaş yapışması daha az olmuş ve Ra değerleri daha düşük sonuçlanmıştır. Sıcaklık ölçümlerinde de yüksek V_c değerlerinde azalmalar mevcuttur. Yığıntı talaş (BUE) oluşumunun da Ra değerlerinde düzensizliğe neden olabileceği değerlendirilmiştir [91].



Şekil 5.49. L/D değerleri için f ile Ra'nın değişimi

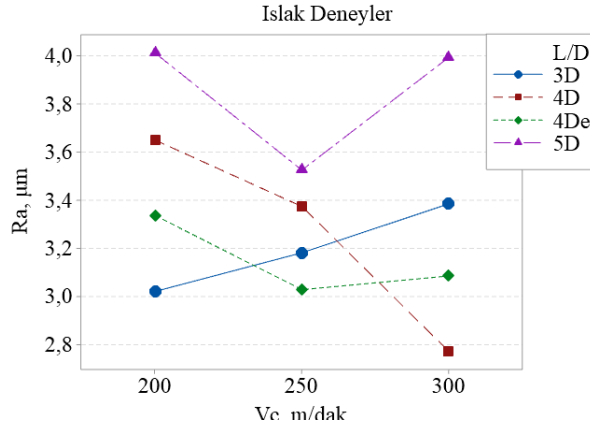
Islak deneyler için malzeme türüne göre f 'in değişimi Şekil 5.50'de yer almaktadır. AA 2024 malzemesi f 'in artmasıyla hemen hemen aynı kalırken yüksek f değerinde Ra artmıştır. AA 6061 malzemesi orta f değerinde artmışken, yüksek f değerinde azalmıştır. AA 7075 malzemesi f 'in artmasına paralel olarak önce hafif azalmış sonrasında ise artmıştır. İlerleme miktarının artması kesme kuvvetlerini artırarak düşük kayma açısına dolayısıyla kalın talaşlara neden olarak Ra değerlerini olumsuz etkilemiştir [71].



Şekil 5.50. Malzemelere göre f 'in Ra ile değişimi

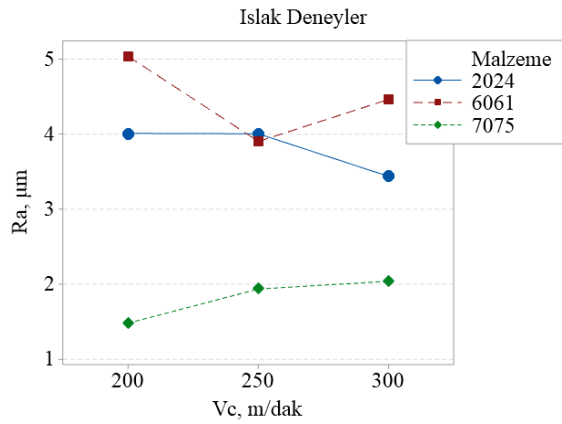
5.4.3. Kesme hızına göre Ra'nın değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne göre V_c 'nin değişimi Şekil 5.51'de yer almaktadır. 3D için V_c 'nin artmasına paralel olarak Ra artmıştır. 4De ve 5D ise V_c 'nin artmasıyla önce azalmış sonra ise artmıştır. 4D ise V_c 'nin artmasıyla azalmıştır. V_c 'nin artmasıyla beraber Ra değerleri kararsız bir durum sergilemiştir [38, 53]. Artan V_c ile Ra'nın bir seviyeye kadar iyileştiği ancak bir seviyeden sonra ise azaldığı belirtilmiştir [92].



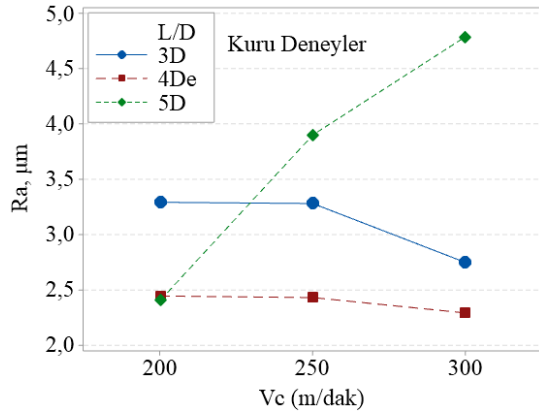
Şekil 5.51. L/D değerleri için V_c ile R_a 'nın değişimi (Islak)

Islak deneyler için malzeme türüne göre V_c 'nin değişimi Şekil 5.52'de yer almaktadır. AA 2024 malzemesi V_c 'nin artmasıyla hemen hemen aynı kalırken yüksek V_c değerinde R_a azalmıştır. AA 6061 malzemesi orta V_c değerinde azalmışken, yüksek f değerinde artmıştır. AA 7075 malzemesi V_c 'nin artmasına paralel olarak artmıştır. Literatür incelendiğinde R_a değerinde V_c 'nin değişimiyle artma ve azalmalar mevcuttur [3, 53].



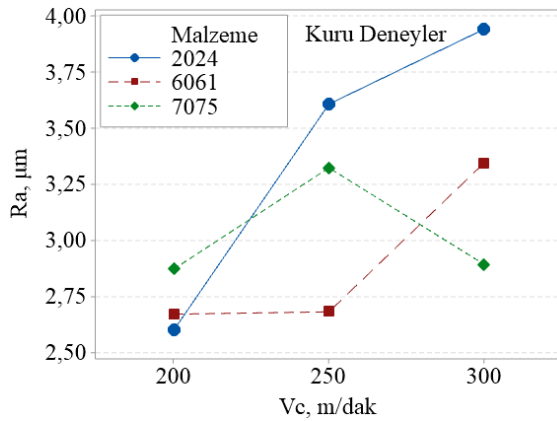
Şekil 5.52. Malzemelere göre V_c ile R_a 'nın değişimi (Islak)

Kuru deneyler için U matkap türüne göre V_c 'nin değişimi Şekil 5.53'te yer almaktadır. 3D ve 4De V_c 'nin artmasına paralel olarak azalmıştır. 5D V_c 'nin artmasına paralel olarak artmıştır. Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde V_c 'nin artmasının kesme kuvvetlerini azalttığı bilinmektedir. Azalan kesme kuvvetlerinin ise R_a değerlerine olumlu yansıdığı ifade edilmektedir [71].



Şekil 5.53. L/D değerlerine göre Vc ile Ra'nın değişimi (Kuru)

Kuru deneyler için malzeme türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.54'de yer almaktadır. AA 2024 alüminyum alaşımı Vc'nin artmasına paralel olarak Ra ortalamaları belirgin bir şekilde artmıştır. AA 6061 malzemesi ise önce hemen hemen aynı kalırken yüksek f değerinde Ra ortalaması artmıştır. AA 7075 malzemesi önce artmış sonrasında ise azalmıştır. Alüminyum malzemede Vc arttıkça delme süresi azalarak kesme ortamından çıkan talaşlar işlenmiş delik yüzeyine sürtünerek ve sıvanarak dışarı çıkmaktadır. Bu durumda da kesilen talaşlar delik iç yüzeyine sıvanarak Ra değerlerinin kötüleşmesine neden olmuş olabilir [93].

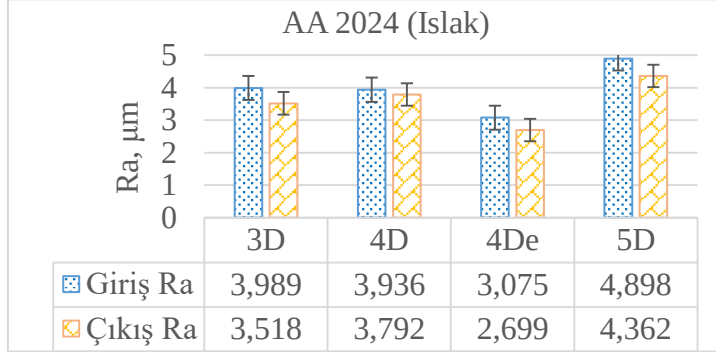


Şekil 5.54. Malzeme türüne göre Vc ile Ra'nın değişimi (Kuru)

5.4.4. Delik derinliği ile Ra'nın değişimi

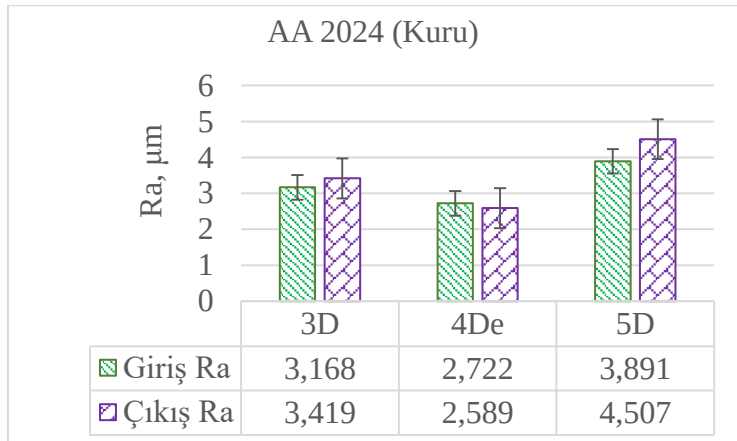
AA 2024 alüminyum alaşımının deliğin girişi ve deliğin çıkışındaki Ra değerleri Şekil 5.55'te bulunmaktadır. Şekle göre deliğin çıkışındaki Ra değerleri daha düşüktür. Deliğin çıkışındaki değerler deliğin girişine göre 3D için %12, 4D için %4, 4De için %12 ve 5D için %11 daha düşük olarak sonuçlanmıştır. Deliğin girişinde matkabın merkezlenmesi, deliğin

çıkışında ise talaş tahliye problemleri nedeniyle Ra değerlerinin olumsuz çıkabileceği ifade edilmiştir [94].



Şekil 5.55. AA 2024 malzemesi için Ra'nın değişimi (Islak)

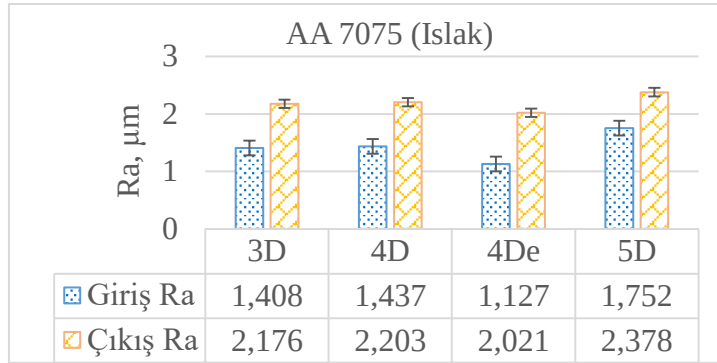
AA 2024 alüminyum alaşımının kuru delinmesinde deliğin girişi ve deliğin çıkışındaki Ra değerleri Şekil 5.56'da bulunmaktadır. Şekle göre 3D ve 5D için deliğin çıkışındaki Ra değerleri daha yüksektir. 4De için deliğin çıkışındaki değer daha küçüktür. Deliğin çıkışındaki değerler deliğin girişine göre 3D için %8 fazla, 4De için %5 az ve 5D için %16 daha fazla olarak sonuçlanmıştır. Kesici takımında meydana gelen titreşimlerin Ra değerini etkilediği ifade edilmiştir [95]. Deliğin sonuna doğru artan kuvvetler ve sıvanmalar ile titreşimin meydana gelmiş olabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 5.56. AA 2024 malzemesi için Ra'nın değişimi (Kuru)

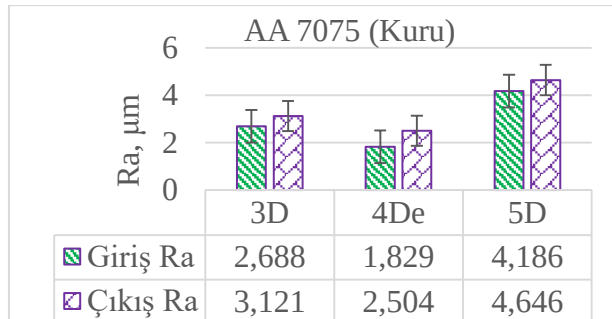
AA 7075 alüminyum alaşımının deliğin girişi ve deliğin çıkışındaki Ra değerleri Şekil 5.57'de bulunmaktadır. Şekle göre deliğin çıkışındaki Ra değerleri daha yüksektir. Deliğin çıkışındaki değerler deliğin girişine göre 3D için %55, 4D için %53, 4De için %79 ve 5D için %36 daha yüksek olarak sonuçlanmıştır. Alüminyumun işlenmesinde malzemenin

kesiciye sıvanması büyük problemdir. Delme gibi işlemlerde delik derinliğinin artmasıyla beraber talaş sıkışması ve sıvanması artarak kesiciye gelen yükler titreşime neden olmuş olabilir. Böylelikle Ra değerlerinin deliğin çıkışında artmış olabileceği değerlendirilmiştir [96]. Bu duruma AA 7075 malzemesinin diğer malzemelerden daha yüksek akma ve çekme dayanımına sahip olması da etki etmiş olabilir.



Şekil 5.57. AA 7075 malzemesi için Ra'nın değişimi (Islak)

AA 7075 alüminyum alaşımının kuru delinmesinde deliğin girişi ve deliğin çıkışındaki Ra değerleri Şekil 5.58'de bulunmaktadır. Şekle göre tüm U matkaplar için deliğin çıkışındaki Ra değerleri daha yüksektir. Deliğin çıkışındaki değerler deliğin girişine göre 3D için %16, 4De için %37 ve 5D için %11 daha fazla olarak sonuçlanmıştır. Yapılan bir çalışmada matkabın helisel oluk tasarımının talaş sıkışmasını engellemesi gerektiği ve derinliğin artmasıyla beraber talaş tahliyesini kolaylaştırması gerektiği ifade edilmiştir [92]. U matkaplar arasında meydana gelen Ra farkının L/D uzunluğunun yanında kanal tasarımı ile ilgili olabileceği de düşünülmüştür.



Şekil 5.58. AA 7075 malzemesi için Ra'nın değişimi (Kuru)

5.4.5. Ra için varyans ve regresyon analizleri

AA 2024-T351, AA 6061-T651 ve AA 7075-T651 malzemelerinin U matkap ile delinmesinden elde edilen deneysel Ra değerlerinin kesme hızı, ilerleme miktarı ve U matkap uzunluk/çap oranı girdi faktörlerine göre değiştiği varsayılarak varyans ve regresyon analizleri yapılmıştır. Ortalama etki grafikleri elde edilmiştir. Çizelge 5.15'te Ra değerlerinin malzemelere göre varyans analizi, Çizelge 5.16'da ise model özetleri bulunmaktadır. AA 2024 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü üzerinde sadece uzunluk/çap oranı $p < 0,05$ olduğu için oluşturulan model üzerinde %27,7 etkili olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel modelin belirlilik katsayısı olan R^2 değeri ise AA 2024 malzemesi için %37,17 olarak tespit edilmiştir. Bu değer ise modelin yetersiz olduğu ve girdi parametreleri ile Ra değerinin arasında lineer olarak anlamlı bir ilişki olmadığını göstermiştir. AA 6061 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü üzerinde tüm girdi parametrelerinin $p > 0,05$ olduğu için oluşturulan model üzerinde etkili olmadıkları tespit edilmiştir. İstatistiksel modelin belirlilik katsayısı olan R^2 değeri ise AA 6061 malzemesi için %32,75 olarak tespit edilmiştir. Bu değer ise modelin yetersiz olduğu ve girdi parametreleri ile Ra değerinin arasında lineer olarak anlamlı bir ilişki olmadığını göstermiştir. AA 7075 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme miktarının $p < 0,05$ olduğu için oluşturulan model üzerinde %15,55 etkili olduğu tespit edilmiştir. Diğer girdi parametreleri ise $p > 0,05$ olduğu için etkili olmadığı sonucuna varılmıştır. İstatistiksel modelin belirlilik kat sayısı olan R^2 değeri ise AA 7075 malzemesi için %37,19 olarak tespit edilmiştir. Bu değer ise modelin yetersiz olduğu ve girdi parametreleri ile Ra değerinin arasında lineer olarak anlamlı bir ilişki olmadığını göstermiştir. Tüm malzeme grupları için normallik testi yapılmış olup verilerin normal dağılıma uygun olduğu tespit edilmiştir. Normallik testinde p değerinin normal dağılımı ifade edebilmesi için 0,005 değerinden büyük olması gerekmektedir. Ra için p değeri sırasıyla AA 2024 için 0,311 iken AA 6061 için 0,427 ve AA 7075 için 0,083 olarak tespit edilmiştir. Sonrasında varyans analizi yapılmıştır ancak oluşturulan modellerin belirlilik katsayıları dikkate alındığında yetersiz kalmıştır. Sonuç olarak Ra değeri ile ilerleme miktarı, kesme hızı ve uzunluk/çap oranı arasında anlamlı lineer bir ilişki bulunamamıştır. Aralarındaki ilişkinin ortaya koyulabilmesi için bulanık mantık, yapay sinir ağı gibi karmaşık ilişkileri ortaya koyabilen yöntemlere ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.15. Ra için malzemelerin varyans analizleri

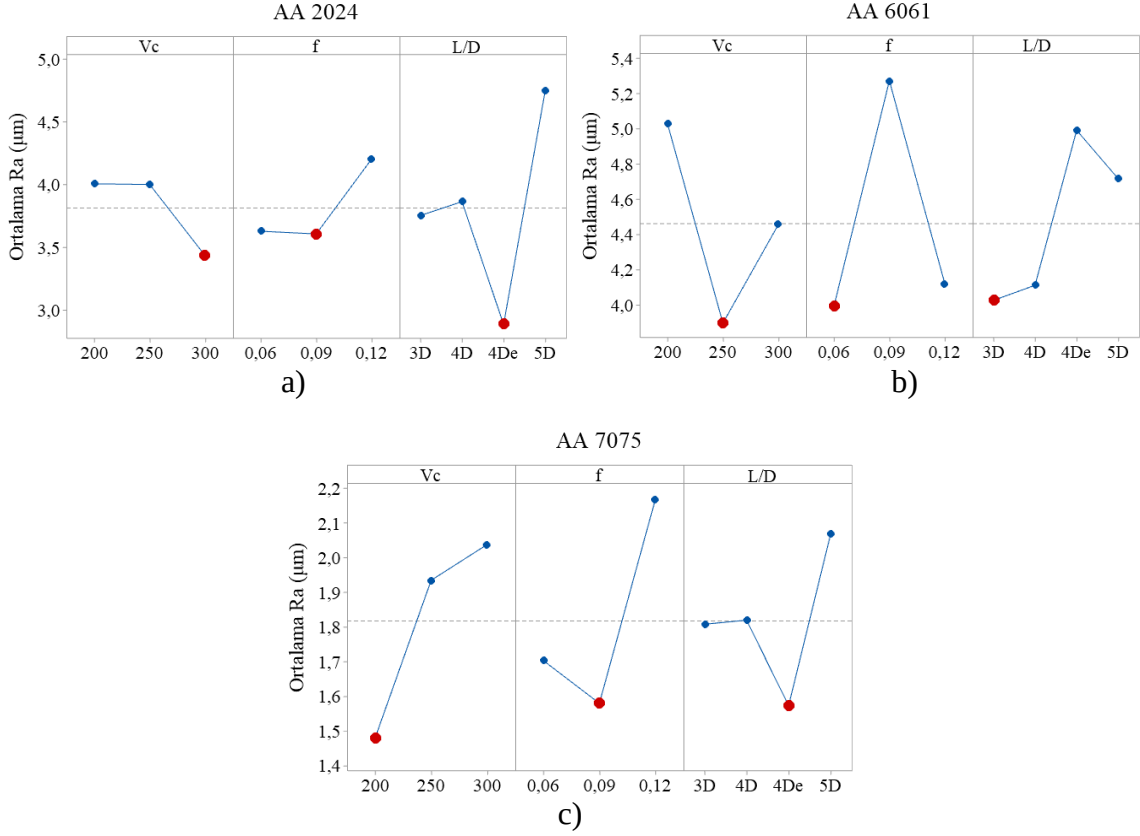
Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı (Adj SS)	Kareler ortalaması (Adj MS)	F değeri	P değeri	Etki (%) Contribution
<i>AA 2024-T351 Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Ra (μm)</i>						
Model	7	20,991	2,999	2,37	0,049	37,17%
Lineer	7	20,991	2,999	2,37	0,049	37,17%
Vc	2	2,595	1,298	1,02	0,372	4,60%
f	2	2,753	1,377	1,09	0,351	4,88%
L/D	3	15,643	5,214	4,12	0,015	27,70%
Hata	28	35,475	1,267			62,83%
Toplam	35	56,466				100,00%
<i>AA 6061-T651 Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Ra (μm)</i>						
Model	7	25,492	3,642	1,95	0,099	32,75%
Lineer	7	25,492	3,642	1,95	0,099	32,75%
Vc	2	7,682	3,841	2,05	0,147	9,87%
f	2	11,91	5,955	3,19	0,057	15,30%
L/D	3	5,9	1,967	1,05	0,385	7,58%
Hata	28	52,347	1,87			67,25%
Toplam	35	77,839				100,00%
<i>AA 7075-T651 Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Ra (μm)</i>						
Model	7	5,513	0,7876	2,37	0,049	37,19%
Lineer	7	5,513	0,7876	2,37	0,049	37,19%
Vc	2	2,106	1,0532	3,17	0,058	14,21%
f	2	2,305	1,1526	3,47	0,045	15,55%
L/D	3	1,102	0,3672	1,1	0,364	7,43%
Hata	28	9,311	0,3325			62,81%
Toplam	35	14,824				100,00%

Çizelge 5.16. Mz için malzemelerin model özetleri

	S	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
AA 2024	1,1256	37,17%	21,47%	0,00%
AA 6061	1,36731	32,75%	15,94%	0,00%
AA 7075	0,576659	37,19%	21,49%	0,00%

Şekil 5.59’da tüm malzemelerin etki grafikleri yer almaktadır. Tüm malzeme grupları için en düşük yüzey pürüzlülüğü, kesme hızı bakımından AA 2024 için 200 m/dak, AA 6061 için 250 m/dak ve AA 7075 için 200 m/dak değerlerinde elde edilmiştir. İlerleme miktarı için ise AA 2024 ve AA 7075 için 0,09 mm/dev, AA 6061 için ise 0,06 mm/dev değerlerinde daha etkili olarak sonuçlanmıştır. Uzunluğun/çapa oranı dikkate alındığında ise AA 2024 ve AA 7075 malzemeleri için 4De daha etkiliyken, AA 6061 için 3D daha etkili olarak

sonuçlanmıştır. AA 6061 malzemesinin çok yapışma/sıvanmaya müsait yapısı nedeniyle diğer malzemelerden ayrıldığı değerlendirilmiştir.



Şekil 5.59. Ra için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075

Elde edilen modeller yetersiz olduğu için regresyon eşitlikleri burada verilmemiştir.

5.5. Çaptan Sapmanın Değerlendirilmesi

CMM yardımıyla ölçülen ortalama çaptan sapma (Çs) ıslak deneyler için Çizelge 5.17’de yer almaktadır. Çaptan sapma delik kalitesi için oldukça önemlidir. U matkapların tolerans aralıkları incelendiğinde + 0,25 mm toleransa kadar sonuçların meydana gelebileceği belirtilmiştir. Alüminyum alaşımlarının yüksek yapışma ve/veya sıvanma oranları dikkate alındığında, özellikle 5D için daha yüksek değerler meydana gelmiştir. AA 6061 malzemesinin boydan boya f değerine müdahale edilmeden delinen delik sayısı az olduğu için delik girişindeki Çs değerleri dikkate alınmıştır.

Çizelge 5.17. Islak deneyler için Çs değerleri

Islak Deneyler		3D			4D		
		Çs (mm)			Çs (mm)		
Vc (m/dak)	f (mm/dev)	2024	6061	7075	2024	6061	7075
200	0,06	19,984	19,984	20,047	20,161	20,150	20,301
200	0,09	20,036	19,998	20,161	20,177	19,962	20,369
200	0,12	20,083	19,967	20,039	20,210	19,932	20,350
250	0,06	20,047	20,047	20,062	20,196	20,123	20,303
250	0,09	20,122	19,960	20,054	20,086	19,969	20,522
250	0,12	20,103	19,993	20,114	20,418	19,936	20,206
300	0,06	20,046	20,034	20,096	20,051	20,018	20,120
300	0,09	20,083	19,945	20,106	20,175	20,031	20,217
300	0,12	20,193	19,938	20,138	20,344	19,968	20,514
		4De			5D		
200	0,06	20,057	20,045	20,082	20,360	20,092	20,369
200	0,09	20,076	20,081	20,052	20,279	20,087	20,245
200	0,12	20,091	20,081	20,062	20,450	20,137	20,367
250	0,06	20,052	20,084	20,039	20,381	20,110	20,285
250	0,09	20,054	20,063	20,069	20,385	20,095	20,348
250	0,12	20,062	20,066	20,081	20,410	20,030	20,246
300	0,06	20,100	20,069	20,032	20,218	20,089	20,360
300	0,09	20,063	20,056	20,121	20,304	20,172	20,399
300	0,12	20,054	20,011	20,018	20,225	20,068	20,323

Kuru deneyler için elde edilen Çs değerleri Çizelge 5.18’de yer almaktadır.

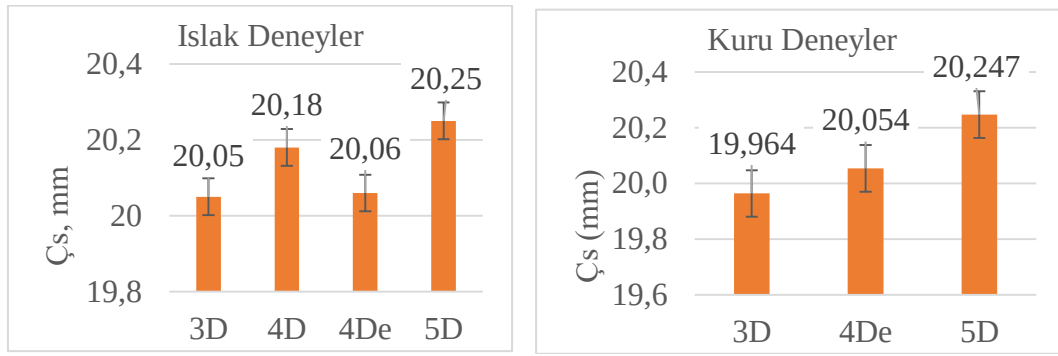
Çizelge 5.18. Kuru deneyler için Çs değerleri

KURU		3D			4De			5D		
		Çs (mm)			Çs (mm)			Çs (mm)		
Vc	f	2024	6061	7075	2024	6061	7075	2024	6061	7075
200	0,12	20,059	19,917	19,953	20,122	19,936	20,044	20,276	20,077	20,402
250	0,12	20,059	19,876	20,046	20,082	20,045	20,133	20,285	20,128	20,330
300	0,12	20,032	19,682	20,049	20,108	19,988	20,026	20,177	20,156	20,393

5.5.1. Uzunluk/çap oranına göre Çs’nin değişimi

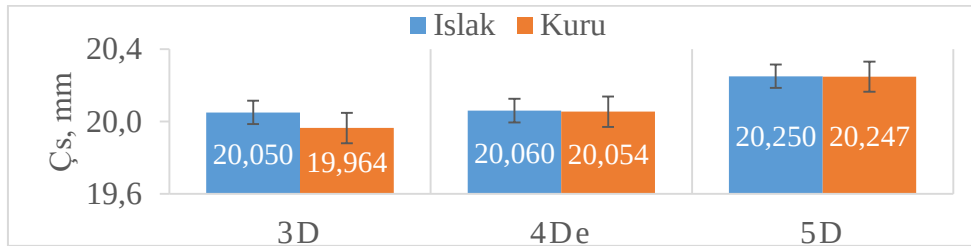
Deneyler kapsamında 4 adet U matkap kullanılmıştır. Islak deneyler ile U matkap başına 27 adet deney yapılmıştır. Tüm bu değerlerin ortalaması alındığında Şekil 5.60 elde edilmiştir. Elde edilen değerlere göre en düşük Çs ortalaması (20,05 mm) 3D ile elde edilmişken en

yüksek ortalama (20,25 mm) 5D ile elde edilmiştir. 4D ile 20,18 mm ve 4De ile 20,06 mm elde edilmiştir. Kuru deneyler ile U matkap başına 9 adet deney yapılmıştır. Deney sonuçları şekilde (bkz. Şekil 5.60) bulunmaktadır. Şekle göre en düşük $\bar{C}_s$ ortalaması (19,964 mm) 3D ile elde edilirken en yüksek değer (20,247 mm) 5D ile elde edilmiştir. $\bar{C}_s$ değerleri ıslak şartlarda 4De dışında L/D oranının artmasıyla beraber artma eğiliminde olmuştur. Kesici takım boyunun uzaması ile doğal frekansın azalarak titreşimlerin meydana gelebileceği ifade edilmiştir. Bu titreşimler ise boyutsal ve geometrik toleranslarda sapmalara neden olmaktadır [87].



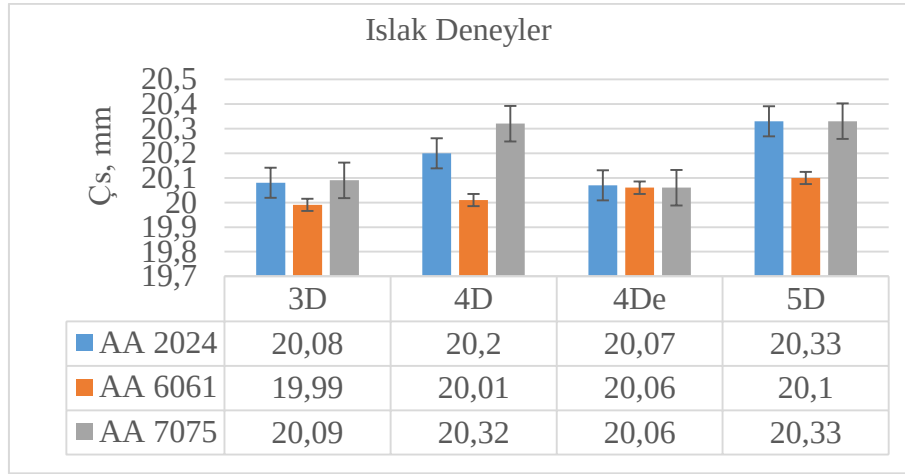
Şekil 5.60. L/D oranına göre $\bar{C}_s$ değerlerinin değişimi

Islak ve kuru deneylerin sonuçları karşılaştırıldığında ise Şekil 5.61 elde edilmiştir. Kuru deneyler ıslak deneylere göre daha düşük $\bar{C}_s$ ortalamaları vermiştir. Yapılan bir çalışmada kuru şartlarda delik delmenin emülsiyon ve kriyojenik şartlara göre nominal çapa daha yakın değerler meydana getirdiği belirtilmiştir [28]. Bunun nedeni olarak ise kuru şartlarda daha fazla termal genleşme ve soğuduğunda ise daha fazla büzülmenin meydana gelerek daha küçük çapların elde edildiği ifade edilmiştir. Hatta alüminyum malzeme için çıkış çapı matkabın nominal çapından daha düşük çıkmıştır. Mevcut çalışmada da 3D için aynı yönde bir sonuç elde edilmiştir.



Şekil 5.61. Islak ve kuru deneylerin $\bar{C}_s$ 'ye göre karşılaştırılması

Malzemelere göre ıslak deneylerin $\dot{C}_s$ değerleri dikkate alındığında Şekil 5.62 meydana gelmiştir. AA 2024 malzemesi için en düşük ortalama $\dot{C}_s$ 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. AA 6061 malzemesi için en düşük ortalama $\dot{C}_s$ 3D ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. AA 7075 malzemesi için en düşük ortalama $\dot{C}_s$ 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. AA 6061 malzemesinin delinmesinde elde edilen daha düşük çapları malzemenin daha yüksek termal genleşme katsayısına atfedilmiştir. Çünkü yapılan bir çalışmada termal genleşmenin daha yüksek olmasının daha yüksek büzölmeye neden olarak nominal çaptan daha küçük değerlerin elde edilmesine neden olduğu ifade edilmiştir [28].



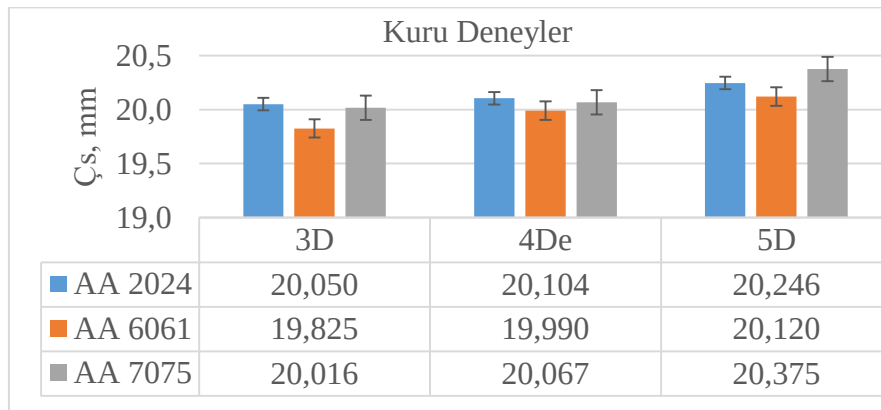
Şekil 5.62. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre $\dot{C}_s$ 'nin değişimi

U matkapların denge açıları ve optik ile gerçek çap ölçümü kontrolleri yapılmıştır. Denge açısı en düşük 5D iken en yüksek 4De, optik ile elde edilen çap için en düşük değer 3D, en yüksek değer ise 4De ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en az yanal sapma 4De’de meydana gelirken en fazla sapma 5D ile elde edilmiştir. Denge açısı ve kesicilerin gerçek çapının, çaptan sapma üzerinde doğrudan etkili olarak bu sonuçların meydana gelmesine sebep olabileceği değerlendirilmiştir. Islak deneyler için Çizelge 5.19’da bulunan değişim yüzdeleri incelendiğinde en fazla $\dot{C}_s$ değerlerine, en az denge açısına sahip 5D U matkap neden olmuştur. Denge açısının dışında artan uzunlukla beraber yanal sapmaların artmasının da bu sonuca neden olabileceği değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.19. Optik çap ölçümleri ile ortalama Çs değerlerinin değişimi (Islak)

		Optik Çap	AA 2024		AA 6061		AA 7075	
		Ölçümü	Ort.Çs	Değişim	Ort.Çs	Değişim	Ort.Çs	Değişim
Islak Deneyler	3D	19,826	20,08	1,28%	19,99	0,83%	20,09	1,33%
	4De	19,916	20,07	0,77%	20,06	0,72%	20,06	0,72%
	5D	19,886	20,33	2,23%	20,1	1,08%	20,33	2,23%

Kuru deneylerin malzemelere göre değişimi dikkate alındığında Şekil 5.63 elde edilmiştir. Kuru deneyler için AA 2024 malzemesinin delinmesinde en düşük Çs ortalaması 3D ile elde edilmişken en yüksek ortalama 5D ile elde edilmiştir. AA 6061 malzemesi için en düşük ortalama 3D ile elde edilmişken en yüksek ortalama 5D ile elde edilmiştir. AA 7075 malzemesi için en düşük ortalama 3D ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir.



Şekil 5.63. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Çs'nin değişimi

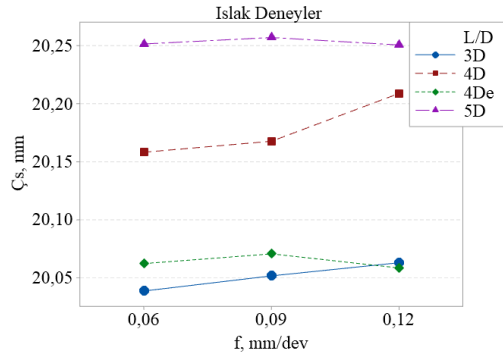
Kuru deneyler için Çizelge 5.20'de bulunan değişim yüzdeleri incelendiğinde en fazla Çs değerlerine, en az denge açısına sahip 5D U matkap neden olmuştur. Denge açısının dışında artan uzunlukla beraber yanal sapmaların artmasının da bu sonuca neden olabileceği değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.20. Optik çap ölçümleri ile ortalama Çs değerlerinin değişimi (Kuru)

		Optik Çap Ölçümü	AA 2024		AA 6061		AA 7075	
			Ort.Çs	Değişim	Ort.Çs	Değişim	Ort.Çs	Değişim
Kuru Deneyler	3D	19,826	20,05	1,13%	19,825	-0,01%	20,016	0,96%
	4De	19,916	20,104	0,94%	19,99	0,37%	20,067	0,76%
	5D	19,886	20,246	1,81%	20,12	1,18%	20,375	2,46%

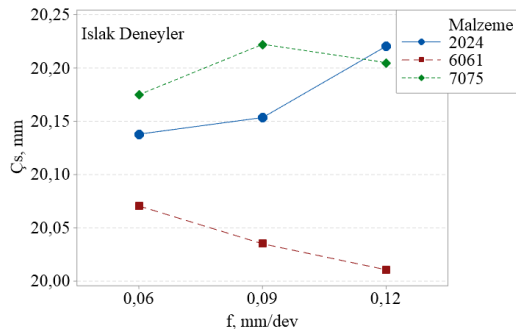
5.5.2. İlerleme miktarına göre $\dot{C}_s$ 'nin değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne göre f 'in değişimi Şekil 5.64'de yer almaktadır. 3D ve 4D için f değerindeki artışla $\dot{C}_s$ ortalaması artmıştır. 4De ve 5D için orta f 'te bir miktar artmışken, yüksek f değerinde bir miktar azalmıştır. Kuru deneylerde tek f değeri dikkate alınmıştır. İlerleme miktarının artmasıyla beraber $\dot{C}_s$ değeri de artma eğilimindedir.



Şekil 5.64. L/D değerleri için f ile $\dot{C}_s$ 'nin değişimi

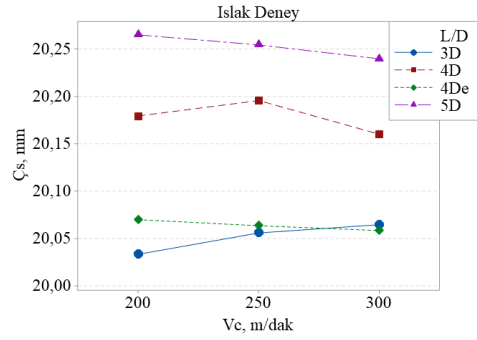
Islak deneyler için malzeme türüne göre f 'in değişimi Şekil 5.65'de yer almaktadır. AA 2024 malzemesi f 'in artmasıyla ortalama $\dot{C}_s$ artmıştır. AA 6061 malzemesi f 'in artmasıyla $\dot{C}_s$ azalmıştır. AA 7075 malzemesi f 'in artmasıyla önce artmış sonra ise azalmıştır.



Şekil 5.65. Malzemelere göre f 'in $\dot{C}_s$ ile değişimi

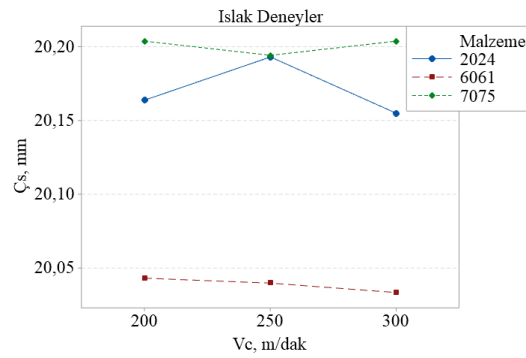
5.5.3. Kesme hızına göre $\dot{C}_s$ 'nin değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne göre V_c 'nin değişimi Şekil 5.66'da yer almaktadır. 3D V_c 'nin artmasına paralel olarak $\dot{C}_s$ artmıştır. 4De ve 5D ise V_c 'nin artmasıyla $\dot{C}_s$ azalmıştır. 4D ise V_c 'nin artmasıyla önce artmış sonra ise azalmıştır.



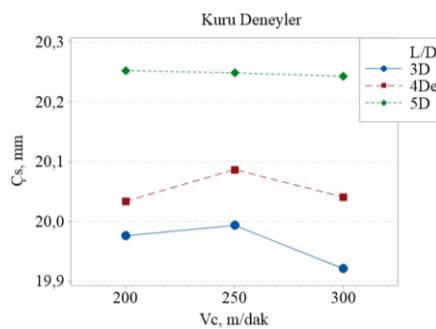
Şekil 5.66. L/D değerleri için Vc ile Çs'nin değişimi (Islak)

Islak deneyler için malzeme türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.67'de yer almaktadır. AA 2024 malzemesi Vc'nin artmasıyla önce artmış sonrasında ise Çs azalmıştır. AA 6061 malzemesi Vc'nin artmasıyla Çs azalmıştır. AA 7075 malzemesi Vc'nin artmasıyla önce azalmış sonra ise artmıştır.



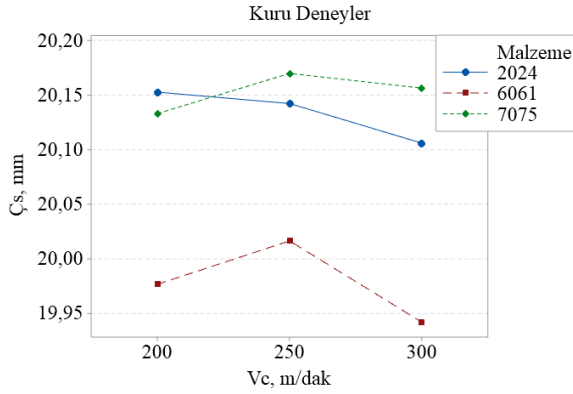
Şekil 5.67. Malzemelere göre Vc ile Çs'nin değişimi (Islak)

Kuru deneyler için U matkap türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.68'de yer almaktadır. 3D ve 4De Vc'nin artmasıyla önce artmış sonra ise azalmıştır. 5D Vc'nin artmasına paralel olarak azalmıştır.



Şekil 5.68. L/D değerlerine göre Vc ile Çs'nin değişimi (Kuru)

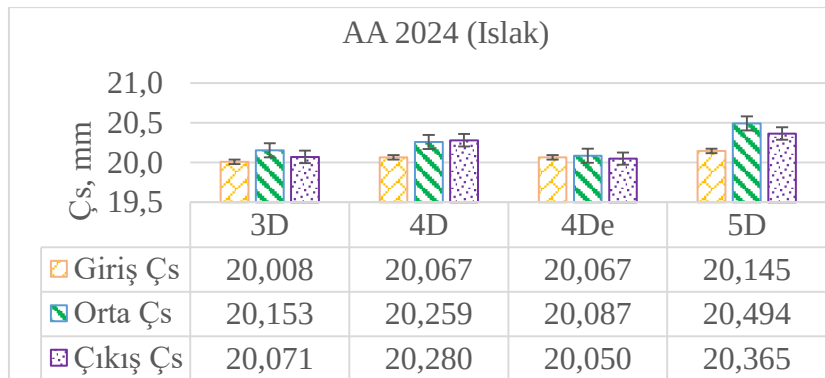
Kuru deneyler için malzeme türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.69'da yer almaktadır. AA 2024 alüminyum alaşımı Vc'nin artmasına paralel olarak Çs azalmıştır. AA 6061 malzemesi ise önce artmış sonra yüksek Vc değerinde Çs azalmıştır. AA 7075 malzemesi önce artmış sonrasında ise azalmıştır.



Şekil 5.69. Malzeme türüne göre Vc ile Çs'nin değişimi (Kuru)

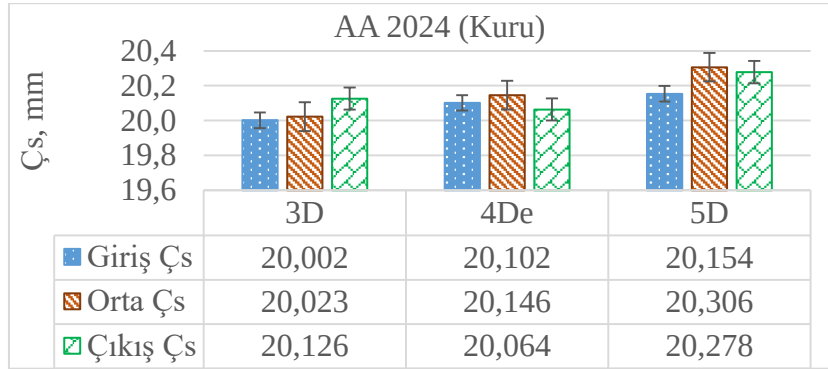
5.5.4. Delik derinliği ile Çs'nin değişimi

AA 2024 alüminyum alaşımının deliğin girişi, ortası ve çıkışındaki Çs değerleri Şekil 5.70'de bulunmaktadır. Şekle göre 3D için deliğin ortası en yüksek değeri vermişken en düşük Çs deliğin girişinde meydana gelmiştir. 4D için en büyük Çs deliğin çıkışında oluşurken en düşük değer deliğin girişinde meydana gelmiştir. 4De için en düşük değer deliğin çıkışında meydana gelmişken en yüksek değer deliğin ortasında meydana gelmiştir. 5D için deliğin ortası en yüksek değeri vermişken en düşük Çs deliğin girişinde meydana gelmiştir.



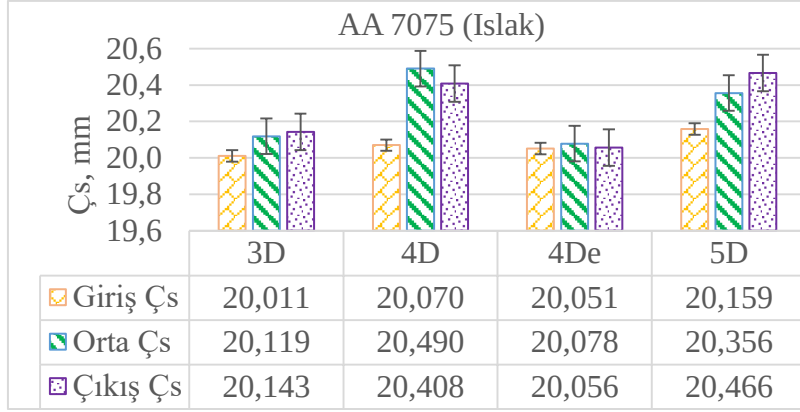
Şekil 5.70. AA 2024 malzemesi için delik boyunca Çs'nin değişimi (Islak)

AA 2024 alüminyum alaşımının kuru şartlarda delinmesi sonrasında deliğin girişi, ortası ve çıkışındaki Çs değerleri Şekil 5.71’de bulunmaktadır. Şekle göre 3D için deliğin çıkışı en yüksek değeri vermişken en düşük Çs deliğin girişinde meydana gelmiştir. 4De için en büyük Çs deliğin ortasında oluşurken en düşük değer deliğin çıkışında meydana gelmiştir. 5D için deliğin ortası en yüksek değeri vermişken en düşük Çs deliğin girişinde meydana gelmiştir.



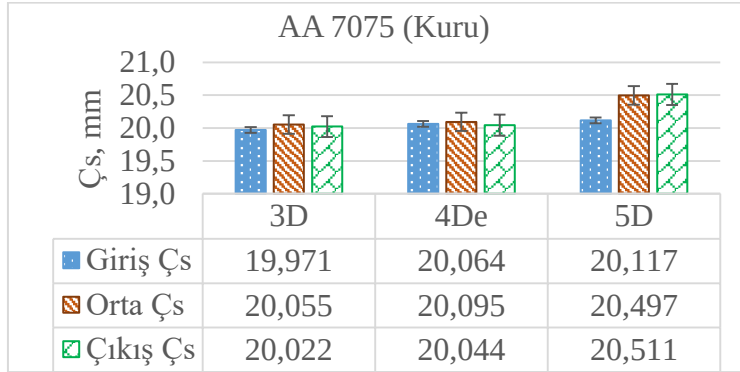
Şekil 5.71. AA 2024 malzemesi için delik boyunca Çs’nin değişimi (Kuru)

AA 7075 alüminyum alaşımının deliğin girişi, ortası ve çıkışındaki Çs değerleri Şekil 5.72’de bulunmaktadır. Şekle göre 3D için deliğin çıkışı en yüksek değeri vermişken en düşük Çs deliğin girişinde meydana gelmiştir. 4D için en büyük Çs deliğin ortasında oluşurken en düşük değer deliğin girişinde meydana gelmiştir. 4De için en düşük değer deliğin girişinde meydana gelmişken en yüksek değer deliğin ortasında meydana gelmiştir. Bununla beraber 4De için değerler birbirine çok yakın çıkmıştır. 5D için deliğin çıkışı en yüksek değeri vermişken en düşük Çs deliğin girişinde meydana gelmiştir. Delik derinliği arttıkça matkapta daha fazla takım salgısı olduğu ifade edilmiştir [26]. Deliğin sonuna doğru Çs değerinin artma eğiliminde olması bu duruma atfedilmiştir.



Şekil 5.72. AA 7075 malzemesi için delik boyunca Çs'nin değişimi (Islak)

AA 7075 alüminyum alaşımının kuru şartlarda delinmesi sonrasında deliğin girişi, ortası ve çıkışındaki Çs değerleri Şekil 5.73'te bulunmaktadır. Şekle göre 3D için deliğin ortası en yüksek değeri vermişken en düşük Çs deliğin girişinde meydana gelmiştir. 4De için en büyük Çs deliğin ortasında oluşurken en düşük değer deliğin çıkışında meydana gelmiştir. 5D için deliğin çıkışı en yüksek değeri vermişken en düşük Çs deliğin girişinde meydana gelmiştir.



Şekil 5.73. AA 7075 malzemesi için delik boyunca Çs'nin değişimi (Kuru)

5.5.5. Çs için varyans ve regresyon analizleri

AA 2024-T351, AA 6061-T651 ve AA 7075-T651 malzemelerinin U matkap ile delinmesinden elde edilen deneysel Çs değerlerinin kesme hızı, ilerleme miktarı ve U matkap uzunluk/çap oranı girdi faktörlerine göre değiştiği varsayılarak varyans ve regresyon analizleri yapılmıştır. Ortalama etki grafikleri elde edilmiştir. Çizelge 5.21'de Çs değerlerinin malzemelere göre varyans analizi, Çizelge 5.22'de ise model özetleri bulunmaktadır. AA 2024 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, çaptan sapma

üzerinde ilerleme miktarı ve uzunluk/çap oranı girdi parametrelerinin $p < 0,05$ olduğu için oluşturulan model üzerinde etkili oldukları tespit edilmiştir. Çs üzerinde en etkili parametre % 68,93 ile uzunluk/çap oranı iken onu %7,5 ile ilerleme miktarı takip etmektedir. İstatistiksel modelin belirlilik katsayısı olan R^2 değeri ise AA 2024 malzemesi için %77,98 olarak tespit edilmiştir. AA 6061 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, çaptan sapma üzerinde ilerleme miktarı ve uzunluk/çap oranı girdi parametrelerinin $p < 0,05$ olduğu için oluşturulan model üzerinde etkili oldukları tespit edilmiştir. Çs üzerinde en etkili parametre % 46,96 ile uzunluk/çap oranı iken onu %14,68 ile ilerleme miktarı takip etmektedir. İstatistiksel modelin belirlilik kat sayısı olan R^2 değeri ise AA 6061 malzemesi için % 62,03 olarak tespit edilmiştir. AA 7075 malzemesi için varyans analizi incelendiğinde, çaptan sapma üzerinde yalnızca uzunluk/çap oranı $p < 0,05$ olduğu için oluşturulan model üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Çs üzerinde en etkili parametrenin % 74,33 ile uzunluk/çap oranı olduğu tespit edilmiştir. İstatistiksel modelin belirlilik kat sayısı olan R^2 değeri ise AA 7075 malzemesi için %76,26 olarak tespit edilmiştir. Tüm malzeme grupları için en etkili parametre uzunluk/çap oranı olmuştur.

Çizelge 5.21. Çs için malzemelerin varyans analizleri

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı (Adj SS)	Kareler ortalaması (Adj MS)	F değeri	P değeri	Etki (%) Contribution
<i>AA 2024-T351 Ortalama Çaptan Sapma, Çs (mm)</i>						
Model	700,00%	48,04%	0,068626	14,17	0	77,98%
Lineer	700,00%	48,04%	0,068626	14,17	0	77,98%
Vc	2	0,96%	0,004791	0,99	0,385	1,56%
f	2	4,62%	0,023093	4,77	0,017	7,50%
L/D	3	42,46%	0,141538	29,22	0	68,93%
Hata	28	13,56%	0,004843			22,02%
Toplam	35	61,60%				100,00%
<i>AA 6061-T651 Ortalama Çaptan Sapma, Çs (mm)</i>						
Model	7	9,18%	0,01312	6,54	0	62,03%
Lineer	7	9,18%	0,01312	6,54	0	62,03%
Vc	2	0,06%	0,000295	0,15	0,864	0,40%
f	2	0,02173	0,010865	5,41	0,01	14,68%
L/D	3	0,069521	0,023174	11,54	0	46,96%
Hata	28	0,05621	0,002007			37,97%
Toplam	35	0,14805				100,00%
<i>AA 7075-T651 Ortalama Çaptan Sapma, Çs (mm)</i>						
Model	7	57,38%	0,081969	12,85	0	76,26%

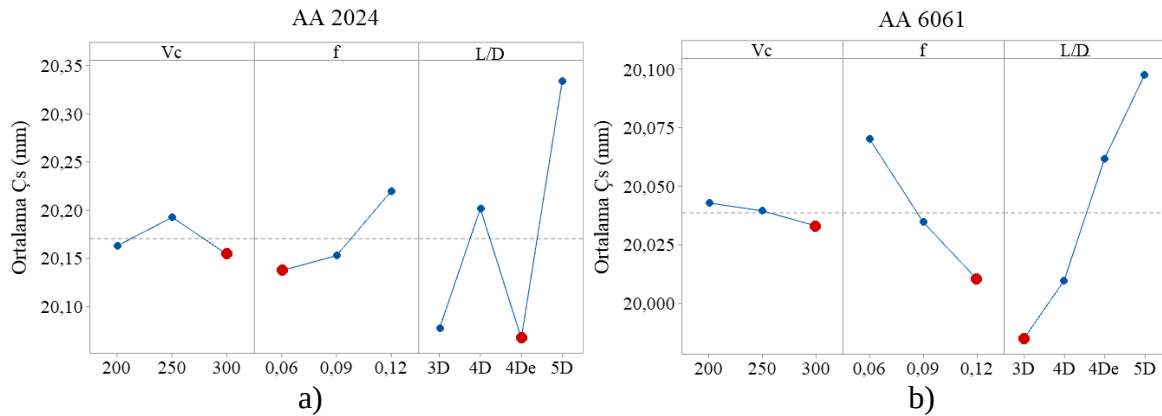
Çizelge 5.21. (devam) Çs için malzemelerin varyans analizleri

Lineer	7	57,38%	0,081969	12,85	0	76,26%
Vc	2	0,07%	0,000371	0,06	0,944	0,10%
f	2	1,37%	0,00687	1,08	0,354	1,83%
L/D	3	55,93%	0,186434	29,22	0	74,33%
Hata	28	0,178655	0,006381			23,74%
Toplam	35	0,752438				100,00%

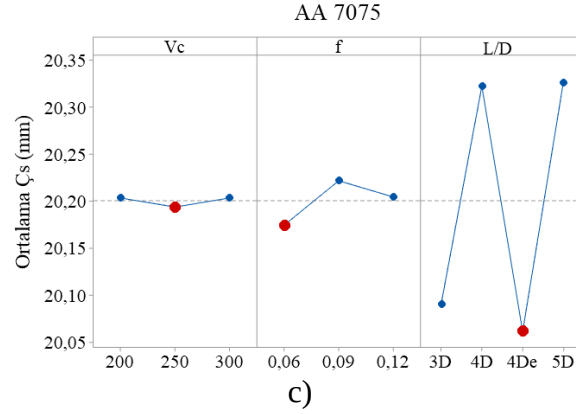
Çizelge 5.22. Çs için malzemelerin model özetleri

	S	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
AA 2024	0,0695946	77,98%	72,48%	63,61%
AA 6061	0,0448051	62,03%	52,54%	37,24%
AA 7075	0,0798783	76,26%	70,32%	60,75%

Şekil 5.74’de tüm malzemelerin etki grafikleri yer almaktadır. Tüm malzeme grupları için en düşük çaptan sapma, AA 2024 ve AA 6061 için en yüksek kesme hızı olan 200 m/dak ile elde edilmişken AA 7075 malzemesi için 250 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. İlerleme miktarı için ise AA 2024 ve AA 7075 için 0,06 mm/dev daha etkiliyken, AA 6061 için 0,12 mm/dev ilerleme miktarı daha etkili olarak sonuçlanmıştır. Uzunluğun/çapa oranı dikkate alındığında ise AA 2024 ve AA 7075 malzemeleri için 4De daha etkiliyken, AA 6061 için 3D daha etkili olarak sonuçlanmıştır. AA 6061 malzemesinin çok yapışma/sıvanmaya müsait yapısı nedeniyle diğer malzemelerden ayrıldığı değerlendirilmiştir.



Şekil 5.74. Çs için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075



Şekil 5.74. (devam) Çs için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075

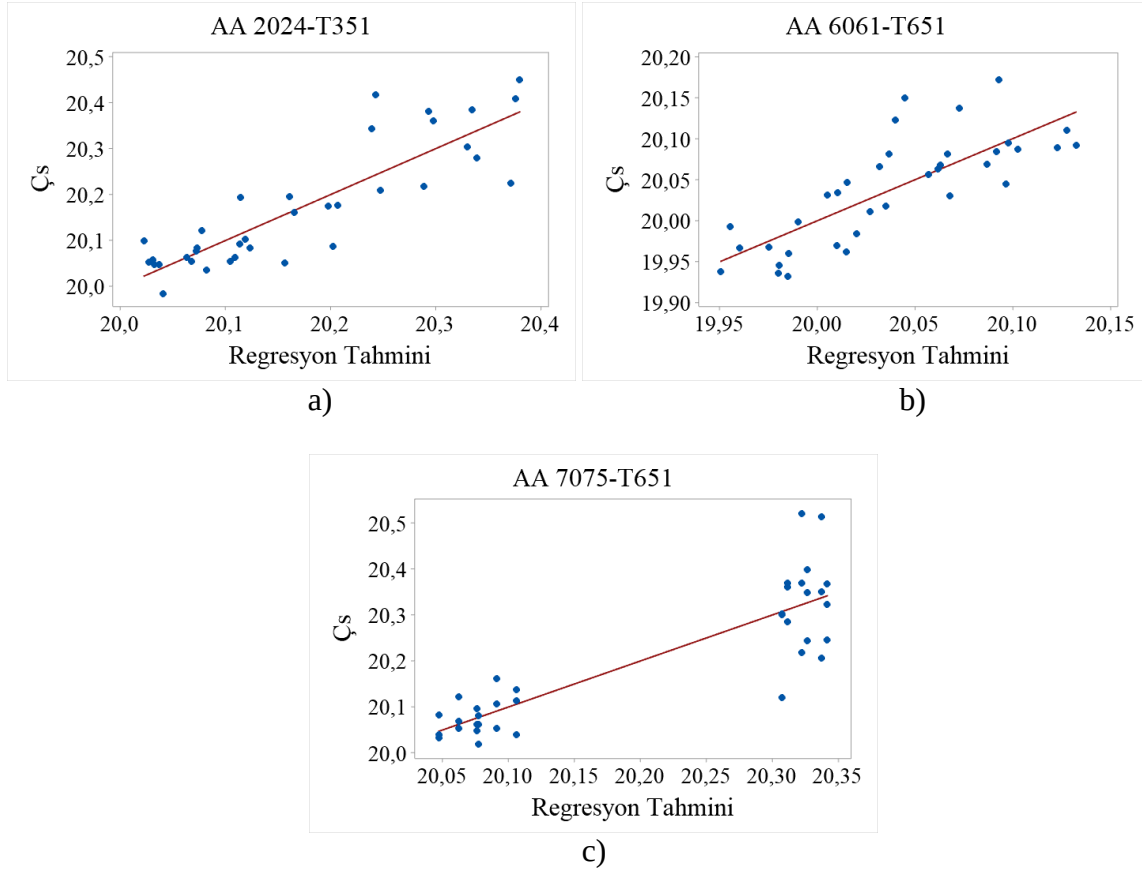
AA 2024 malzemesinin iş mili yükü modeline göre regresyon eşitliği Eş. 5.10'da, AA 6061 için Eş. 5.11'de ve AA 7075 için Eş. 5.12'de bulunmaktadır.

$$\begin{aligned}
 \text{Çs}_{2024} = & 20,1705 - 0,0068 Vc_{200} + 0,0225 Vc_{250} - 0,0157 Vc_{300} \\
 & - 0,0327 f_{0,06} - 0,0171 f_{0,09} + 0,0499 f_{0,12} - 0,0930 L/D_{3D} \\
 & + 0,0316 L/D_{4D} - 0,1028 L/D_{4De} + 0,1642 L/D_{5D}
 \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Çs}_{6061} = & 20,0386 + 0,0044 Vc_{200} + 0,0010 Vc_{250} - 0,0054 Vc_{300} \\
 & + 0,0318 f_{0,06} - 0,0037 f_{0,09} - 0,0281 f_{0,12} - 0,0535 L/D_{3D} \\
 & - 0,0288 L/D_{4D} + 0,0231 L/D_{4De} + 0,0591 L/D_{5D}
 \end{aligned} \quad (5.11)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Çs}_{7075} = & 20,2005 + 0,0032 Vc_{200} - 0,0064 Vc_{250} + 0,0032 Vc_{300} \\
 & - 0,0258 f_{0,06} + 0,0215 f_{0,09} + 0,0043 f_{0,12} - 0,1097 L/D_{3D} \\
 & + 0,1220 L/D_{4D} - 0,1387 L/D_{4De} + 0,1264 L/D_{5D}
 \end{aligned} \quad (5.12)$$

Eşitlikler kullanılarak hesaplanan regresyon tahminleri Şekil 5.75'de grafik olarak verilmiştir. AA 2024 için en fazla tahmin hatası (APE) %0,86 tüm deneylerin ortalama tahmin hatası (MAPE) ise %0,25 olarak hesaplanmıştır. AA 6061 için APE %0,52 MAPE ise %0,16'dır. AA 7075 için APE %0,97 MAPE ise %0,25'dir. Bu sonuçlara göre regresyon analizinin AA7075 ve AA2024 için aynı oranda AA 6061 malzemeleri için ise daha düşük doğrulukta tahmin yapılabileceği tespit edilmiştir. Diğer çıktı yanıtları (Fz, Mz, İMY) ile karşılaştırıldığında daha yüksek tahmin başarısı elde edilmiştir.



Şekil 5.75. $\bar{C}_s$ tahmin sonuçları a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075

5.6. Dairesellikten Sapmanın Değerlendirilmesi

Dairesellikten sapma iki boyutlu bir geometrik tolerans olup bir dairenin orijinal şeklinden ne kadar saptığının bir ölçüsüdür [58]. CMM yardımıyla ölçülen ortalama dairesellikten sapma (D_s) ıslak deneyler için Çizelge 5.23'te, kuru deneyler için Çizelge 5.24'de yer almaktadır. AA 6061 malzemesinin boydan boya f değerine müdahale edilmeden delinen delik sayısı az olduğu için AA 6061 malzemesi için delik girişindeki D_s değerleri dikkate alınmıştır.

Çizelge 5.23. Islak deneyler için D_s değerleri

Islak		3D			4D		
		D_s (mm)			D_s (mm)		
V_c (m/dak)	f (mm/dev)	2024	6061	7075	2024	6061	7075
200	0,06	0,011	0,042	0,015	0,037	0,091	0,018
200	0,09	0,038	0,088	0,015	0,034	0,065	0,019
200	0,12	0,033	0,115	0,018	0,037	0,036	0,025

Çizelge 5.23. (devam) Islak deneyler için Ds değerleri

250	0,06	0,035	0,037	0,017	0,042	0,065	0,011
250	0,09	0,032	0,079	0,018	0,041	0,061	0,033
250	0,12	0,032	0,072	0,040	0,034	0,039	0,024
300	0,06	0,027	0,126	0,048	0,058	0,045	0,011
300	0,09	0,031	0,069	0,015	0,028	0,049	0,023
300	0,12	0,043	0,081	0,091	0,033	0,053	0,036
4De				5D			
200	0,06	0,015	0,099	0,016	0,062	0,077	0,018
200	0,09	0,017	0,107	0,019	0,092	0,132	0,024
200	0,12	0,027	0,109	0,015	0,066	0,137	0,040
250	0,06	0,015	0,073	0,018	0,126	0,083	0,034
250	0,09	0,018	0,075	0,022	0,058	0,131	0,026
250	0,12	0,021	0,088	0,023	0,050	0,125	0,038
300	0,06	0,019	0,077	0,015	0,038	0,098	0,022
300	0,09	0,018	0,195	0,019	0,051	0,135	0,039
300	0,12	0,030	0,075	0,023	0,042	0,127	0,030

Çizelge 5.24. Kuru deneyler için Ds değerleri

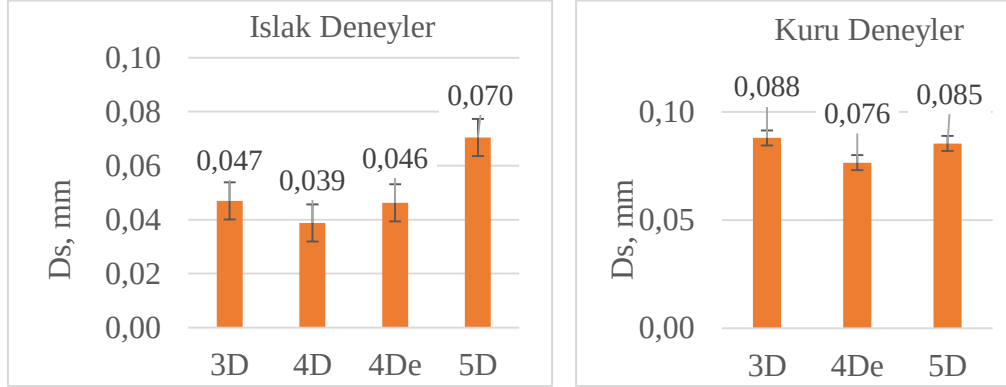
Kuru		3D			4De			5D		
		Ds (mm)			Ds (mm)			Ds (mm)		
Vc (m/dak)	f (mm/dev)	2024	6061	7075	2024	6061	7075	2024	6061	7075
200	0,12	0,042	0,292	0,069	0,023	0,187	0,018	0,041	0,114	0,083
250	0,12	0,036	0,119	0,028	0,029	0,105	0,029	0,061	0,108	0,053
300	0,12	0,053	0,129	0,023	0,026	0,240	0,033	0,062	0,107	0,139

5.6.1. Uzunluk/çap oranına göre Ds'nin değişimi

Deneyler kapsamında 4 adet U matkap kullanılmıştır. U matkaplardaki kesici uçların birinin merkezde diğerinin çevrede konumlandırılması yani asimetrik yerleşiminden dolayı merkezkaç kuvvetlerinin etkisi ile dairesellik hafif oval şekilli olabilmektedir [38]. Islak deneyler ile U matkap başına 27 adet deney yapılmıştır. Tüm bu değerlerin ortalaması alındığında Şekil 5.76 elde edilmiştir. Elde edilen değerlere göre en düşük Ds ortalaması (0,039 mm) 4D ile elde edilmişken en yüksek ortalama (0,07) 5D ile elde edilmiştir. 3D ile 0,047 mm ve 4De ile 0,046 mm elde edilmiştir.

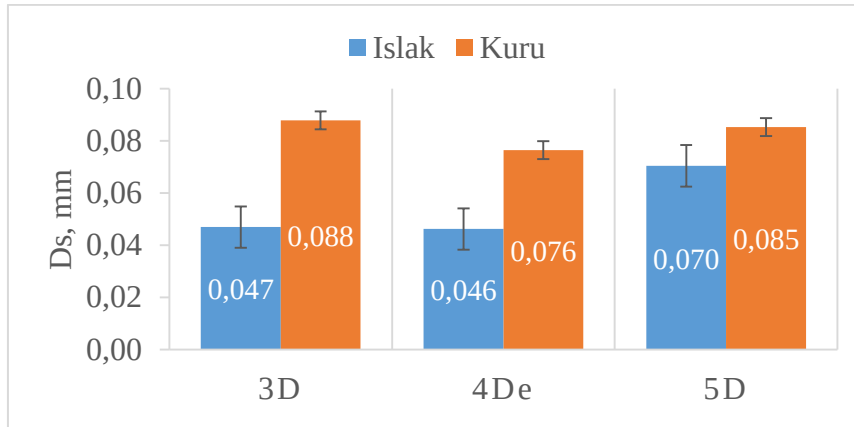
Kuru deneyler ile U matkap başına 9 adet deney yapılmıştır. Şekle göre en düşük Ds ortalaması (0,076 mm) 4De ile elde edilirken en yüksek değer (0,088 mm) 3D ile elde

edilmiştir. Kesici takım boyunun uzaması ile doğal frekansın azalarak daha düşük frekans seviyelerinde titreşimlerin meydana gelebileceği, bu titreşimlerin ise boyutsal ve geometrik toleranslarda sapmalara neden olabileceği ifade edilmiştir [87].



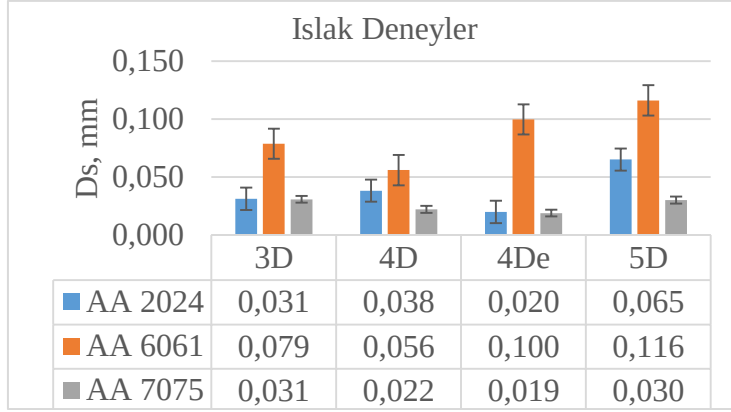
Şekil 5.76. L/D oranına göre Ds değerlerinin değişimi

Islak ve kuru deneylerin sonuçları karşılaştırıldığında ise Şekil 5.77 elde edilmiştir. Kuru deneyler ıslak deneylere göre daha yüksek Ds ortalamaları vermiştir. Kuru deneyler ıslak deneylere göre 3D için %87, 4De için % 65 ve 5D için % 21 daha yüksek Ds değeri meydana getirmiştir.



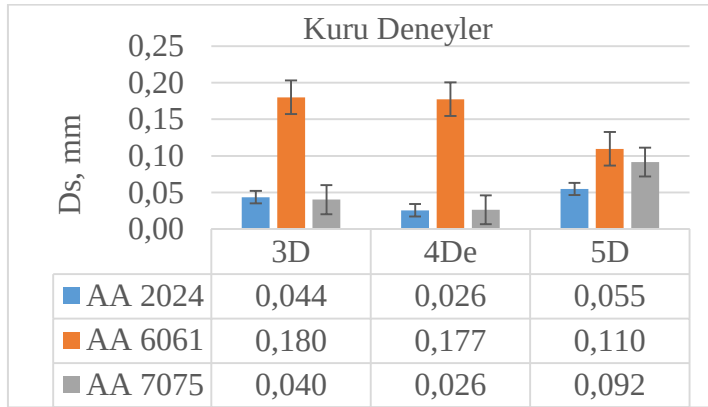
Şekil 5.77. Islak ve kuru deneylerin Ds'ye göre karşılaştırılması

Malzemelere göre ıslak deneylerin Ds değerleri dikkate alındığında Şekil 5.78 meydana gelmiştir. AA 2024 malzemesi için en düşük ortalama Ds 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. AA 6061 malzemesi için en düşük ortalama Ds 4D ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. AA 7075 malzemesi için en düşük ortalama Ds 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 3D ile elde edilmiştir.



Şekil 5.78. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi

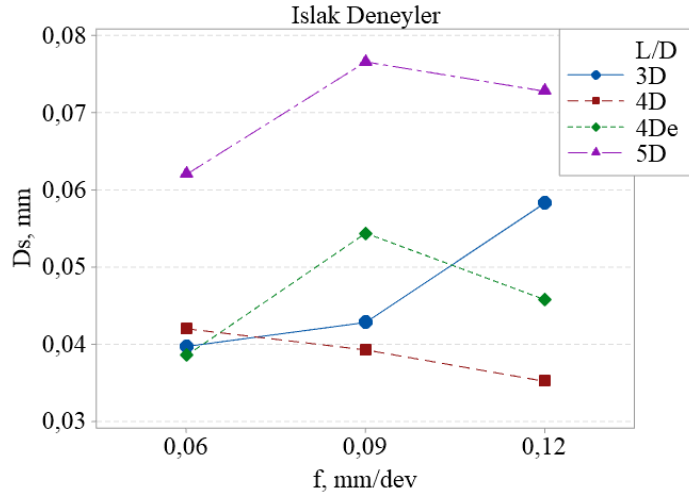
Kuru deneylerin malzemelere göre değişimi dikkate alındığında Şekil 5.79 elde edilmiştir. Kuru deneyler için AA 2024 malzemesinin delinmesinde en düşük Ds ortalaması 4De ile elde edilmişken en yüksek ortalama 5D ile elde edilmiştir. AA 6061 malzemesi için en düşük ortalama 5D ile elde edilmişken en yüksek ortalama 3D ile elde edilmiştir. AA 7075 malzemesi için en düşük ortalama 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir.



Şekil 5.79. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi

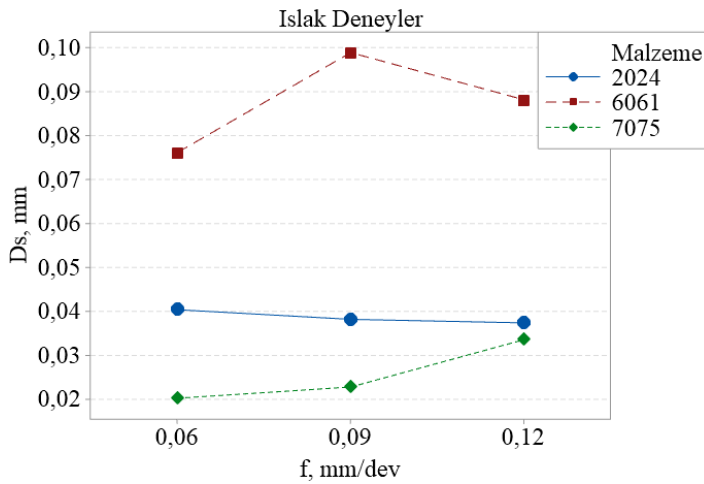
5.6.2. İlerleme miktarına göre Ds'nin değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne göre f'in değişimi Şekil 5.80'de yer almaktadır. 3D için f değerindeki artışla Ds ortalaması artmıştır [58]. 4D için f değerindeki artışla Ds azalmıştır. 4De ve 5D için orta f'te bir miktar artmışken, yüksek f değerinde bir miktar azalmıştır. Kuru deneylerde tek f değeri dikkate alındığı için şekil oluşturulmamıştır.



Şekil 5.80. L/D değerleri için f ile D_s'nin değişimi

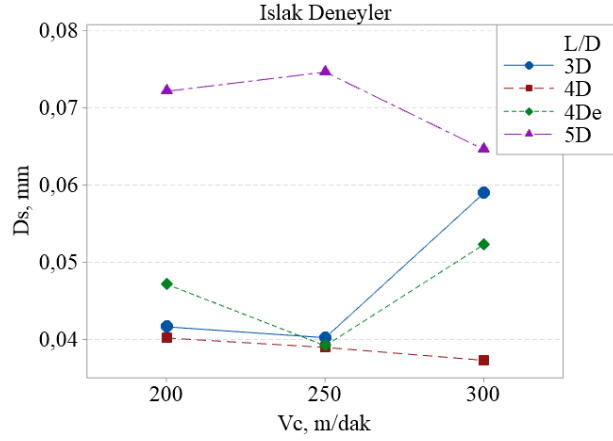
Islak deneyler için malzeme türüne göre f'in değişimi Şekil 5.81'de yer almaktadır. AA 2024 malzemesi f'in artmasıyla bir miktar azalmıştır. AA 6061 malzemesi f'in artmasıyla önce artmış sonra ise azalmıştır. AA 7075 malzemesi f'in artmasıyla artmıştır [58].



Şekil 5.81. Malzemelere göre f'in D_s ile değişimi

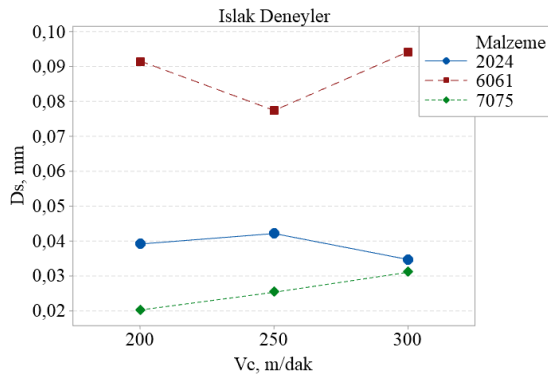
5.6.3. Kesme hızına göre D_s'nin değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne göre V_c'nin değişimi Şekil 5.82'de yer almaktadır. 3D ve 4De V_c'nin artmasına paralel olarak önce azalmış sonra ise artmıştır. 4D V_c'nin artmasıyla D_s azalmıştır. 5D ise V_c'nin artmasıyla önce artmış sonra ise azalmıştır. Bazı çalışmalarda da kararsız bir sonuç elde edilmiştir [58].



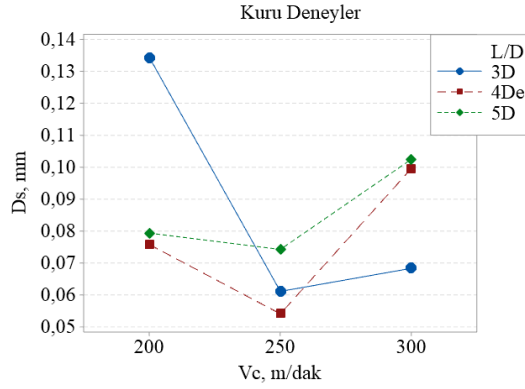
Şekil 5.82. L/D değerleri için Vc ile Ds'nin değişimi (Islak)

Islak deneyler için malzeme türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.83'te yer almaktadır. AA 2024 malzemesi Vc'nin artmasıyla önce artmış sonrasında ise Ds azalmıştır. AA 6061 malzemesi Vc'nin artmasıyla önce azalmış sonrasında ise artmıştır. AA 7075 malzemesi Vc'nin artmasıyla artmıştır. Normal helisel matkapların daha düşük Vc'lerde genellikle daha yüksek dairesellikten sapmaya neden olduğu [2] ifade edilmiş olsa da U matkaplar için daha düzensiz bir sonuç elde edilmiştir [3]. Mevcut çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir.



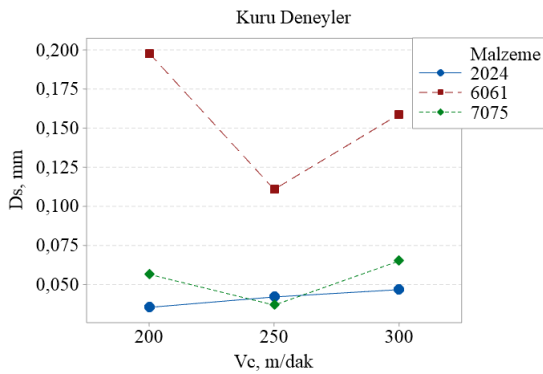
Şekil 5.83. Malzemelere göre Vc ile Ds'nin değişimi (Islak)

Kuru deneyler için U matkap türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.84'de yer almaktadır. 3D, 4De ve 5D Vc'nin artmasıyla önce azalmış sonra ise artmıştır. 250 m/dak Vc değerinde Ds ortalamaları ideal kesme hızı değeri olarak görülmektedir. Vc'nin artmasıyla Ds tekrar artma eğiliminde olmuştur.



Şekil 5.84. L/D değerlerine göre Vc ile Ds'nin değişimi (Kuru)

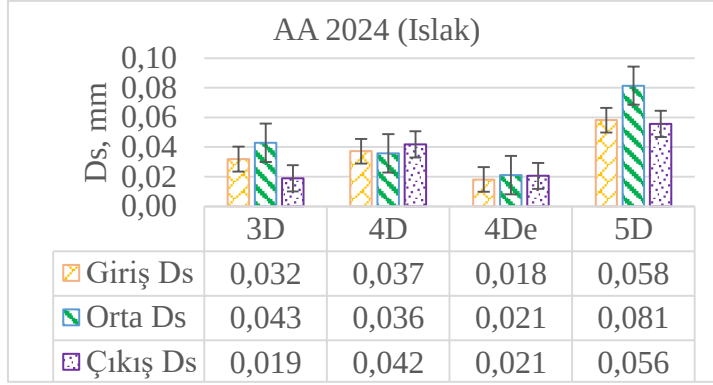
Kuru deneyler için malzeme türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.85'te yer almaktadır. AA 2024 alüminyum alaşımı Vc'nin artmasına paralel olarak artmıştır. AA 6061 malzemesi önce azalmış sonra ise yüksek Vc değerinde artmıştır. AA 7075 malzemesi önce azalmış sonrasında ise artmıştır.



Şekil 5.85. Malzeme türüne göre Vc ile Ds'nin değişimi (Kuru)

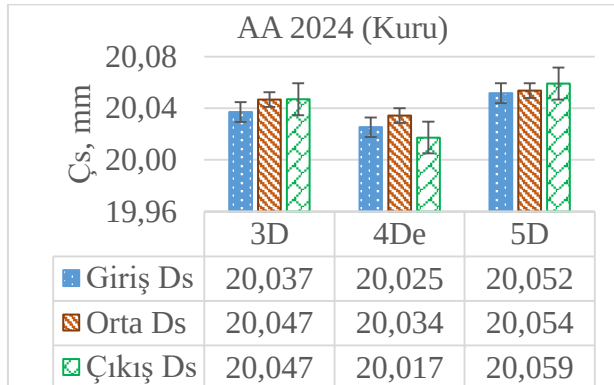
5.6.4. Delik derinliği ile Ds'nin değişimi

AA 2024 alüminyum alaşımının deliğin girişi, ortası ve çıkışındaki Ds değerleri şekil 5.86'da bulunmaktadır. Şekle göre 3D için deliğin ortası en yüksek değeri vermişken en düşük Ds deliğin çıkışında meydana gelmiştir. 4D için en büyük Ds deliğin çıkışında oluşurken en düşük değer deliğin ortasında meydana gelmiştir. 4De için en düşük değer deliğin girişinde meydana gelmişken orta ve çıkıştaki değerler aynı olmakla beraber deliğin girişindekinden bir miktar fazla çıkmıştır. 5D için deliğin ortası en yüksek değeri vermişken en düşük Ds deliğin çıkışında meydana gelmiştir.



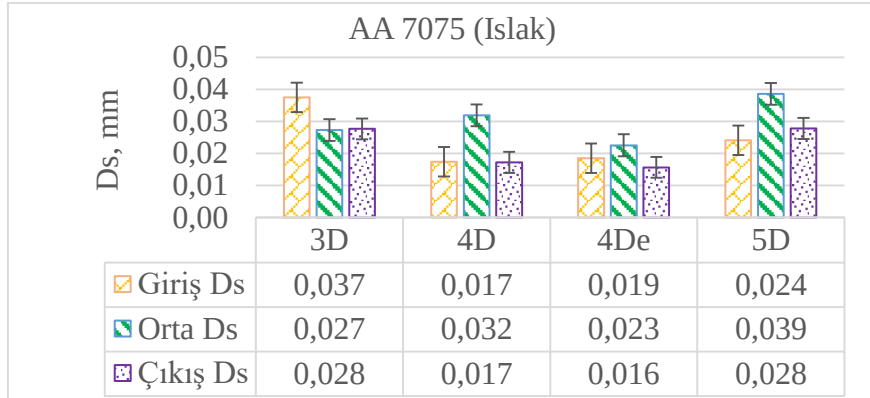
Şekil 5.86. AA 2024 malzemesi için delik boyunca Ds'nin değişimi (Islak)

AA 2024 alüminyum alaşımının deliğin girişi, ortası ve çıkışındaki Ds değerleri Şekil 5.87'de bulunmaktadır. Şekle göre 3D için deliğin girişi en düşük değeri vermişken ortasında ve çıkışında aynı değerler meydana gelmiştir. 4De için en düşük değer deliğin çıkışında meydana gelmişken en yüksek değer deliğin ortasında meydana gelmiştir. 5D için deliğin çıkışı en yüksek değeri vermişken en düşük Ds deliğin girişinde meydana gelmiştir.



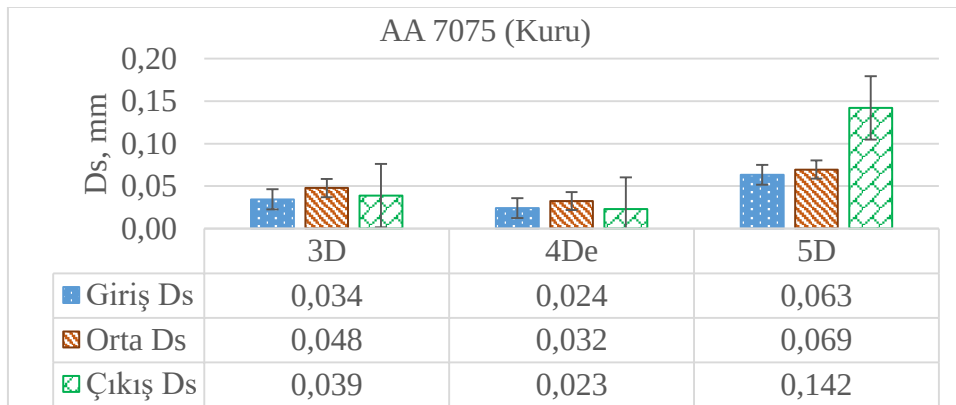
Şekil 5.87. AA 2024 malzemesi için delik boyunca Ds'nin değişimi (Kuru)

AA 7075 alüminyum alaşımının deliğin girişi, ortası ve çıkışındaki Ds değerleri Şekil 5.88'de bulunmaktadır. Şekle göre 3D için deliğin girişi en yüksek değeri vermişken en düşük Ds deliğin ortasında meydana gelmiştir. 4D için en büyük Ds deliğin ortasında oluşurken deliğin girişi ve çıkışındaki değerler aynı ve daha düşük oluşmuştur. 4De için en düşük değer deliğin çıkışında meydana gelmişken en yüksek değer deliğin ortasında meydana gelmiştir. 5D için deliğin ortası en yüksek değeri vermişken en düşük Ds deliğin girişinde meydana gelmiştir.



Şekil 5.88. AA 7075 malzemesi için delik boyunca Ds'nin değişimi (Islak)

AA 7075 alüminyum alaşımının deliğin girişi, ortası ve çıkışındaki Ds değerleri Şekil 5.89'da bulunmaktadır. Şekle göre 3D ve 4De için en yüksek Ds değerleri deliğin ortasında ölçülmüşken, 5D için deliğin çıkışında ölçülmüştür.



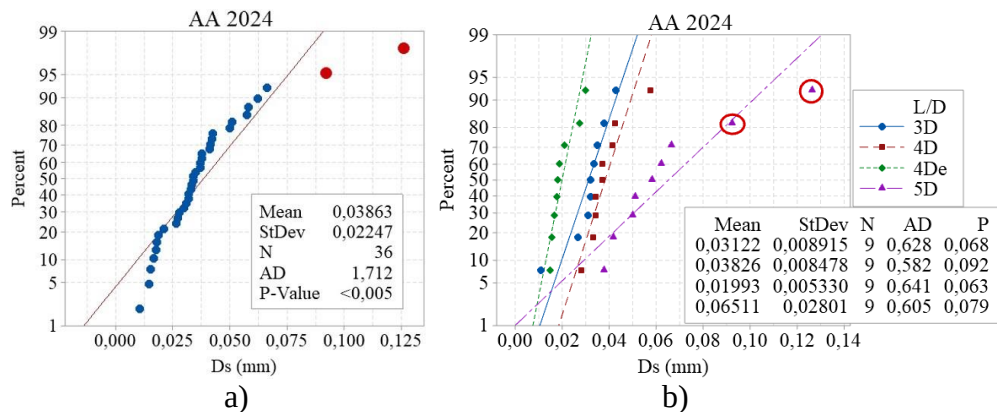
Şekil 5.89. AA 7075 malzemesi için delik boyunca Ds'nin değişimi (Kuru)

5.6.5. Ds için varyans ve regresyon analizleri

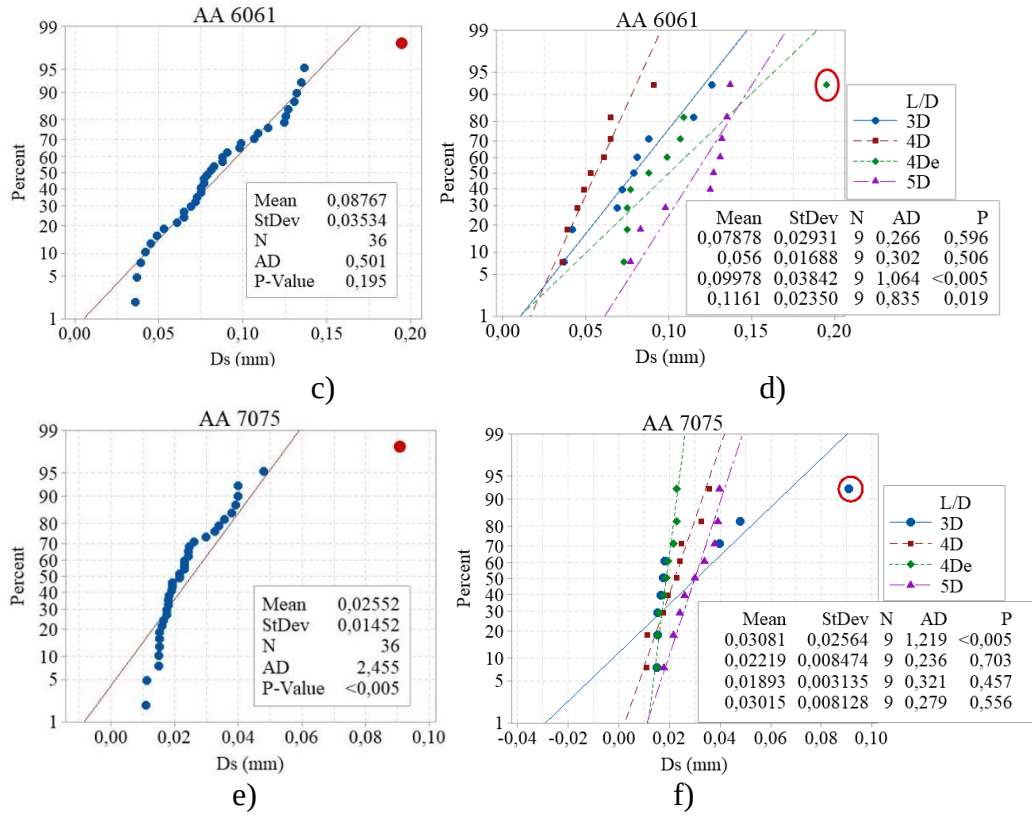
Tüm malzeme grupları için varyans analizi öncesinde normallik testi yapılmıştır. Yapılan normallik testlerinin ve L/D'ye göre gruplandırılmış sonuçları Şekil 5.90'da yer almaktadır. AA 2024 malzemesinin normallik testleri incelendiğinde iki adet deneysel sonucun normallik eğrisinden uzakta yer aldığı görülmektedir. L/D'ye göre gruplandırılarak normallik testi sonuçları incelendiğinde bu iki uzakta yer alan deneysel sonucun 5D U matkap ile elde edildiği tespit edilmiştir. L/D'ye göre gruplandırıldığında her bir U matkabın kendi içerisinde normal dağılıma sahip olduğu açık olsa da normallik seviyeleri oldukça düşük olarak sonuçlanmıştır.

AA 6061 malzemesinin normallik testleri incelendiğinde bir adet deneysel sonucun normallik eğrisinden uzakta yer aldığı görülmektedir. L/D'ye göre gruplandırılarak normallik testi sonuçları incelendiğinde bu uzakta yer alan deneysel sonucun 4De U matkap ile elde edildiği belirlenmiştir. L/D'ye göre gruplandırıldığında her bir U matkabın 4De dışında kendi içerisinde normal dağılıma sahip olduğu açıktır. Yalnızca bir adet deneysel sonuç 4De'nin normal dağılımdan uzaklaşmasına sebep olmuştur. Bu sonuca talaşın kesim bölgesinden uzaklaşırken delik yüzeyine sıvanmasının neden olduğu düşünülmüştür. Çünkü CMM tezgâhının ölçme probunun delik yüzeyine sıvanan/yapışan talaşlar nedeniyle normal dağılımdan uzakta ölçümler yapmış olabileceği de değerlendirilmiştir.

AA 7075 malzemesinin normallik testleri incelendiğinde bir adet deneysel sonucun normallik eğrisinden uzakta yer aldığı görünmektedir. L/D'ye göre gruplandırılarak normallik testi sonuçları incelendiğinde bu uzakta yer alan deneysel sonucun 3D U matkap ile elde edildiği belirlenmiştir. L/D'ye göre gruplandırıldığında her bir U matkabın 3D dışında kendi içerisinde normal dağılıma sahip olduğu açıktır. Yalnızca bir adet deneysel sonuç 3D'nin normal dağılımdan uzaklaşmasına sebep olmuştur. Bu sonuca talaşın kesim bölgesinden uzaklaşırken delik yüzeyine sıvanmasının neden olduğu düşünülmüştür. Çünkü CMM tezgâhının ölçme probunun delik yüzeyine sıvanan/yapışan talaşlar nedeniyle normal dağılımdan uzakta ölçümler yapmış olabileceği de değerlendirilmiştir. Gruplandırılmamış normallik testleri normal dağılıma uygun olmadığı için varyans analizleri ve regresyon analizleri yapılmamıştır.

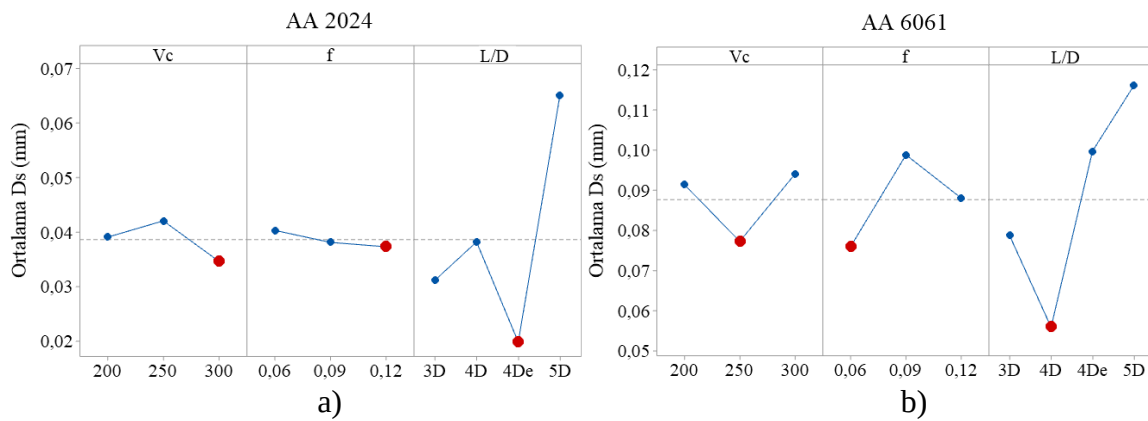


Şekil 5.90. a, c, e) Normallik testleri, b, d, f) L/D'ye göre gruplandırılmış normallik testleri.

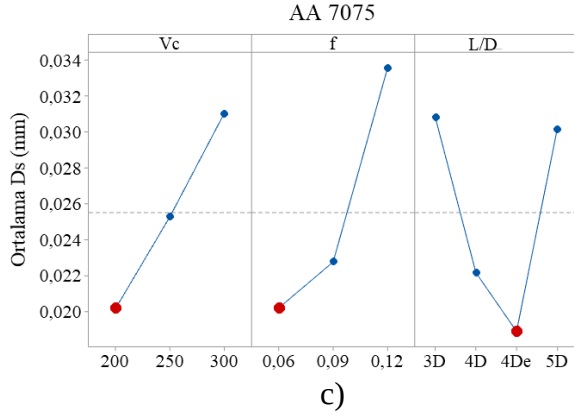


Şekil 5.90. (devam) a, c, e) Normallik testleri, b, d, f) L/D'ye göre gruplandırılmış normallik testleri.

Şekil 5.91'de tüm malzeme gruplarının etki grafikleri yer almaktadır. Etki grafiklerine göre Ds değerini minimum yapan kesme hızı AA 2024 için 300 m/dak, AA 6061 için 250 m/dak ve AA 7075 için 200 m/dak olarak sonuçlanmıştır. İlerleme miktarı dikkate alındığında ise AA 2024 için 0,12 mm/dev, AA 6061 ve AA 7075 malzemeleri için 0,06 mm/dev olarak sonuçlanmıştır. Uzunluğun/çapa oranı dikkate alındığında ise AA 2024 ve AA 7075 malzemeleri için 4De daha etkiliyken, AA 6061 için 4D daha etkili olarak sonuçlanmıştır.



Şekil 5.91. Ds için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075



Şekil 5.91. (devam) Ds için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 6061, c) AA 7075

5.7. Silindiriklikten Sapmanın Değerlendirilmesi

İdeal silindirik şekil ile CMM yardımıyla ölçülen silindiriklik değeri arasındaki fark ortalama silindiriklikten sapma (Ss) olarak ifade edilmektedir [41]. Ölçüm sonuçları ıslak deneyler için Çizelge 5.25'te, kuru deneyler için Çizelge 5.26'da yer almaktadır. AA 6061 malzemesinin boydan boya f değerine müdahale edilmeden delinen delik sayısı az olduğu için AA 6061 malzemesi Ss için dikkate alınmamıştır.

Çizelge 5.25. Islak deneyler için Ds değerleri

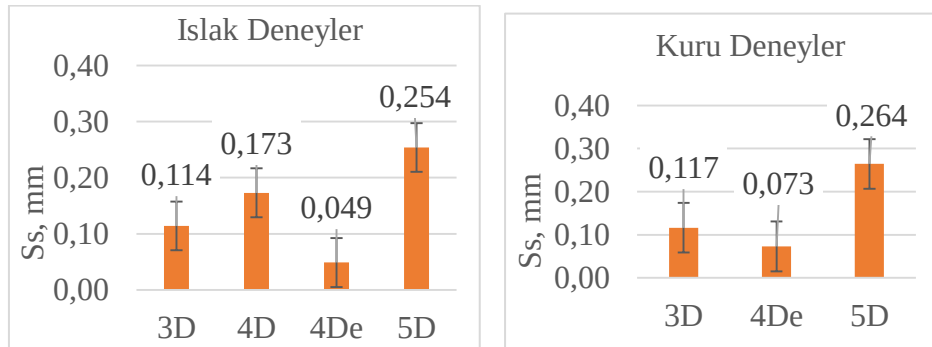
Islak		3D		4D		4De		5D	
		Ss (mm)		Ss (mm)		Ss (mm)		Ss (mm)	
Vc	f	2024	7075	2024	7075	2024	7075	2024	7075
200	0,06	0,022	0,078	0,160	0,073	0,047	0,041	0,453	0,370
200	0,09	0,087	0,150	0,225	0,341	0,030	0,028	0,318	0,154
200	0,12	0,077	0,092	0,162	0,117	0,054	0,075	0,274	0,213
250	0,06	0,173	0,077	0,174	0,085	0,040	0,030	0,375	0,218
250	0,09	0,110	0,064	0,077	0,424	0,039	0,044	0,363	0,243
250	0,12	0,130	0,136	0,146	0,106	0,030	0,039	0,310	0,100
300	0,06	0,131	0,119	0,154	0,085	0,080	0,058	0,113	0,330
300	0,09	0,135	0,073	0,160	0,127	0,023	0,101	0,196	0,185
300	0,12	0,177	0,223	0,203	0,295	0,079	0,041	0,127	0,226

Çizelge 5.26. Kuru deneyler için Ds değerleri

Kuru	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	3D Ss (mm)		4De Ss (mm)		5D Ss (mm)	
			2024	7075	2024	7075	2024	7075
	200	0,12	0,152	0,154	0,032	0,061	0,254	0,345
	250	0,12	0,107	0,139	0,125	0,105	0,261	0,236
	300	0,12	0,073	0,074	0,053	0,064	0,114	0,376

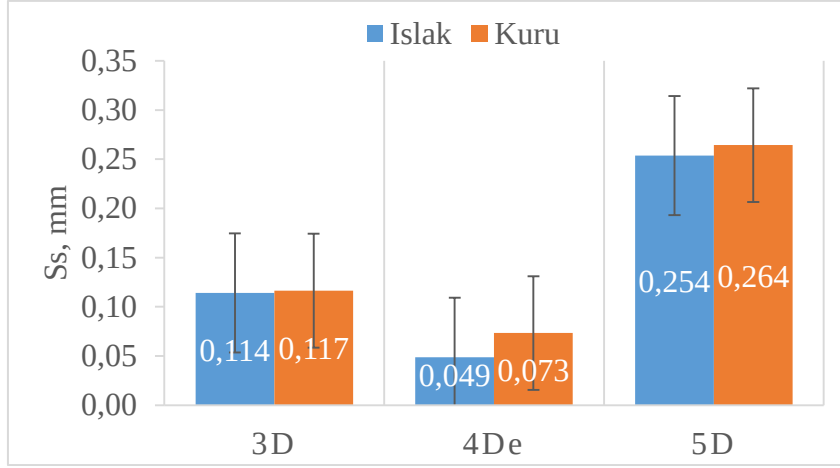
5.7.1. Uzunluk/çap oranına göre Ss'nin değişimi

Deneyler kapsamında 4 adet U matkap kullanılmıştır. Islak deneyler ile U matkap başına 27 adet deney yapılmıştır. Tüm bu değerlerin ortalaması alındığında Şekil 5.92 elde edilmiştir. Elde edilen değerlere göre en düşük Ss ortalaması (0,049 mm) 4De ile elde edilmişken en yüksek ortalama (0,254 mm) 5D ile elde edilmiştir. 3D ile 0,114 mm ve 4D ile 0,173 mm elde edilmiştir. Kuru deneyler ile U matkap başına 9 adet deney yapılmıştır. Şekle göre en düşük Ss ortalaması (0,073 mm) 4De ile elde edilirken en yüksek değer (0,264 mm) 5D ile elde edilmiştir. Takım sapmaları delik geometrilerinde olumsuzluğa neden olabilmektedir [97]. Artan L/D oranı ile Ss değerlerinin artması takım sapmasına ve talaş sıvanmalarına atfedilmiştir.



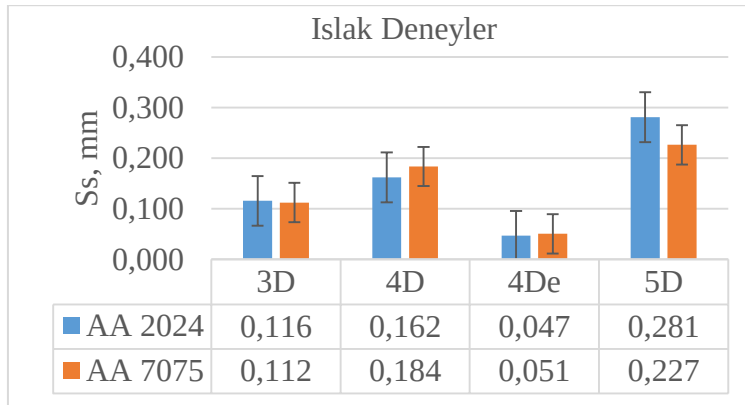
Şekil 5.92. L/D oranına göre Ss değerlerinin değişimi

Islak ve kuru deneylerin sonuçları karşılaştırıldığında ise Şekil 5.93 elde edilmiştir. Kuru deneyler ıslak deneylere göre daha yüksek Ss ortalamaları vermiştir. 4De'de bulunan ekstra soğutucu deliğin etkisiyle Ss değerleri daha düşük çıkmıştır. Kuru şartlarda alüminyumun matkaba sıvanmasından/yapışmasından dolayı daha yüksek Ss değerleri elde edilmiştir [98].



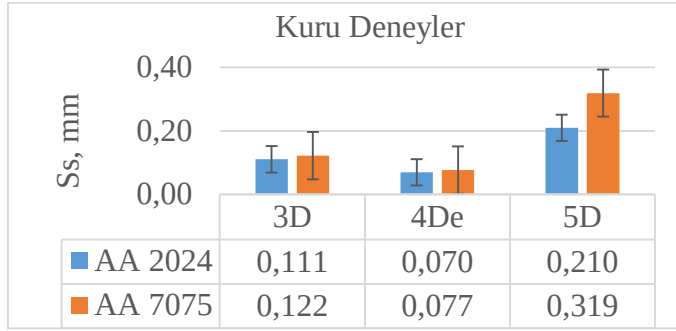
Şekil 5.93. Islak ve kuru deneylerin Ss'ye göre karşılaştırılması

Malzemelere göre ıslak deneylerin Ss değerleri dikkate alındığında Şekil 5.94 meydana gelmiştir. AA 2024 malzemesi için en düşük ortalama Ss 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. AA 7075 malzemesi için en düşük ortalama Ss 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir.



Şekil 5.94. Islak deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi

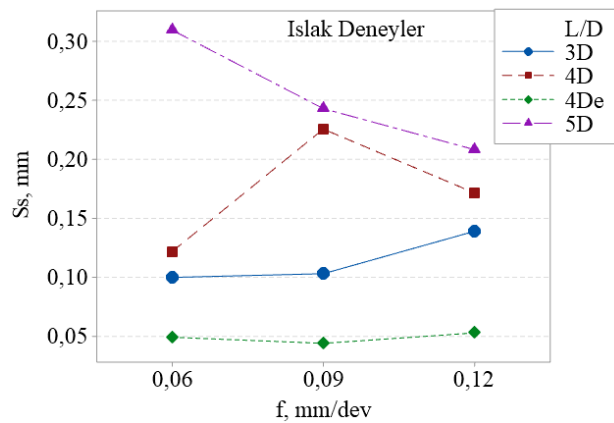
Kuru deneylerin malzemelere göre değişimi dikkate alındığında Şekil 5.95 elde edilmiştir. Kuru deneyler için AA 2024 malzemesinin delinmesinde en düşük Ss ortalaması 4De ile elde edilmişken en yüksek ortalama 5D ile elde edilmiştir. AA 7075 malzemesi için en düşük ortalama 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. Alüminyumun kuru delinmesindeki genel problem, van der waals bağlarının neden olduğu yapışkan alüminyumun yığılması (BUE) ve yüzeyin pürüzlülüğü nedeniyle kohezyondur [99]. Bu durum ise deliğin geometrik kalitesinde olumsuzluklara yol açabilmektedir.



Şekil 5.95. Kuru deneyler için malzeme ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi

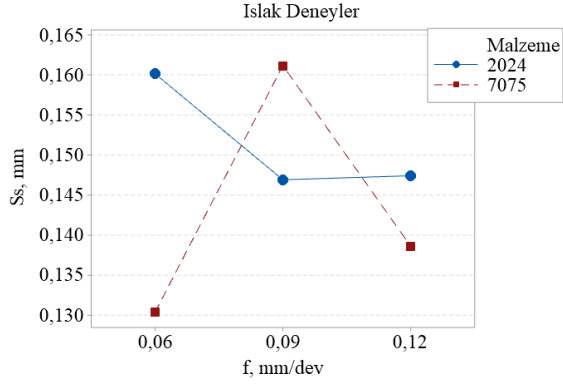
5.7.2. İlerleme miktarına göre Ss'nin değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne göre f 'in değişimi Şekil 5.96'da yer almaktadır. 3D için f değerindeki artışla Ss ortalaması artmıştır [41]. 4D için f değerindeki artışla Ds önce artmış sonra azalmıştır. 4De orta f değerinde hemen hemen başlangıca göre aynı kalmış daha sonra ise hafif artmıştır. 5D f değerinin artmasına paralel olarak azalmıştır. Kuru deneylerde tek f değeri dikkate alındığı için şekil oluşturulmamıştır. Artan f değeri ile takım sapmalarının arttığı ifade edilmiştir [97]. Bu durum düşük kesme parametrelerinde titreşimlerin daha az olmasına atfedilmiştir [39]. Söz konusu alüminyum malzeme olduğu için sıvanmalardan dolayı delik kalitesi olumsuz etkilenmektedir.



Şekil 5.96. L/D değerleri için f ile Ss'nin değişimi

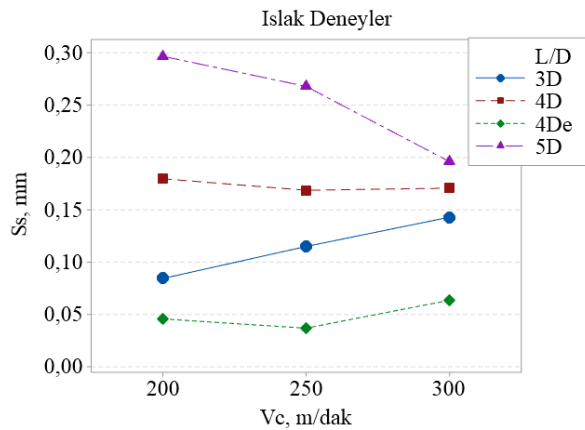
Islak deneyler için malzeme türüne göre f 'in değişimi Şekil 5.97'de yer almaktadır. AA 2024 malzemesi f 'in artmasıyla azalmış sonrasında ise hafif artmıştır. AA 7075 malzemesi f 'in artmasıyla önce artmış sonra ise azalmıştır.



Şekil 5.97. Malzemelere göre f'in Ss ile değişimi

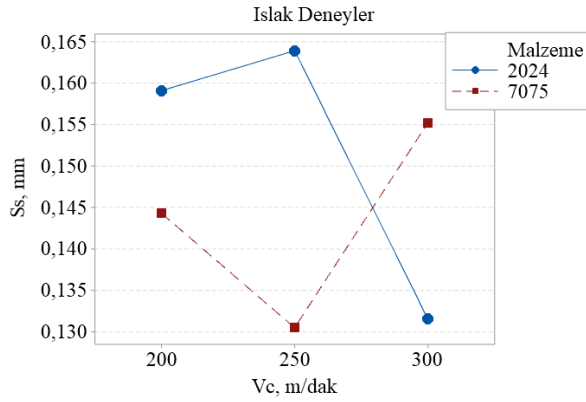
5.7.3. Kesme hızına göre Ss'nin değişimi

Islak deneyler için U matkap türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.98'de yer almaktadır. 3D Vc'nin artmasına paralel olarak artmıştır [41]. 5D Vc'nin artmasına paralel olarak azalmıştır. 4D Vc'nin artmasıyla önce hafif azalmış sonra ise hafif artmıştır. 4De Vc'nin artmasıyla önce hafif azalmış sonra ise artmıştır. Yüksek Vc değerlerinde iş mili salgısının daha baskın olduğu ifade edilmiştir [98]. Bazı çalışmalarda ise takım salgısının artan iş mili hızı ile azaldığı savunulmuştur [97]. Bu durum ise geometrik ve boyutsal toleranslarda kötüleşmeye sebep olabileceği değerlendirilmiştir.



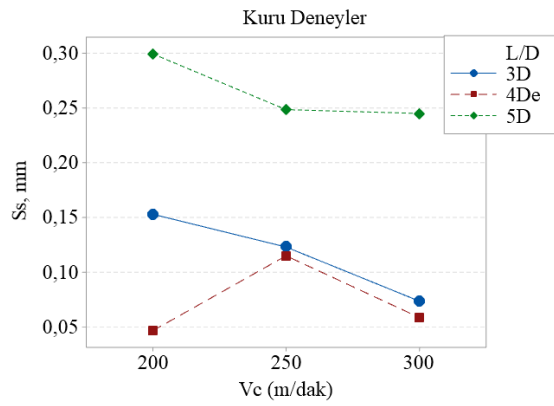
Şekil 5.98. L/D değerleri için Vc ile Ss'nin değişimi (Islak)

Islak deneyler için malzeme türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.99'da yer almaktadır. AA 2024 malzemesi için Ss Vc'nin artmasıyla önce artmış sonrasında ise belirgin bir şekilde azalmıştır. AA 7075 malzemesi için Ss Vc'nin artmasıyla önce azalmış sonrasında ise artmıştır.



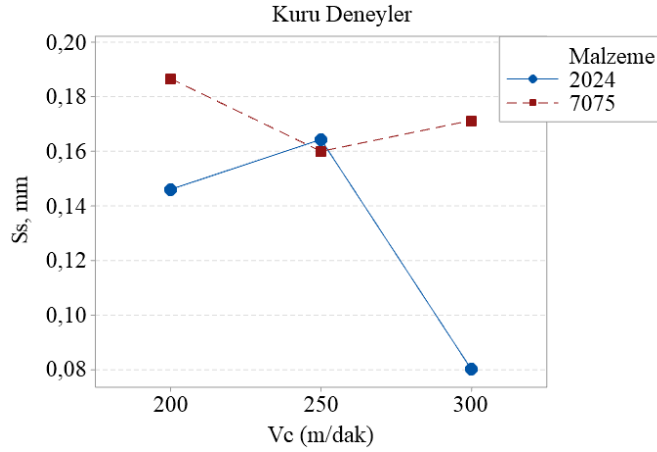
Şekil 5.99. Malzemelere göre Vc ile Ss'nin değişimi (Islak)

Kuru deneyler için U matkap türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.100'de yer almaktadır. 3D ve 5D Vc'nin artmasıyla azalmıştır. 4De için Ss Vc'nin artmasıyla önce artmış sonrasında ise azalmıştır. Alüminyum alaşımlarında hızlardaki her artışın matkaba alüminyumun yapışması ile sonuçlandığı ifade edilmiştir [98]. Yapışmayla beraber delik kalitesinin olumsuz etkilendiği değerlendirilmiştir. Yapışmanın olmadığı durumlarda ise Ss değerleri daha düşük değerlerde sonuçlanmıştır.



Şekil 5.100. L/D değerlerine göre Vc ile Ss'nin değişimi (Kuru)

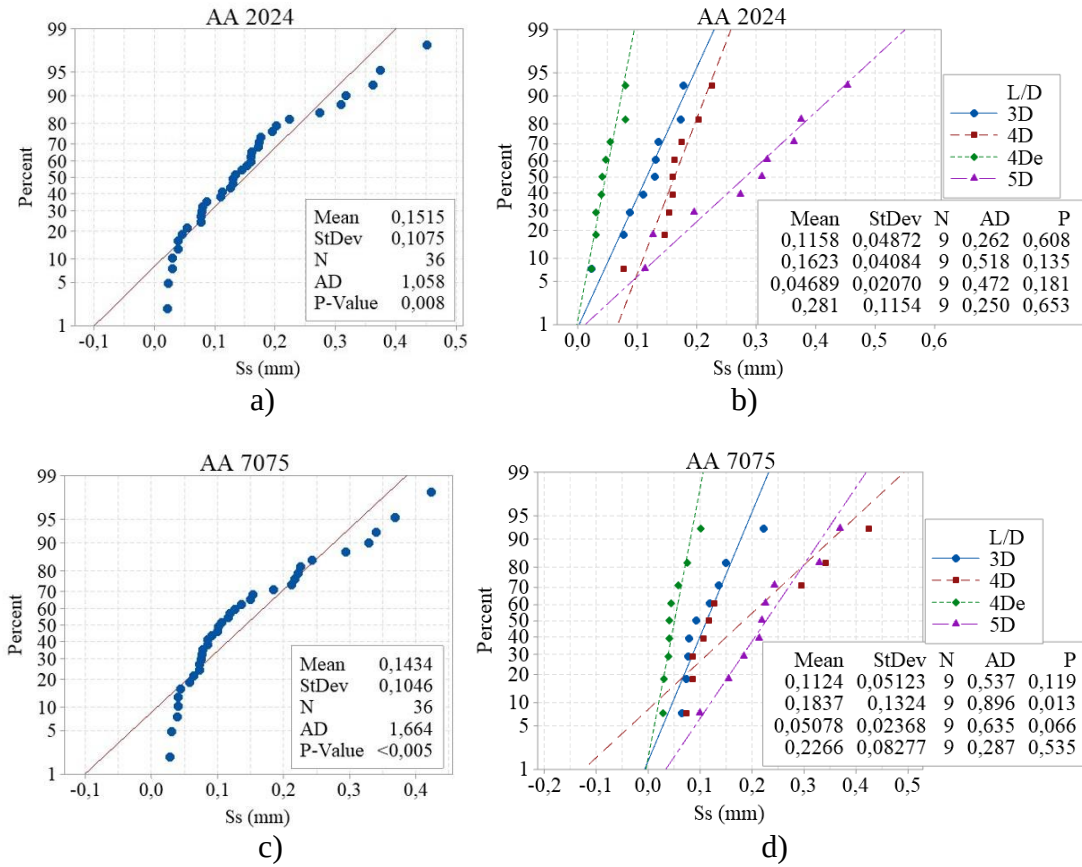
Kuru deneyler için malzeme türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.101'de yer almaktadır. AA 2024 alüminyum alaşımı Vc'nin artmasına paralel olarak artmış daha sonra ise azalmıştır. AA 7075 malzemesi önce azalmış sonra ise yüksek Vc değerinde artmıştır.



Şekil 5.101. Malzeme türüne göre Vc ile Ss'nin değişimi (Kuru)

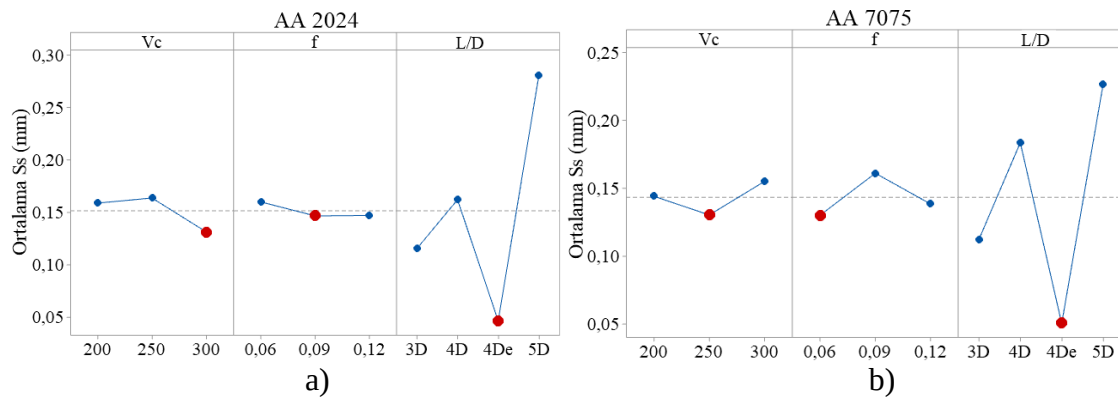
5.7.4. Ss için varyans ve regresyon analizleri

Tüm malzeme grupları için varyans analizi öncesinde normallik testi yapılmıştır. Yapılan normallik testleri ve L/D'ye göre gruplandırılmış sonuçları Şekil 5.102'de yer almaktadır. AA 2024 malzemesinin normallik testleri incelendiğinde p değerinin 0,005 değerinden çok küçük miktarda fazla olduğu görülmektedir. Bu küçük farktan dolayı verilerin normal dağılıma uygun olmadığı değerlendirilmiştir. L/D'ye göre gruplandırılarak normallik testi sonuçları incelendiğinde ise tüm U matkaplar ile elde edilen deneysel sonuçlarının normal dağılıma uygun olduğu görülmektedir. Her kesicinin kendi içerisinde farklı dinamiklere sebep olarak kesme sürecini etkilediği açıktır. Bundan dolayı her malzeme ve her farklı kesici için ayrı varyans analizi yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Ancak mevcut çalışma sınırları içerisinde böyle bir analize gidilememiştir. AA 7075 malzemesinin normallik testleri incelendiğinde p değerinin 0,005 değerinden küçük olduğu görülmektedir. Bundan dolayı verilerin normal dağılıma uygun olmadığı değerlendirilmiştir. L/D'ye göre gruplandırılan normallik testi sonuçları incelendiğinde ise tüm U matkaplar ile elde edilen deneysel sonuçlarının normal dağılıma uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 5.102. a, c) Normallik testleri b, d) L/D'ye göre gruplandırılmış normallik testleri.

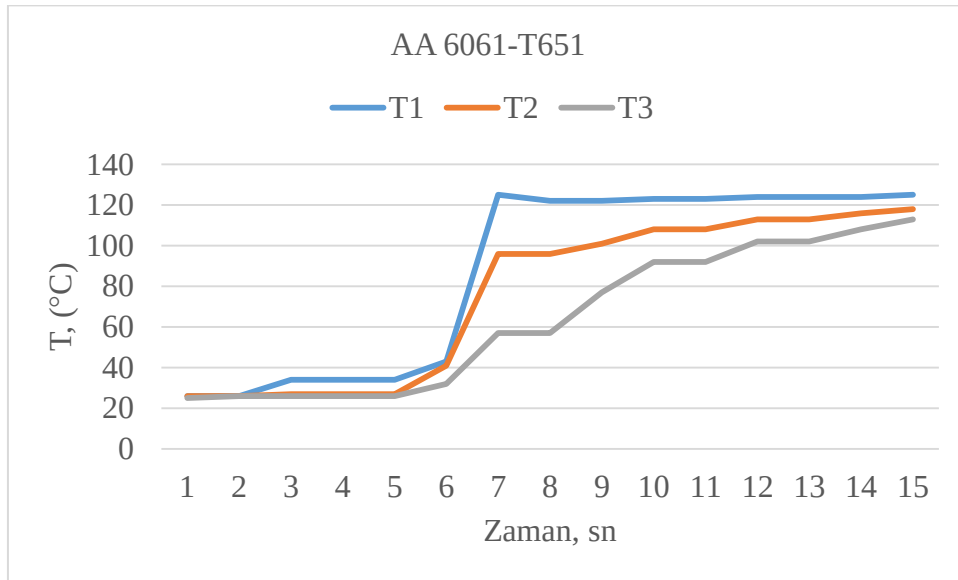
Şekil 5.103'te AA 2024 ve AA 7075 malzemelerinin etki grafikleri yer almaktadır. Etki grafiklerine göre Ss değerini minimum yapan kesme hızı AA 2024 için 300 m/dak, AA 7075 için 250 m/dak olarak sonuçlanmıştır. İlerleme miktarı dikkate alındığında ise AA 2024 için 0,09 mm/dev ve AA 7075 malzemesi için 0,06 mm/dev olarak sonuçlanmıştır. Uzunluğun/çapa oranı dikkate alındığında ise AA 2024 ve AA 7075 malzemeleri için 4De daha etkili olarak sonuçlanmıştır.



Şekil 5.103. Ds için etki grafikleri a) AA 2024, b) AA 7075

5.8. Ölçülen Sıcaklıkların Değerlendirilmesi

Sıcaklık ölçüm metodu dikkate alındığında bu çalışmada çevresel uç tarafından üretilen sıcaklıkların ölçülmesi esastır. Çünkü delik duvarı ile çevresel uç temas etmektedir. Isıl çiftler (termokupl) parçanın dışından ve yan tarafından delinen küçük bir delikten takılarak, delik duvarına en yakın konuma yerleştirilmeye çalışılmıştır. Delik girişinden 15 mm aşağıda olan ısıl çift T1, 25 mm derinliğinde olan T2 ve 35 mm derinlikte olan ise T3 olarak isimlendirilmiştir. Merkezi ucun sıcaklık etkisi mevcut olsa da nispeten çevresel uca göre daha az olduğu değerlendirilmiştir. Kuru şartlarda delik delme deneyleri sonucu elde edilen sıcaklıklar Çizelge 5.27’de verilmiştir. AA 6061 malzemesi f değerine müdahale etmeden boydan boya delinemediği için burada yer verilmemiştir. Islak şartlarda sıcaklık ölçümü yapılmamıştır. Şekil 5.104’de AA 6061-T651 malzemesi 4De U matkap ile 250 m/dak Vc ve 0,12 mm/dev f değerinde boydan boya delinememiştir. Bu deneyde U matkap malzeme içerisine yapışmıştır, bundan dolayı T3 numaralı ısıl çifte ulaşamadığı için sıcaklık değeri düşük kalmıştır. AA 6061-T651 malzemesinin termal iletkenliğinin yüksek olması dolayısıyla U matkabın iş parçasına yapışmasında 125°C maksimum nokta olarak sonuçlanmıştır.



Şekil 5.104. U matkabın alüminyum malzemeye yapışarak durduğu deney

Sıcaklık değerlerinin uygunluğu incelendiğinde, Yakut [65] yaptığı bir çalışmada AA 7075 malzemesini Ø6 normal matkap ile delmiştir. Isıl çift yöntemi ile sıcaklıkların ölçüldüğü deneylerde 42°C ile 50°C arasında değişen sıcaklık ölçümleri yapmıştır. Kaynak [54] yaptığı

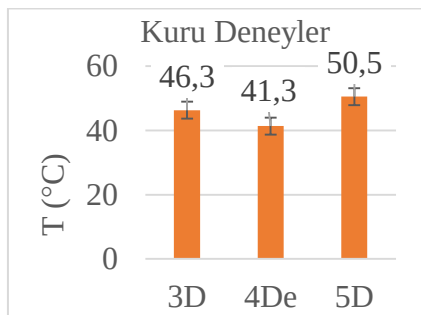
bir çalışmada AA 2024-T4 malzemesini Ø10 helisel matkap ile delmiştir. Isıl çift yöntemi ile sıcaklıkların ölçüldüğü deneylerde 35°C ile 55°C arasında değişen sıcaklık ölçümleri yapmıştır. U matkap ile yapılan daha önceki delme deneylerinde alüminyum alaşımının sıcaklık ölçümü yapılmamıştır. Dolayısıyla yapılan çalışmalar incelendiğinde mevcut çalışma ile elde edilen sıcaklık değerlerinin literatüre uygun olduğu değerlendirilmektedir.

Çizelge 5.27. Kuru deneylerde ölçülen sıcaklıklar

Kuru Deneyler			3D	4De	5D
V _c (m/dak)	f (mm/dev)	Malzeme	T (°C)	T (°C)	T (°C)
200	0,12	2024	41,0	44,3	47,7
		7075	50,0	42,3	51,3
250	0,12	2024	47,0	40,7	50,0
		7075	50,7	44,3	52,0
300	0,12	2024	41,0	37,7	43,7
		7075	48,0	38,7	58,3

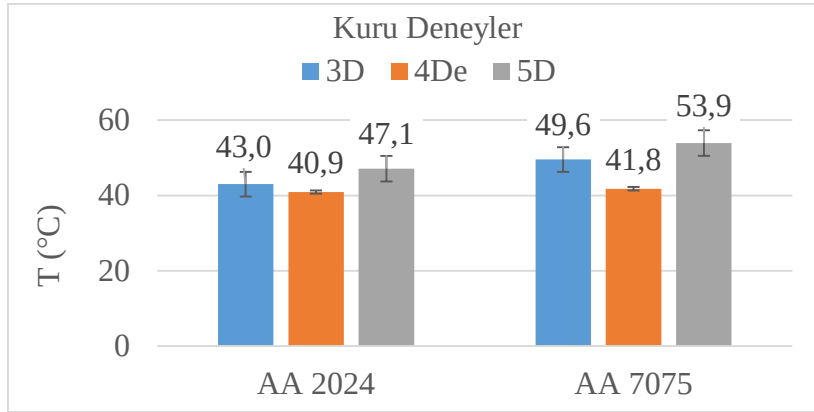
5.8.1. Uzunluk/çap oranına göre T'nin değişimi

Her bir U matkap ile yapılan 6 deneyin ortalaması alınarak Şekil 5.105 elde edilmiştir. Şekle göre en yüksek T ortalaması 5D ile elde edilirken en düşük T ortalaması 4De ile elde edilmiştir. Uzunluk/çap oranına göre sıcaklığın artması beklenirken 4De'de bulunan ekstra soğutucu deliği kuru şartlarda sıcaklıkların daha az çıkmasına neden olmuştur. Bazı çalışmalarda [35] itme kuvvetinin yüksek çıkmasının daha yüksek sıcaklıklara neden olacağı ifade edilmiş olsa da mevcut çalışmada 4De için böyle bir sonuç meydana gelmemiştir. En yüksek F_z değerleri 4De ile elde edilmiş olmasına rağmen en düşük sıcaklıklarda 4De ile elde edilmiştir. Bu duruma ekstra soğutucu deliğin neden olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 5.105. Uzunluk/çap oranına göre T ortalamaları

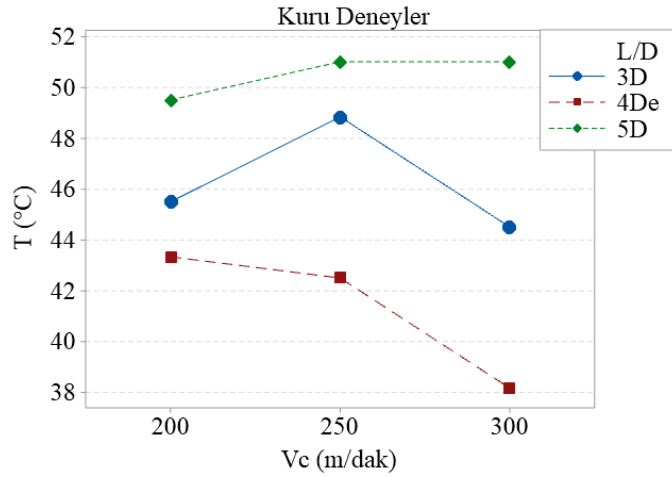
L/D oranı ve malzemelere göre T'nin değişimine bakıldığında Şekil 5.106 elde edilmiştir. Şekil incelendiğinde AA 2024 ve AA7075 alüminyum alaşımı için en düşük sıcaklıklar 4De ile elde edilmişken, en yüksek sıcaklıklar 5D ile elde edilmiştir. AA 7075'i delerken meydana gelen T değerleri AA 2024'ü delerken meydana gelen T değerlerinden daha yüksek olarak meydana gelmiştir. AA 2024 malzemesini delerken 4De, 3D'ye göre %7, 5D'ye göre %13 daha düşük T değeri meydana getirmiştir. AA 7075 malzemesini delerken ise 4De, 3D'ye göre %16, 5D'ye göre %22 daha düşük T değeri meydana getirmiştir. AA 7075 malzemesini delerken meydana gelen T değeri, AA 2024 malzemesini delerken meydana gelen T değerinden 3D için %15, 4De için %2 ve 5D için %14 daha fazladır.



Şekil 5.106. L/D ve malzemelere göre T'nin değişimi

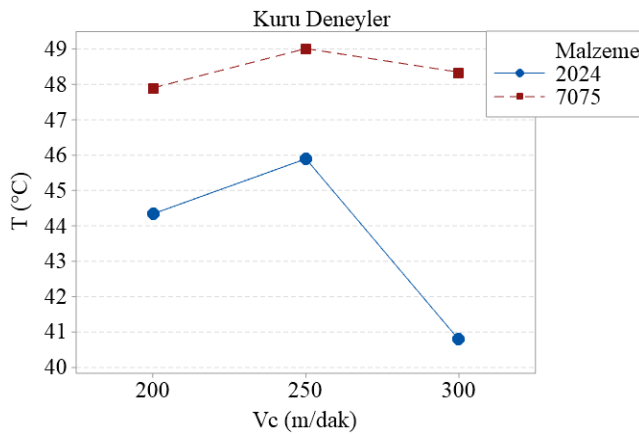
5.8.2. Kesme hızına göre T'nin değişimi

Kuru deneyler için U matkap türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.107'de yer almaktadır. 3D Vc'nin artmasına paralel olarak önce artmış daha sonra ise azalmıştır. 4De ile elde edilen T değerleri Vc'nin artmasına paralel olarak azalmıştır. 5D ile elde edilen T değerleri Vc'nin artmasına paralel olarak artmıştır. Vc değeri kesme bölgesinde ısı iletimi ve ısı yayılımı ile sıcaklığı belirlemektedir [27]. Vc'nin arttıkça T değerinin arttığı ifade edilmiştir. Ancak mevcut çalışmada yalnızca 5D'de böyle bir etki meydana gelmiştir. Diğer U matkaplarda bu durum meydana gelmemiştir. Bu durum yüksek f değerinin etkisiyle düşük olan delme süresine atfedilmiştir [10].



Şekil 5.107. L/D oranı ve Vc'ye göre T'nin değişimi

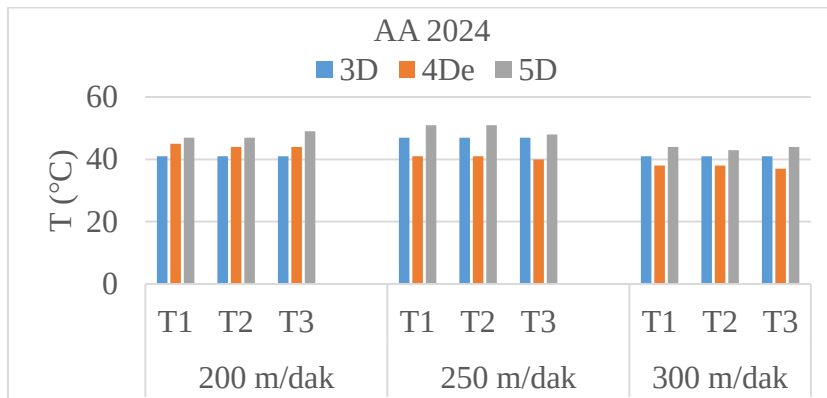
Kuru deneyler için malzeme türüne göre Vc'nin değişimi Şekil 5.108'de yer almaktadır. AA 2024 Vc'nin artmasına paralel olarak önce artmış daha sonra ise düşmüştür. AA 7075 Vc'nin artmasına paralel olarak önce artmış daha sonra ise başlangıç değerinden daha az bir değere düşmüştür. Artan Vc değeri ile beraber talaşın hızı artarak kesicinin talaş yüzeyinde daha fazla sürtünme meydana gelir. Bu durumunda sıcaklığı artırması beklenir [53]. Ancak kesme esnasında meydana gelen sıcaklığın önemli bir kısmı kesilen talaşlar ile atılmaktadır. Artan Vc ile talaşların daha çabuk kesme ortamından tahliye edilmesinin iş parçasına sıcaklığın transferini azaltarak sıcaklık değerlerinin çok fazla artmadığı değerlendirilmiştir. AA 7075 malzemesinin akma ve çekme dayanımı AA 2024 malzemesine göre daha yüksek olduğu için malzemenin deformasyonu sonunda daha yüksek sıcaklıklar meydana gelmiştir. Yapılan bir çalışmada AA 7075 malzemesinin normal helisel matkap ile delinmesinde sıcaklığın artan iş mili hızı ile azaldığı ifade edilmiştir [63].



Şekil 5.108. Malzeme ve Vc'ye göre T'nin değişimi

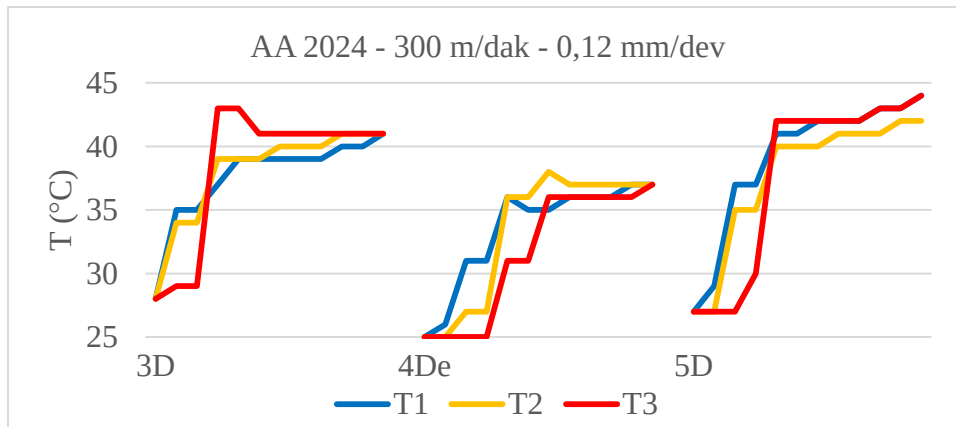
5.8.3. Delik derinliğine göre T'nin değişimi

Her bir deney numunesi için deliğin girişinden T1=15 mm, T2=25 mm ve T3=35 mm altından olmak üzere üç adet ısıl çift yerleştirilmiştir. Delik derinliğine göre sıcaklıkların değişimi dikkate alındığında AA 2024 malzemesi için Şekil 5.109 elde edilmiştir. Şekil incelendiğinde 200 m/dak Vc'de L/D oranına göre T değerlerinde orantılı bir artış görülmektedir. 250 ve 300 m/dak Vc'de ise 4De diğer iki U matkaba göre daha düşük değerler üretmiştir. Bu duruma ekstra soğutucu deliğin neden olduğu değerlendirilmiştir.



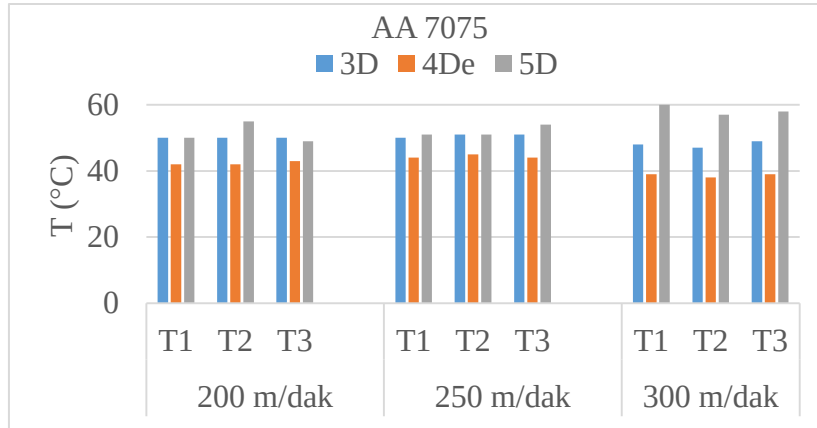
Şekil 5.109. AA 2024 için delik derinliğine göre T'nin değişimi

AA 2024 malzemesi için zamana göre T'nin değişimi Şekil 5.110'da yer almaktadır. Şekle göre 3D ve 5D için en yüksek T değerleri T3'te meydana gelmişken 4De için T2'de meydana gelmiştir. Delik tabanından ısıl çift (termokupl) ile yapılan sıcaklık ölçümlerinin incelendiği bir çalışmada merkezde sıcaklıklar en yüksek sonuçlanmışken, merkezden uzaklaştıkça sıcaklık değerleri düşmüştür [100].



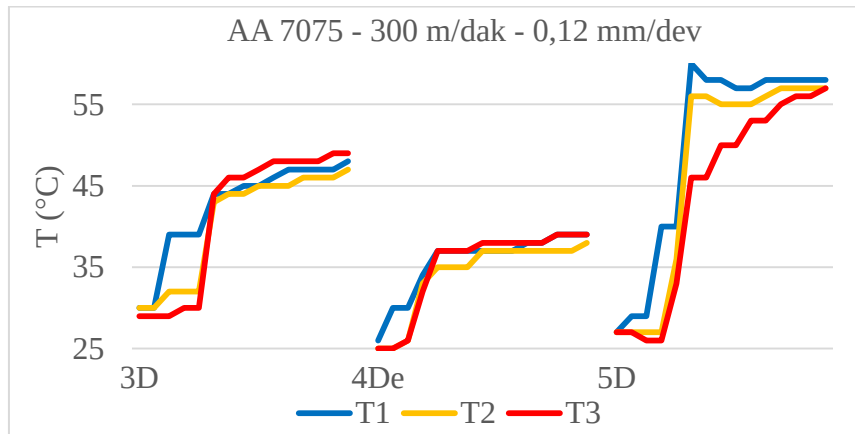
Şekil 5.110. AA 2024 malzemesi için zamana göre T'nin değişimi

Delik derinliğine göre sıcaklıkların değişimi dikkate alındığında AA 7075 malzemesi için Şekil 5.111 elde edilmiştir. Şekil incelendiğinde AA 2024 malzemesinden daha düşük sıcaklıklar meydana gelmiştir. Tüm durumlarda en düşük T değerleri 4De ile elde edilmiştir. AA 2024 malzemesinde Vc'nin 300 m/dak olmasıyla belirgin bir azalma söz konusuyken AA 7075'te belirgin bir azalma söz konusu değildir.



Şekil 5.111. AA 7075 için delik derinliğine göre T'nin değişimi

AA 7075 malzemesi için zamana göre T'nin değişimi Şekil 5.112'de yer almaktadır. Şekle göre 3D ve 4De için en yüksek T değerleri T3'te meydana gelmişken 5D için T1'de meydana gelmiştir. 5D ile elde edilen T değerleri belirgin şekilde 3D ve 4De'den daha yüksek meydana gelmiştir. Delik derinliği boyunca artan derinlik ile beraber sıcaklık değerleri artma eğilimindedir [100].



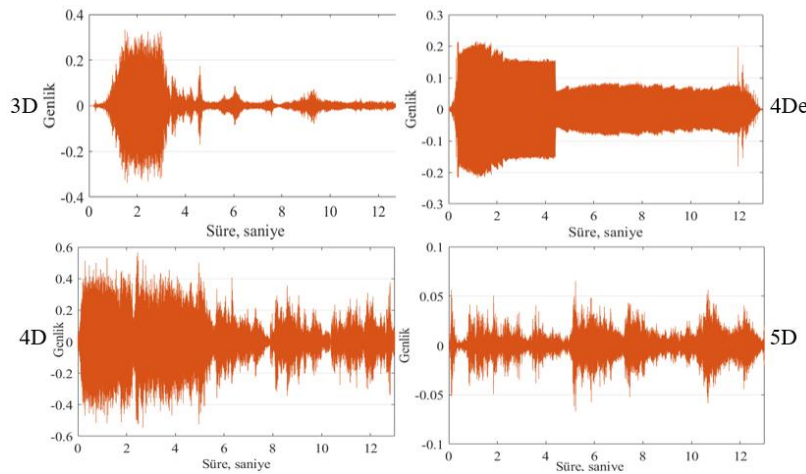
Şekil 5.112. AA 7075 malzemesi için zamana göre T'nin değişimi

5.9. Ses Seviyesi Sinyallerinin Değerlendirilmesi

Kesme ortamından bir mikrofon yardımıyla alınan ses seviyesi sinyalleri (Spl) bilgisayara kaydedilmiştir. Kaydedilen sesler Matlab yazılımı ile incelenmiştir. İnceleme zaman alanında ve frekans alanında yapılmıştır. Dinamometre verileri 100 Hz örnekleme frekansında alınmıştır. Bu frekansta çeşitli titreşimlerin tespit edilmesinin zor olduğu ifade edilmektedir. Daha yüksek örnekleme frekansları ile titreşimlerin tespit edilebileceği çeşitli çalışmalarda ifade edilmiştir. Bir çalışmada 40 kHz'den daha yüksek örnekleme frekansları tavsiye edilmiştir [48]. Bu amaçla 44100 Hz örnekleme frekansı ile ses seviyesi sinyalleri bir mikrofon yardımıyla kaydedilmiştir. Mikrofon ile kaydedilen bir ses burulma-eksenel ve yanal tırlama titreşimlerinin, soğutucu akışı, talaş tahliyesi, talaş sıkışması, dönme titreşimlerinin, atölye arka planı, motor, sürücü, hidrolik ve yağlama sistemlerinin seslerini barındırmaktadır [48]. Kaydetme işlemi sonrasında tezgâhın delme işlemine başlayana kadar olan sesler belirlenerek gürültü azaltma yöntemiyle delme sesinden arındırılmıştır.

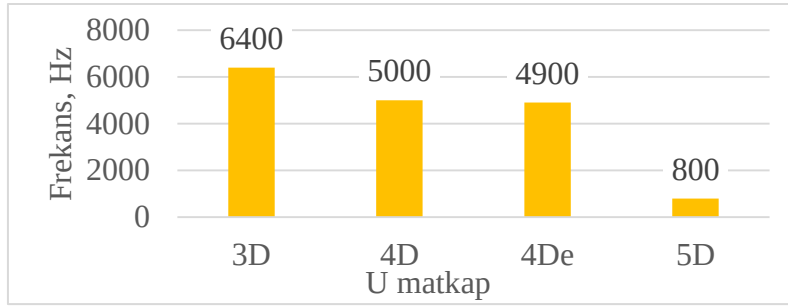
5.9.1. Uzunluk/çap oranına göre Spl'nin değişimi

AA 2024 malzemesinin ıslak koşullarda 200 m/dak – 0,06 mm/dev'de delinen delikler için zaman alanı şekilleri Şekil 5.113'te yer almaktadır. Şekiller incelendiğinde 4De ile elde edilen ses sinyalinin daha düzenli oluşmuşken diğer U matkaplar için sinyallerde ani artma ve azalmalar mevcuttur. Özellikle bu ani artma ve azalmalar 5D için daha fazla olarak sonuçlanmıştır. Bu ani zirve oluşumlarının talaş sıkışması nedeniyle olduğu değerlendirilmiştir.



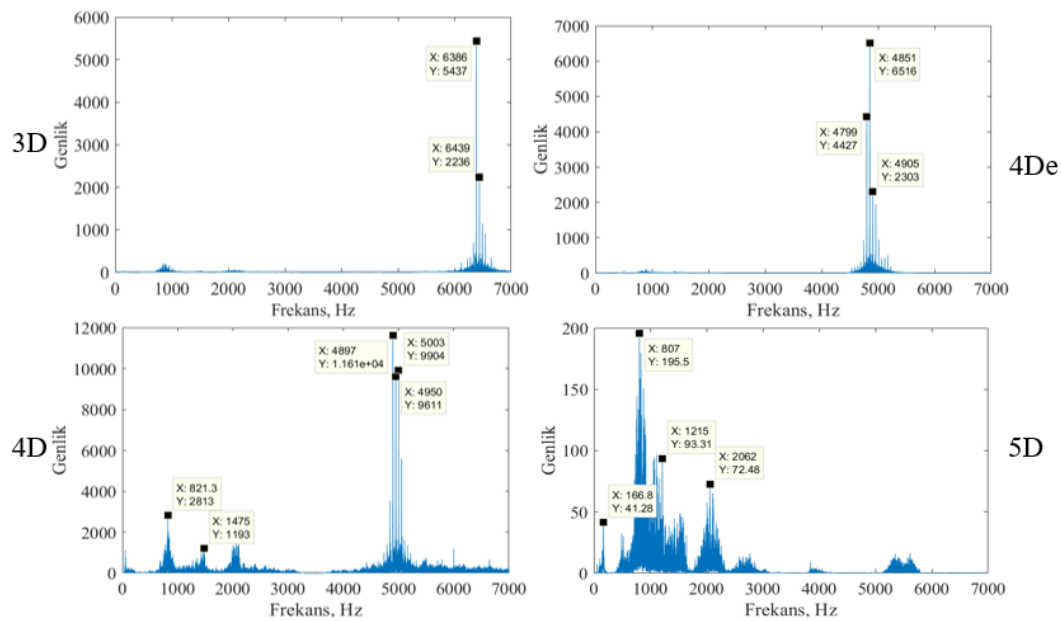
Şekil 5.113. L/D oranına göre Spl değerlerinin zaman alanında değişimi (AA 2024-İslak)

Bir ses sinyalinin frekans spektrumunu incelemek için Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) yapılmaktadır [101]. Bu işlem Matlab yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. U matkaplardan çekiç testi vb. yöntem ile doğal frekansları tespit edilmemiştir. FFT grafiklerinden 3D için baskın frekansın 6400 Hz, 4D için 5000 Hz, 4De için 4900 Hz ve 5D için 800 Hz civarında olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 5.114).



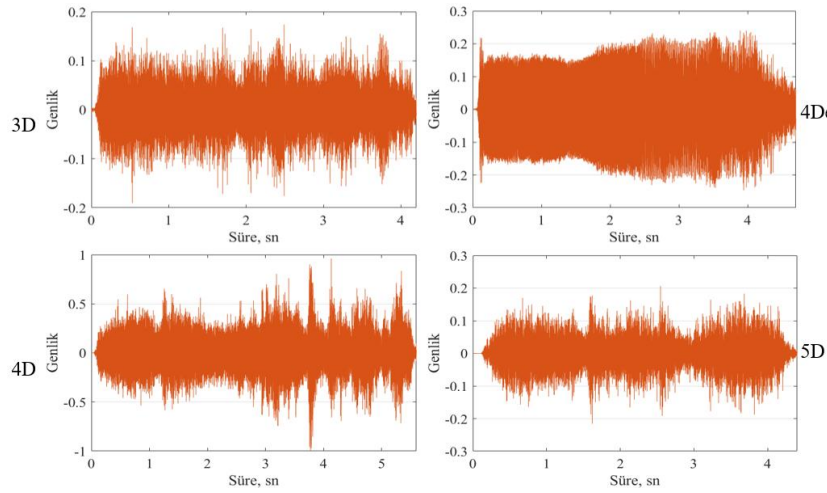
Şekil 5.114. U matkaplar için tespit edilen baskın frekans değerleri

AA 2024 malzemesinin ıslak koşullarda 200 m/dak – 0,06 mm/dev’de delinen delikler için frekans alanı şekilleri Şekil 5.115’de yer almaktadır. Frekans değerleri L/D oranı arttıkça azalmıştır [4]. Bu sonuç literatüre uygundur. Çünkü L/D oranı arttıkça U matkapların doğal frekansları azalmaktadır. Böylelikle daha düşük frekans değerlerinde titreşim meydana gelmektedir. Bu frekanslarda meydana gelen zirvelere ise burulma-eksenel titreşimlerin neden olduğu belirtilmiştir [4].



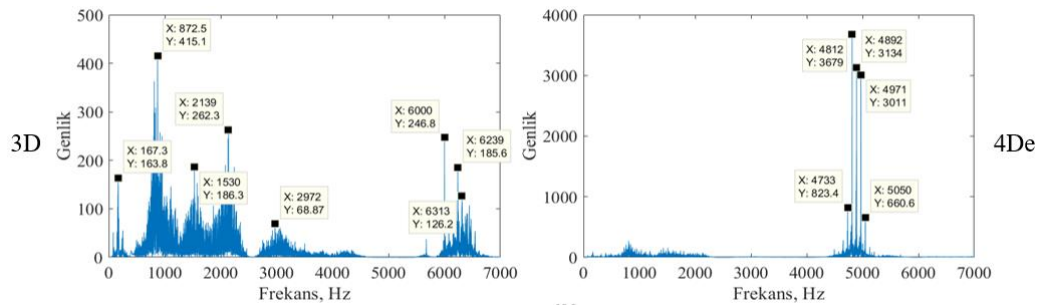
Şekil 5.115. L/D oranına göre Spl değerlerinin frekans alanında değişimi (AA 2024-İslak)

AA 2024 malzemesinin ıslak koşullarda 300 m/dak – 0,12 mm/dev’de delinen delikler için zaman alanı şekilleri Şekil 5.116’da yer almaktadır. Şekiller incelendiğinde 4De ile elde edilen ses sinyalinin daha düzenli oluşmuşken diğer U matkaplar için sinyallerde ani artma ve azalmalar mevcuttur. Özellikle bu ani artma ve azalmalar 5D için daha fazla meydana gelmiştir. Bu ani zirve oluşumlarının talaş sıkışması nedeniyle oluştuğu değerlendirilmiştir.

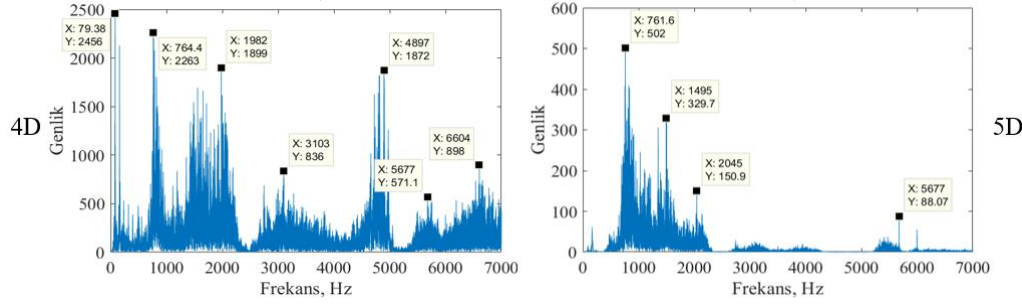


Şekil 5.116. L/D oranına göre Spl değerlerinin zaman alanında değişimi (AA 2024-İslak)

AA 2024 malzemesinin ıslak koşullarda 300 m/dak – 0,12 mm/dev’de delinen delikler için frekans alanı şekilleri Şekil 5.117’de yer almaktadır. Düşük delme parametrelerinde elde edilen frekans şekilleri dikkate alındığında oldukça farklı frekans değerlerinde tepeler oluşmuştur. Bu tepelerin delme parametrelerinin artmasıyla beraber talaş sıkışmaları ve titreşim modlarının etkisiyle oluştuğu değerlendirilmiştir. Soğutucu ve talaş tahliyesi nedeniyle üretilen seslerin tırlama titreşimleri ile kıyaslandığında düşük genliğe sahip olduğu belirtilmiştir [48].

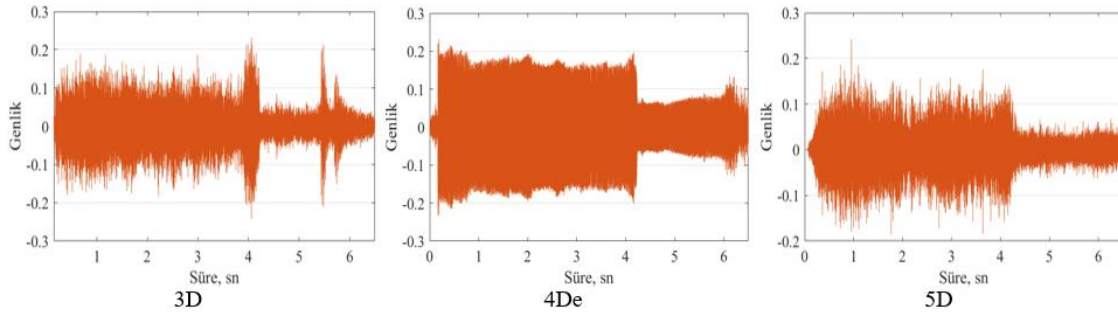


Şekil 5.117. L/D oranına göre Spl değerlerinin frekans alanında değişimi (AA 2024-İslak)



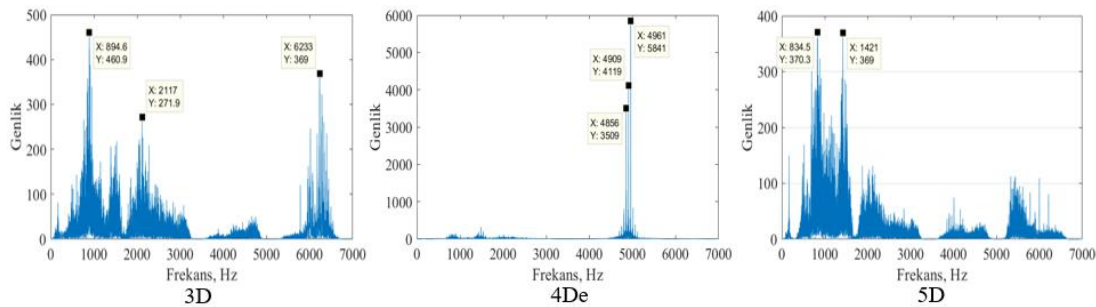
Şekil 5.117. (devam) L/D oranına göre Spl değerlerinin frekans alanında değişimi (AA 2024-İslak)

AA 2024 malzemesinin kuru koşullarda 200 m/dak – 0,12 mm/dev’de delinen delikler için zaman alanı şekilleri Şekil 5.118’de yer almaktadır. Şekiller incelendiğinde 4De ile elde edilen ses sinyalinin daha düzenli oluşmuşken diğer U matkaplar için sinyallerde ani artma ve azalmalar mevcuttur.



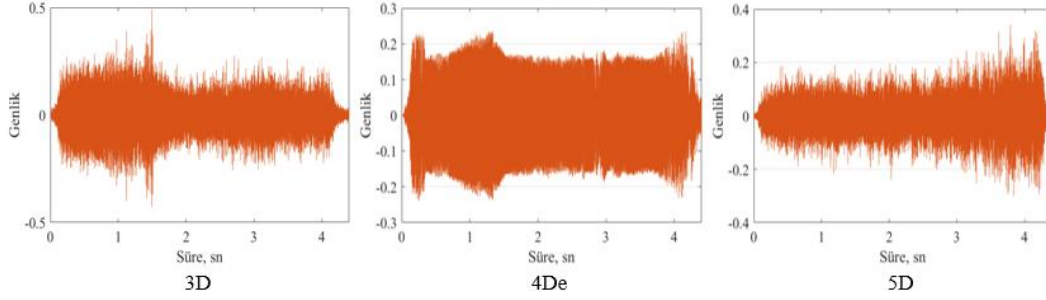
Şekil 5.118. L/D oranına göre Spl değerlerinin zaman alanında değişimi (AA 2024-Kuru)

AA 2024 malzemesinin kuru koşullarda 200 m/dak – 0,12 mm/dev’de delinen delikler için frekans alanı şekilleri Şekil 5.119’da yer almaktadır. 3D için baskın frekans 894,6 Hz ve 6233 Hz 4De için 4961 Hz ve 5D için 834 Hz ve 1421 Hz olarak hesaplanmıştır.



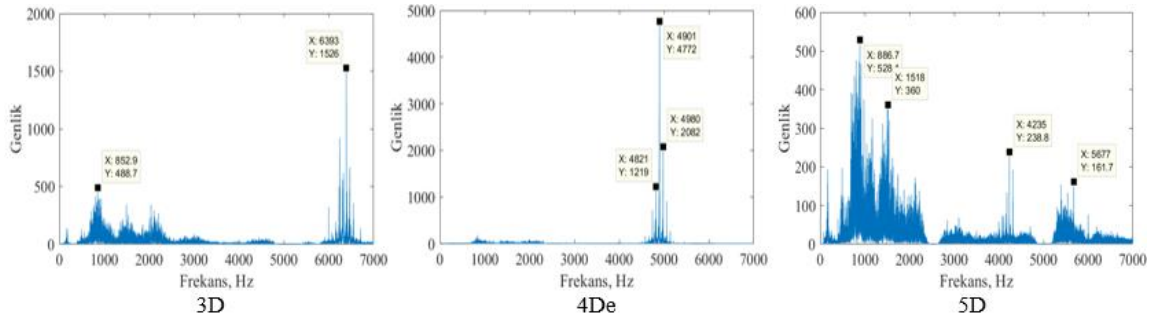
Şekil 5.119. L/D oranına göre Spl değerlerinin frekans alanında değişimi (AA 2024-Kuru)

AA 2024 malzemesinin kuru koşullarda 300 m/dak – 0,12 mm/dev’de delinen delikler için zaman alanı şekilleri Şekil 5.120’de yer almaktadır. Şekiller incelendiğinde 4De ile elde edilen ses sinyalinin daha düzenli oluşmuşken diğer U matkaplar için sinyallerde ani artma ve azalmalar mevcuttur.



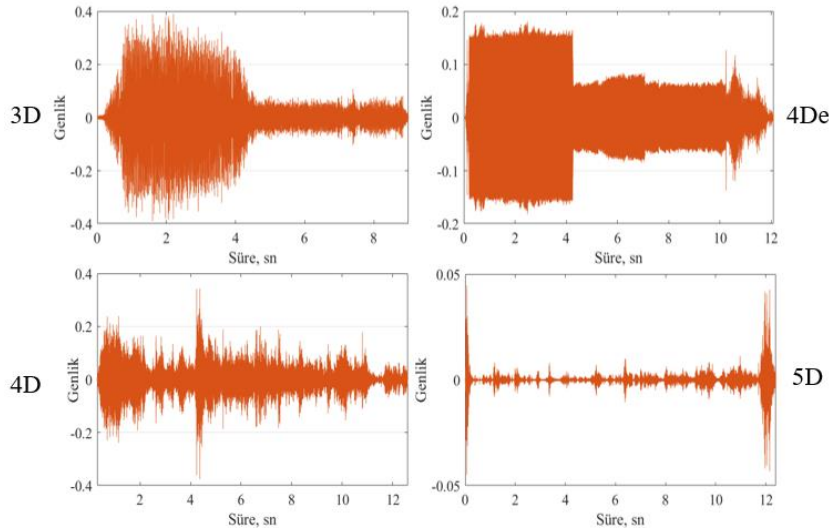
Şekil 5.120. L/D oranına göre Spl değerlerinin zaman alanında değişimi (AA 2024-Kuru)

AA 2024 malzemesinin kuru koşullarda 200 m/dak – 0,12 mm/dev’de delinen delikler için frekans alanı şekilleri Şekil 5.121’de yer almaktadır. 3D için baskın frekans 6393 Hz, 4De için 4901 Hz ve 5D için 886,7 Hz olarak hesaplanmıştır. Talaş sıkışmasının sönümlemeye neden olduğu ifade edilmiştir [48]. Sönümlemenin ise tırlama dinamiğini değiştirerek titreşim seviyesini azaltıcı etkisi bulunabilmektedir.



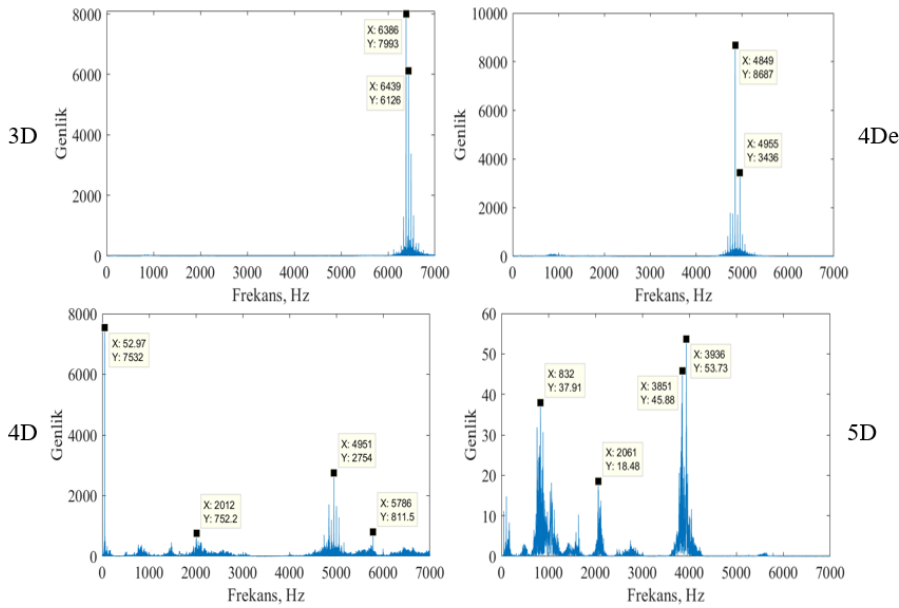
Şekil 5.121. L/D oranına göre Spl değerlerinin frekans alanında değişimi (AA 2024-Kuru)

AA 7075 malzemesinin ıslak koşullarda 200 m/dak – 0,06 mm/dev’de delinen delikler için zaman alanı şekilleri Şekil 5.122’de yer almaktadır. Şekiller incelendiğinde U matkaplar için sinyallerde ani artma ve azalmalar mevcuttur. Bu ani zirve oluşumlarının talaş sıkışması nedeniyle olduğu değerlendirilmiştir.



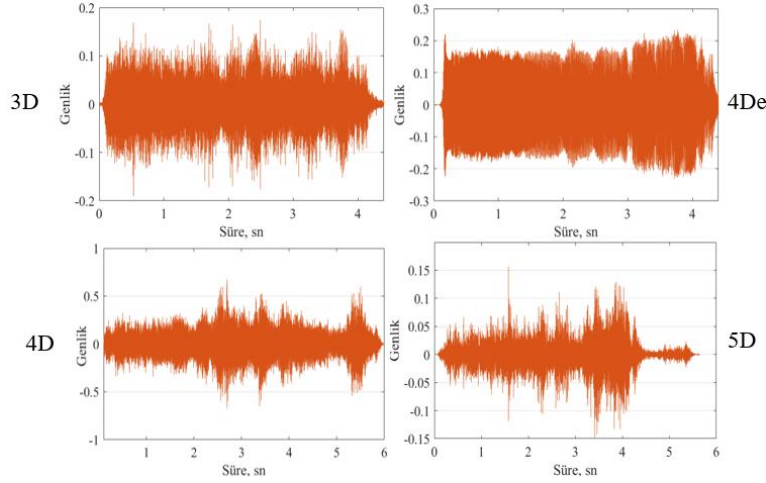
Şekil 5.122. AA 7075 malzemesi için zaman alanı (Islak - 200 m/dak – 0,06 mm/dev)

AA 7075 malzemesinin ıslak koşullarda 200 m/dak – 0,06 mm/dev’de delinen delikler için frekans alanı şekilleri Şekil 5.123’te yer almaktadır. 3D için baskın frekans 6386 Hz, 4D için 52,97 Hz, 4De için 4849 Hz ve 5D için 3936 Hz olarak hesaplanmıştır.



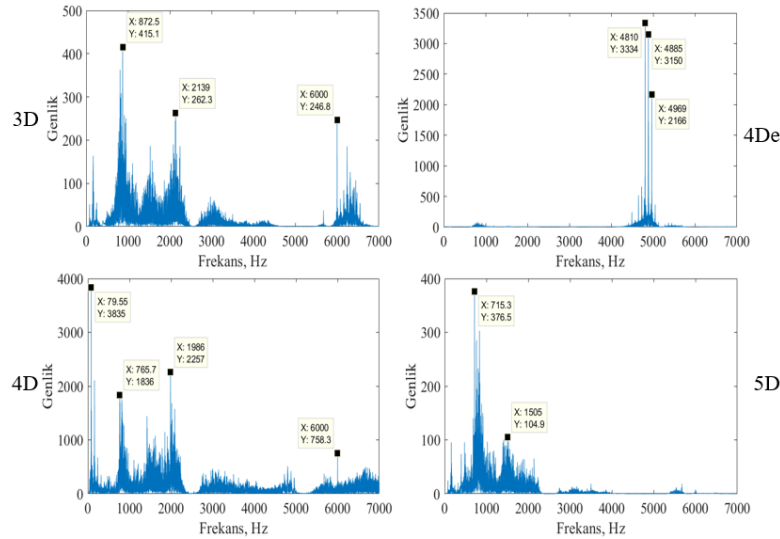
Şekil 5.123. AA 7075 malzemesi için frekans alanı (Islak - 200 m/dak – 0,06 mm/dev)

AA 7075 malzemesinin ıslak koşullarda 300 m/dak – 0,12 mm/dev’de delinen delikler için zaman alanı şekilleri Şekil 5.124’de yer almaktadır. Şekiller incelendiğinde U matkaplar için sinyallerde ani artma ve azalmalar mevcuttur. Bu ani zirve oluşumlarının talaş sıkışması nedeniyle olduğu değerlendirilmiştir.



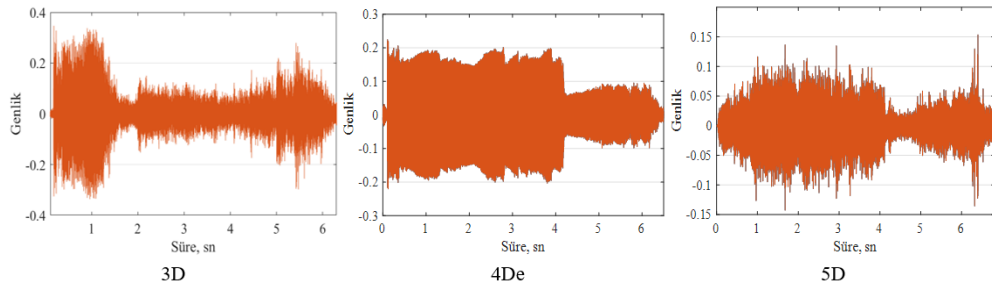
Şekil 5.124. AA 7075 malzemesi için zaman alanı (Islak - 300 m/dak – 0,12 mm/dev)

AA 7075 malzemesinin ıslak koşullarda 300 m/dak – 0,12 mm/dev’de delinen delikler için frekans alanı şekilleri Şekil 5.125’te yer almaktadır. Düşük delme parametrelerinde elde edilen frekans şekilleri dikkate alındığında oldukça farklı frekans değerlerinde tepeler oluşmuştur. Bu tepelerin delme parametrelerinin artmasıyla beraber talaş sıkışmaları ve titreşim modlarının etkisiyle olduğu değerlendirilmiştir. Titreşim seviyesinin artması ise ses şiddetinin artmasına neden olmuştur [102, 103].



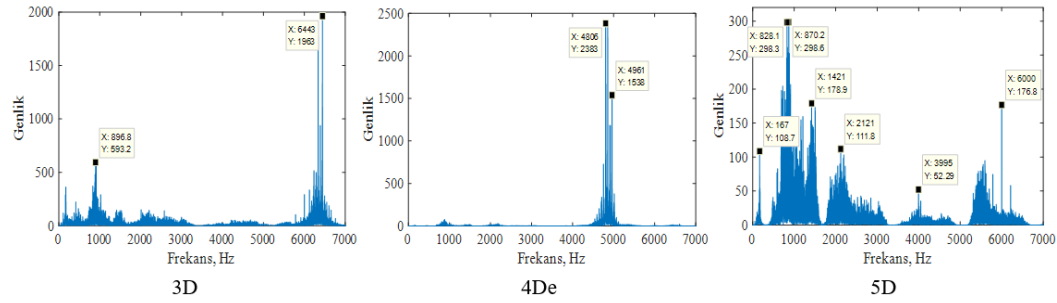
Şekil 5.125. AA 7075 malzemesi için frekans alanı (Islak - 300 m/dak – 0,12 mm/dev)

AA 7075 malzemesinin kuru koşullarda 200 m/dak – 0,12 mm/dev’de delinen delikler için zaman alanı şekilleri Şekil 5.126’da yer almaktadır. Şekiller incelendiğinde 4De ile elde edilen ses sinyalinin daha düzenli oluşmuşken diğer U matkaplar için sinyallerde ani artma ve azalmalar mevcuttur.



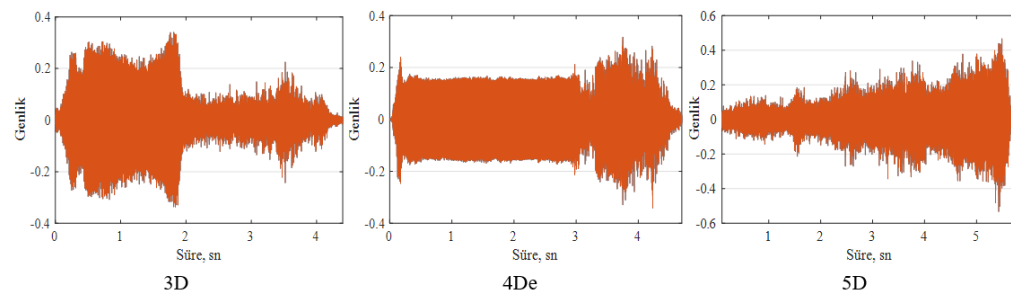
Şekil 5.126. AA 7075 malzemesi için zaman alanı (Kuru - 200 m/dak – 0,12 mm/dev)

AA 7075 malzemesinin kuru koşullarda 200 m/dak – 0,12 mm/dev’de delinen delikler için frekans alanı şekilleri Şekil 5.127’de yer almaktadır. 3D için baskın frekans 6443 Hz 4De için 4806 Hz ve 5D için 870,2 Hz olarak hesaplanmıştır.



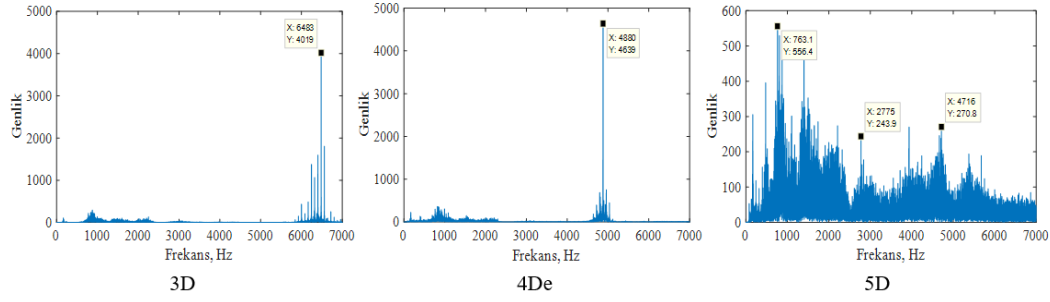
Şekil 5.127. AA 7075 malzemesi için frekans alanı (Kuru - 200 m/dak – 0,12 mm/dev)

AA 7075 malzemesinin kuru koşullarda 300 m/dak – 0,12 mm/dev’de delinen delikler için zaman alanı şekilleri Şekil 5.128’de yer almaktadır.



Şekil 5.128. AA 7075 malzemesi için zaman alanı (Kuru - 300 m/dak – 0,12 mm/dev)

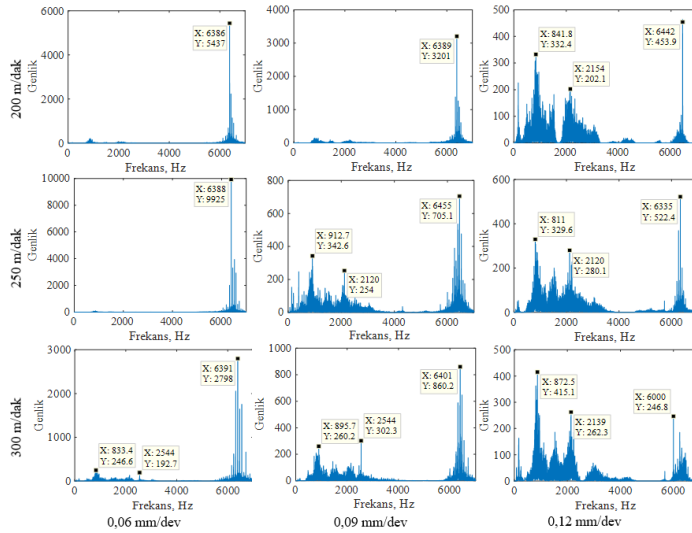
AA 7075 malzemesinin kuru koşullarda 300 m/dak – 0,12 mm/dev’de delinen delikler için frekans alanı şekilleri Şekil 5.129’da yer almaktadır. 3D için baskın frekans 6483 Hz 4De için 4880 Hz ve 5D için 763,1 Hz olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.129. AA 7075 malzemesi için frekans alanı (Kuru - 300 m/dak – 0,12 mm/dev)

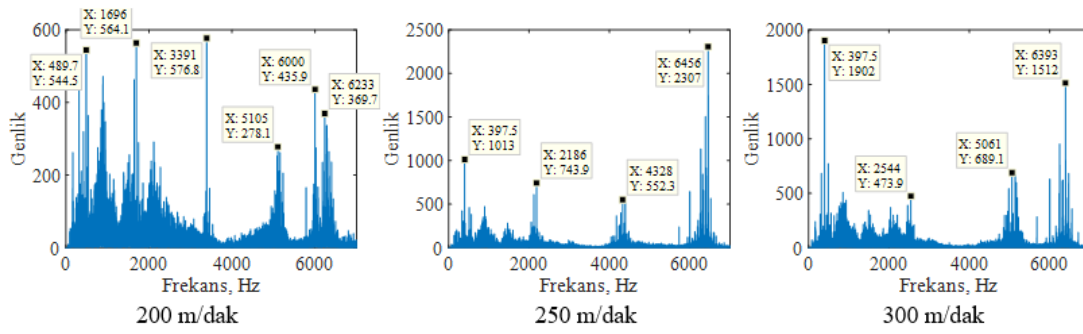
5.9.2. Vc ve f'ye göre Spl'nin değişimi

AA 2024 malzemesinin ıslak koşullarda 3D ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.130'da bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde Vc'nin artmasıyla beraber frekans değerlerinde çok büyük bir değişiklik gözlenmezken f'nin artmasıyla beraber düşük frekansların genliklerinde artmalar meydana gelmiştir. Bu artışlar genellikle 0,12 mm/dev'de daha fazla artmıştır. 800 Hz civarı ve 2100 Hz civarında belirgin genlikte artışlar söz konusu olmuştur. Bu artışların talaşların sıvanmasından ve/veya farklı titreşim modlarının etkin olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Vc ve f değerindeki artış ile beraber Spl değerleri artmıştır [102].



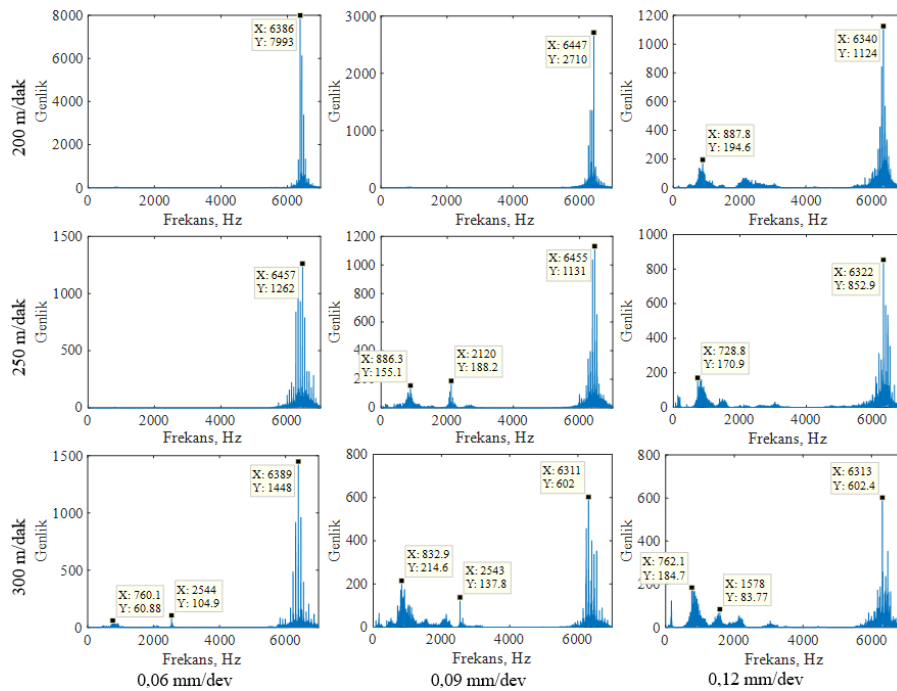
Şekil 5.130. AA 2024 malzemesinin 3D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak)

AA 2024 malzemesinin kuru koşullarda 3D ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.131'de bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde Vc'nin artmasıyla beraber frekans değerlerinde çok büyük bir değişiklik gözlenmemiştir.



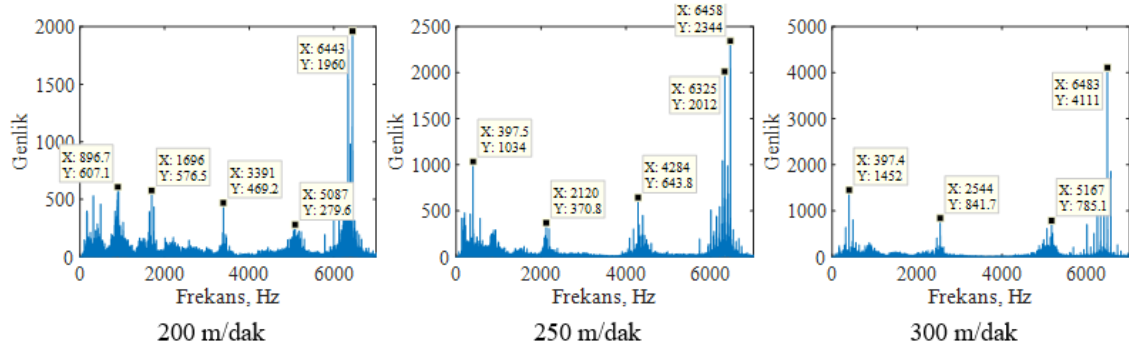
Şekil 5.131. AA 2024 malzemesinin 3D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Kuru)

AA 7075 malzemesinin ıslak koşullarda 3D ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.132’de bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde V_c ’nin artmasıyla beraber frekans değerlerinde çok büyük bir değişiklik gözlenmezken f ’nin artmasıyla beraber düşük frekansların genliklerinde artmalar meydana gelmiştir. Bu artışlar genellikle 0,12 mm/dev’de daha fazla artmıştır. Bu artışların talaşların sıvanmasından ve/veya farklı titreşim modlarının etkin olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.



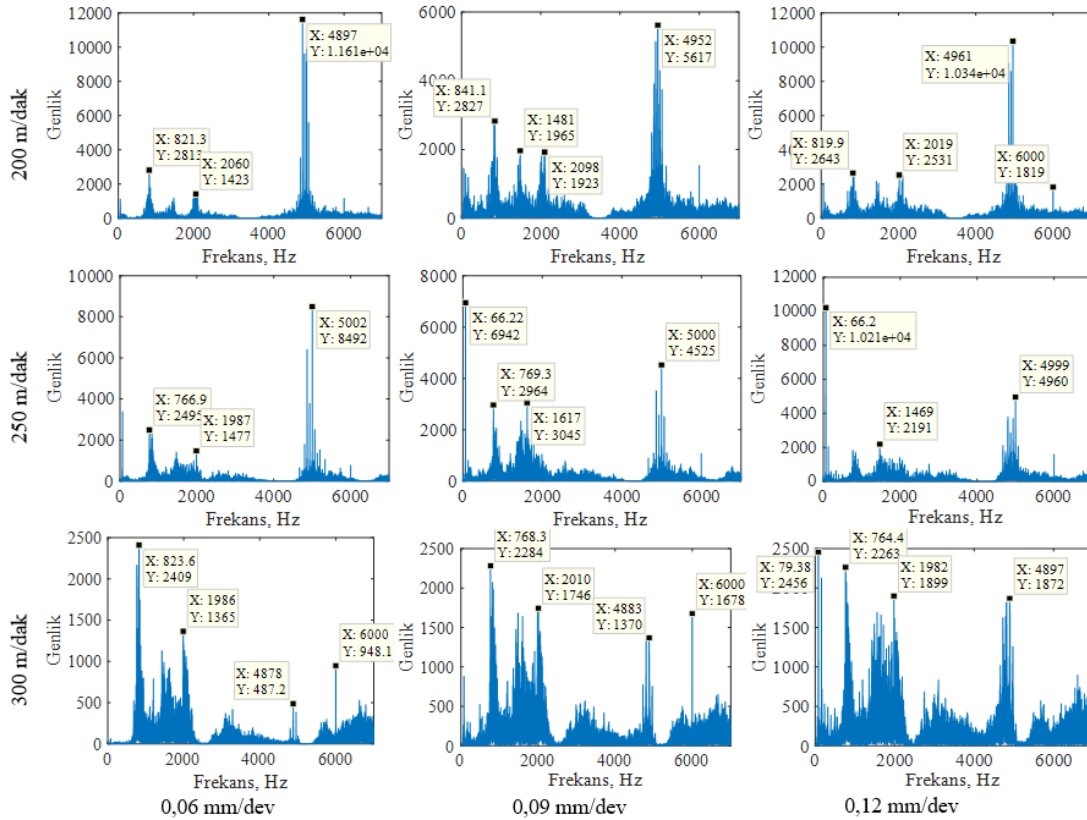
Şekil 5.132. AA 7075 malzemesinin 3D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak)

AA 7075 malzemesinin kuru koşullarda 3D ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.133’te bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde V_c ’nin artmasıyla beraber frekans değerlerinde çok büyük bir değişiklikler gözlenmemiştir.



Şekil 5.133. AA 7075 malzemesinin 3D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Kuru)

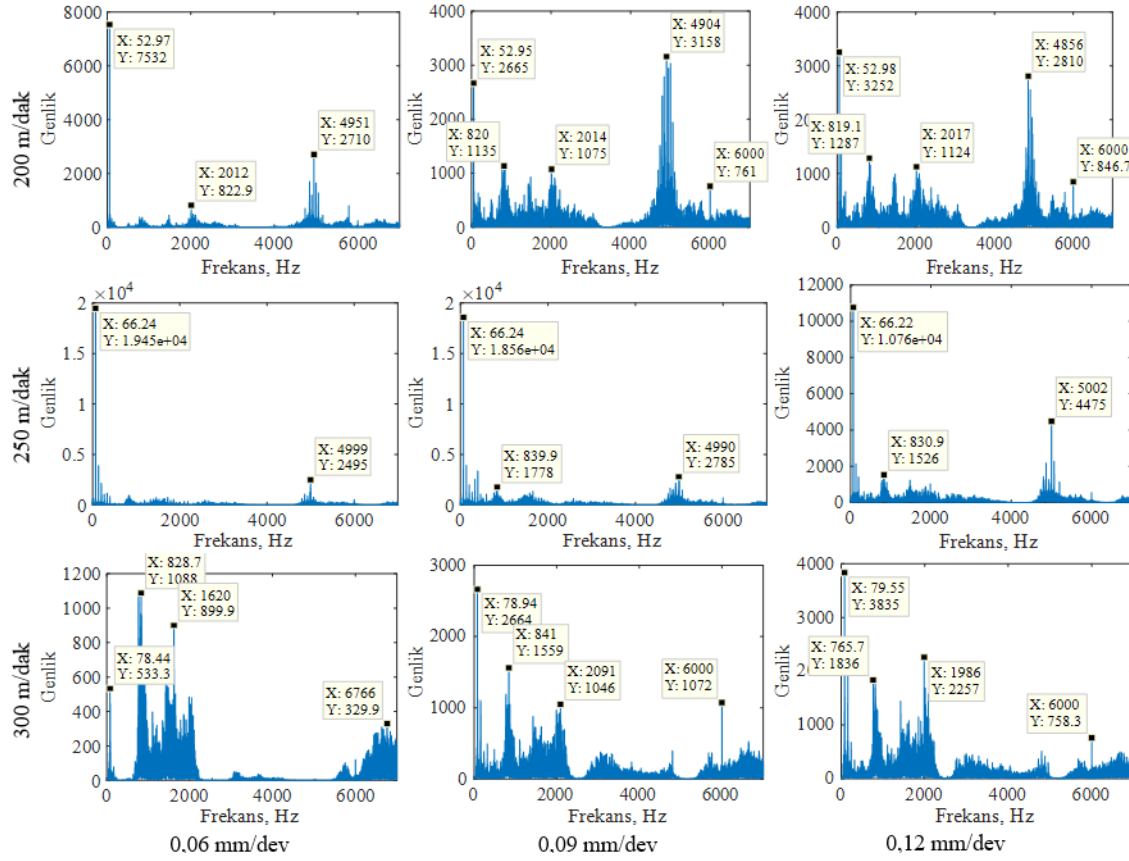
AA 2024 malzemesinin ıslak koşullarda 4D ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.134’de bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde V_c ’nin artmasıyla beraber 300 m/dak değerinde frekans değerlerinin yoğunluğu çok fazla artmıştır. f ’nin artmasıyla beraber düşük frekansların genliklerinde belirgin şekilde artmalar meydana gelmiştir.



Şekil 5.134. AA 2024 malzemesinin 4D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak)

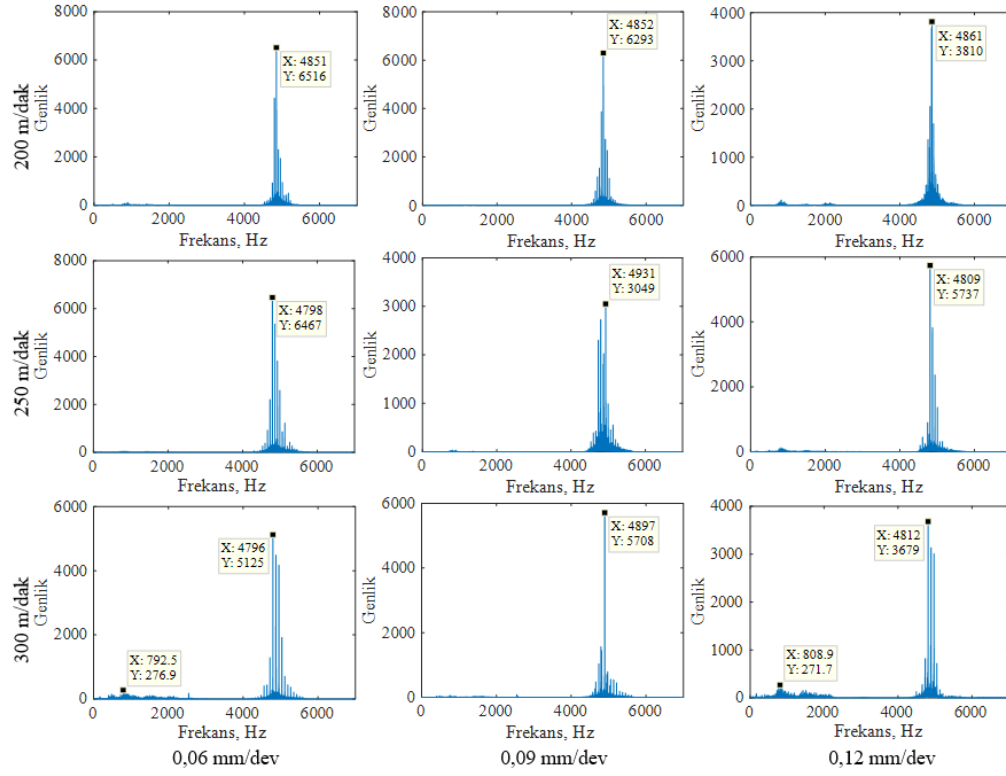
AA 7075 malzemesinin ıslak koşullarda 4D ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.135’te bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde V_c ’nin artmasıyla beraber 300 m/dak

değerinde frekans değerlerinin yoğunluğu çok fazla artmıştır. f' 'nin artmasıyla beraber düşük frekansların genliklerinde belirgin şekilde artmalar meydana gelmiştir.



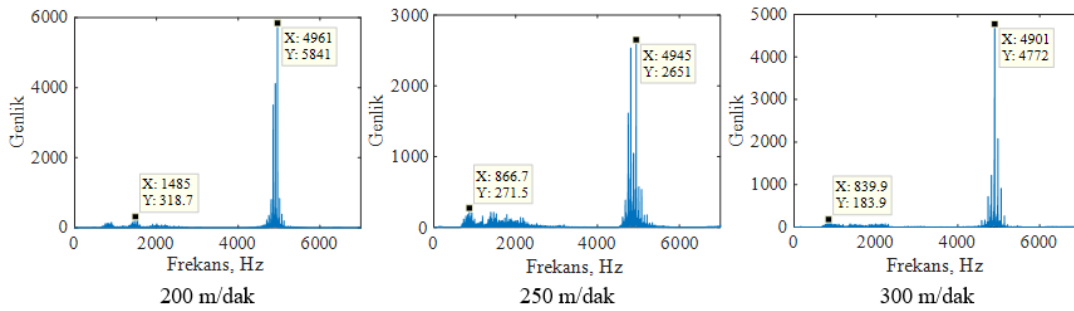
Şekil 5.135. AA 7075 malzemesinin 4D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak)

AA 2024 malzemesinin ıslak koşullarda 4De ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.136'da bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde V_c 'nin ve f' 'nin artmasıyla beraber frekans değerlerinde belirgin değişiklikler meydana gelmemiştir. Diğer U matkaplara göre 4De U matkap ile yapılan delme işlemlerinde talaşların sıvanması ve/veya farklı titreşim modlarının etkin olması daha az miktarda meydana gelmiştir. Bundan dolayı frekans değerlerinde belirgin değişikliklerin meydana gelmediği değerlendirilmiştir.



Şekil 5.136. AA 2024 malzemesinin 4De ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak)

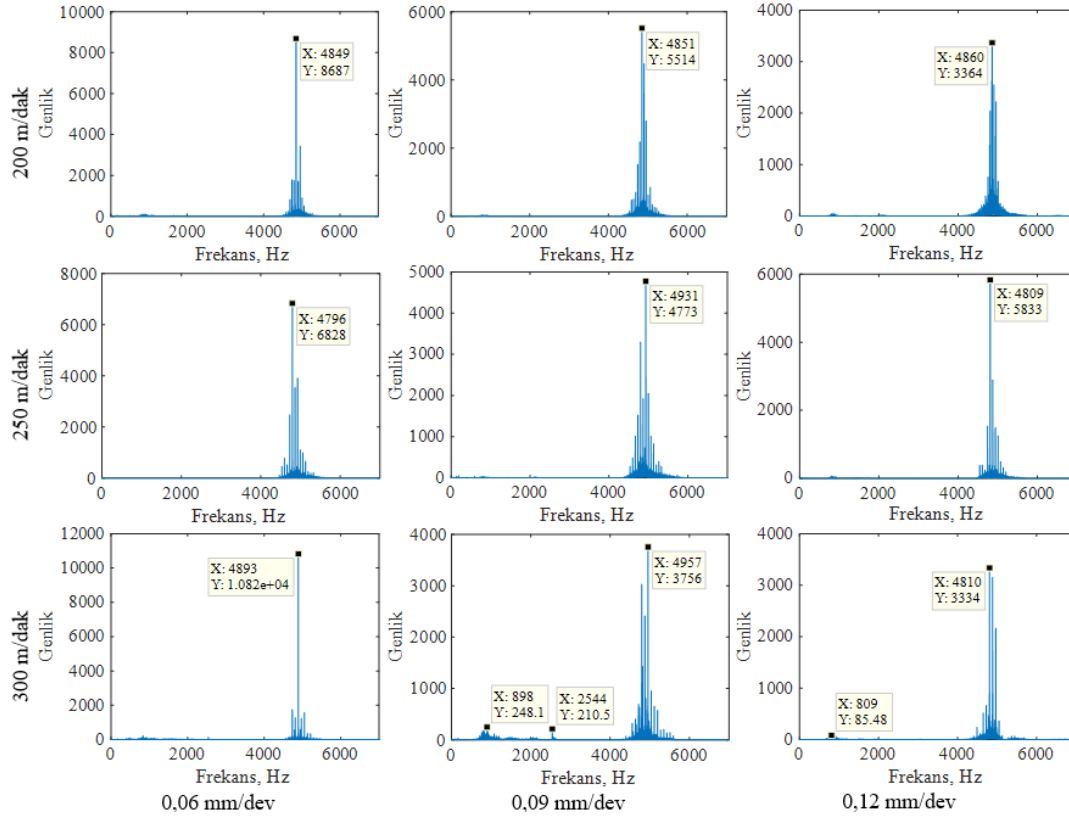
AA 2024 malzemesinin kuru koşullarda 4De ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.137’de bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde V_c ’nin artmasıyla beraber frekans değerlerinde çok büyük bir değişiklikler gözlenmemiştir. 200 m/dak kesme hızında 1485 Hz civarında genlikte tepeler oluşmuşken kesme hızının artmasıyla beraber 850 Hz civarında genlikte tepeler küçük de olsa oluşmuştur.



Şekil 5.137. AA 2024 malzemesinin 4De ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Kuru)

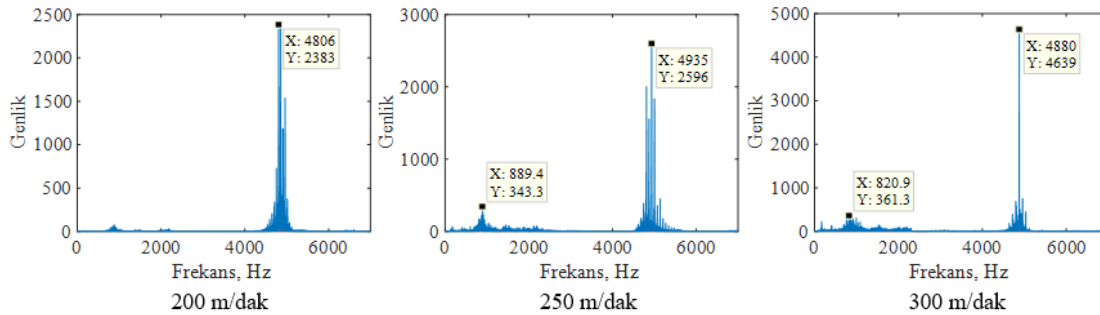
AA 7075 malzemesinin ıslak koşullarda 4De ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.138’de bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde V_c ’nin ve f ’nin artmasıyla beraber frekans değerlerinde belirgin değişiklikler meydana gelmemiştir. Diğer U matkaplara göre 4De U matkap ile yapılan delme işlemlerinde talaşların sıvanması ve/veya farklı titreşim

modlarının etkin olması daha az miktarda meydana gelmiştir. Bundan dolayı frekans değerlerinde belirgin değişikliklerin meydana gelmediği değerlendirilmiştir.



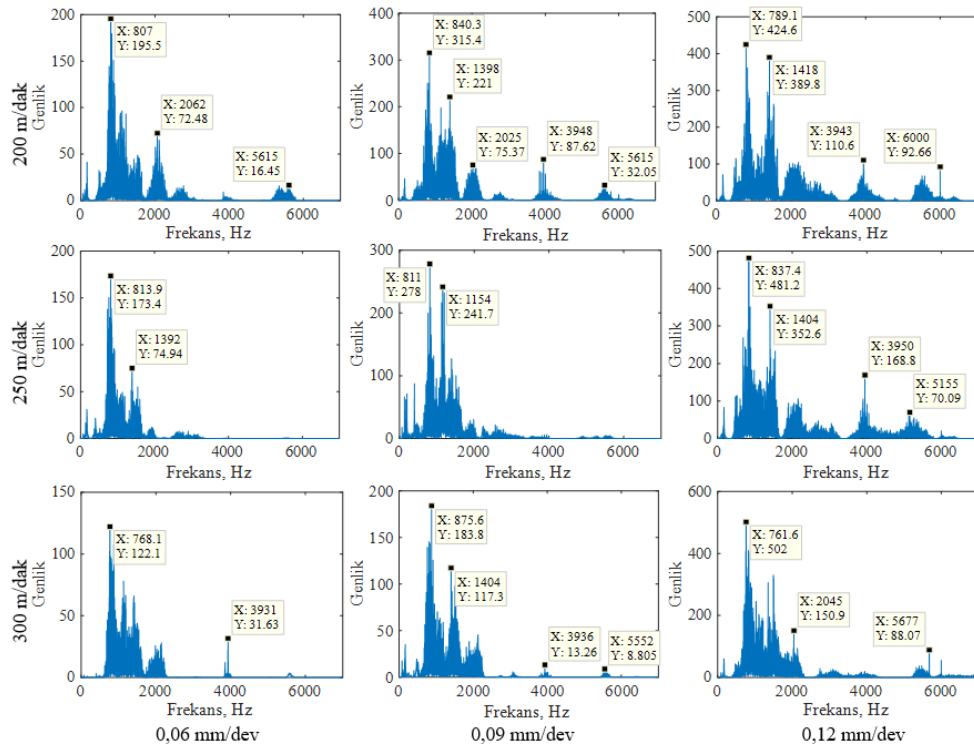
Şekil 5.138. AA 7075 malzemesinin 4De ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak)

AA 7075 malzemesinin kuru koşullarda 4De ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.139’da bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde V_c ’nin artmasıyla beraber frekans değerlerinde çok büyük bir değişiklikler gözlenmemiştir. Kesme hızının artmasıyla beraber 850 Hz civarında genlikte küçük de olsa yoğun tepeler oluşmuştur.



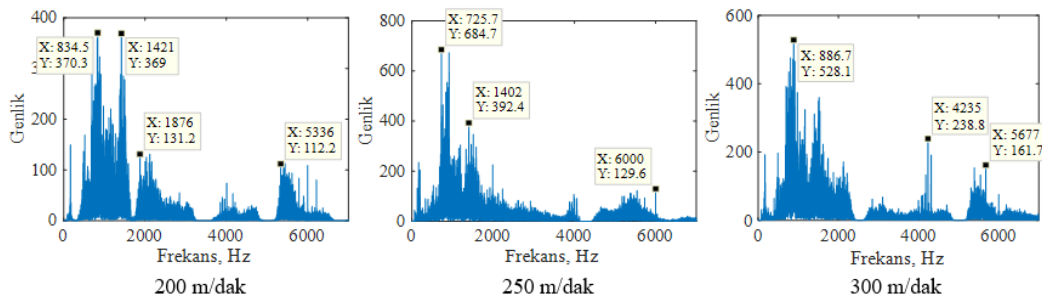
Şekil 5.139. AA 7075 malzemesinin 4De ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Kuru)

AA 2024 malzemesinin ıslak koşullarda 5D ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.140'da bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde V_c 'nin artmasıyla beraber yüksek frekans değerlerinde düşmeler meydana gelmiştir. f_n 'nin artmasıyla beraber yüksek frekanslarda genlikte artışlar meydana gelmiştir. 5D U matkaba talaş sıvanmasının ve/veya yapışmasının ilerleme miktarının artmasıyla arttığı, kesme hızının artması ile azaldığı değerlendirilmiştir.



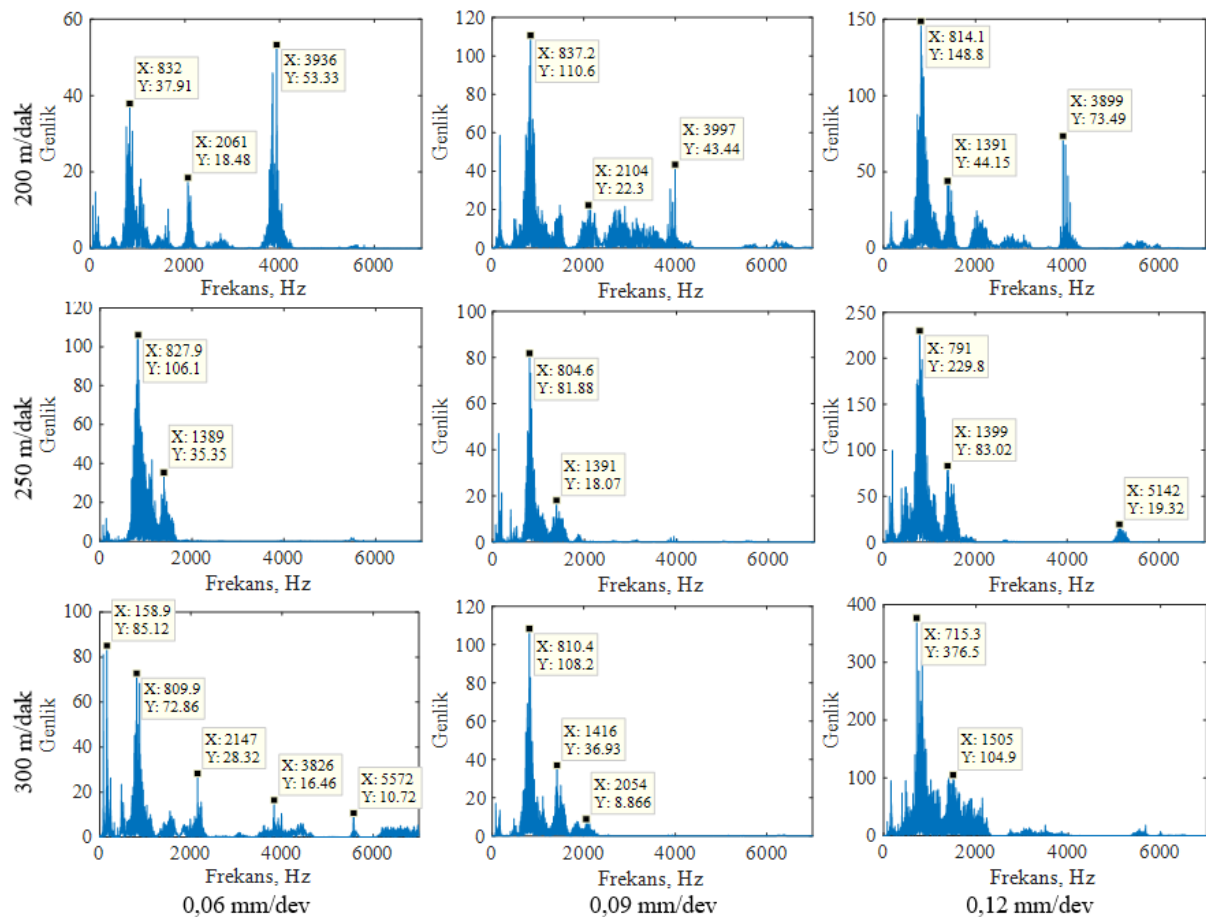
Şekil 5.140. AA 2024 malzemesinin 5D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak)

AA 2024 malzemesinin kuru koşullarda 5D ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.141'de bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde V_c 'nin artmasıyla beraber frekans değerlerinde çok büyük bir değişiklikler gözlenmemiştir.



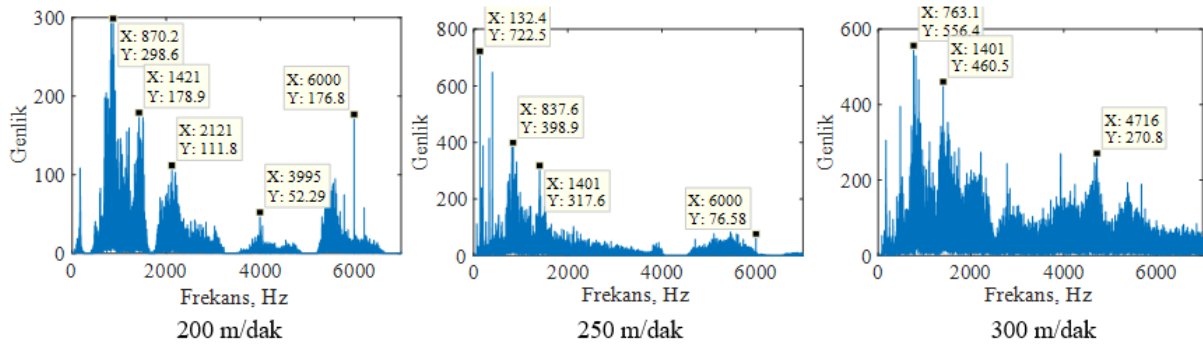
Şekil 5.141. AA 2024 malzemesinin 5D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Kuru)

AA 7075 malzemesinin ıslak koşullarda 5D ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.142’de bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde V_c ’nin artmasıyla beraber yüksek frekans değerlerinde düşmeler meydana gelmiştir. f ’nin artmasıyla beraber yüksek frekanslarda genlikte artışlar meydana gelmiştir. 5D U matkaba talaş sıvanmasının ve/veya yapışmasının ilerleme miktarının artmasıyla arttığı, kesme hızının artması ile 300 m/dak kesme hızı ve 0,06 mm/dev ilerleme miktarı dışında azaldığı değerlendirilmiştir.



Şekil 5.142. AA 7075 malzemesinin 5D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak)

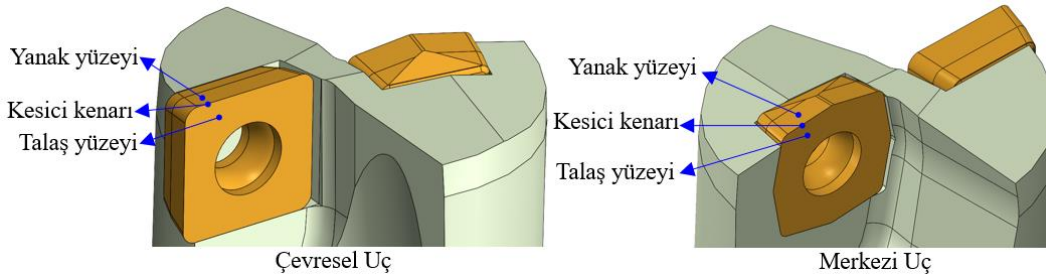
AA 7075 malzemesinin kuru koşullarda 5D ile delinmesinde elde edilen frekans grafikleri Şekil 5.143’te bulunmaktadır. Şekil incelendiğinde V_c ’nin artmasıyla beraber frekans değerlerinin genlik seviyelerinde oldukça büyük miktarda yoğunlaşmalar meydana gelmiştir. Özellikle bu yoğunlaşmalar 300 m/dak kesme hızında oldukça fazlaştırmıştır.



Şekil 5.143. AA 7075 malzemesinin 5D ile delinmesinde elde edilen frekanslar (Islak)

5.10. Kesici görünümü, delik çıkışı elde edilen kapak ve talaşların değerlendirilmesi

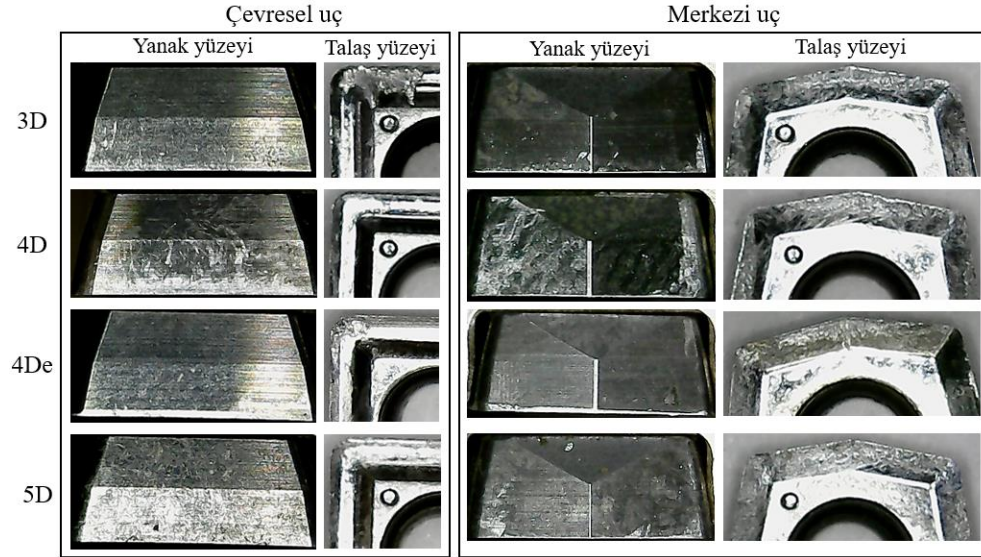
Delme deneyleri esnasında meydana çıkan talaşlar ve delik sonlarındaki kapaklar tüm deneyler için toplanmıştır. Ayrıca her deneyde kullanılan kesici uçlar numaralandırılarak görselleri alınmıştır. Şekil 5.144’de kesici uç bölgelerinin şekli yer almaktadır. Delik tabanından ısı çift (termokupl) ile yapılan sıcaklık ölçümlerinde ise merkezde sıcaklıklar en yüksek sonuçlanmışken, merkezden uzaklaştıkça sıcaklık değerleri düşmüştür [100].



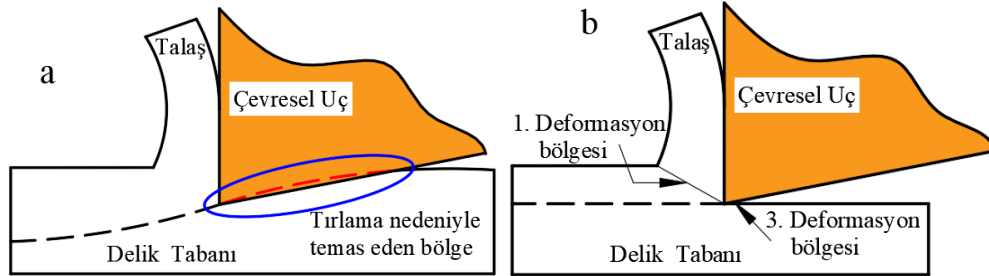
Şekil 5.144. Kesici uç bölgeleri

AA 2024 malzemesinin ıslak koşullarda 200 m/dak ve 0,06 mm/dev’de kullanılan kesici uçların görüntüleri Resim 5.2’de yer almaktadır. Resim incelendiğinde 4De çevresel ve merkezi kesici ucun yanak yüzeylerinde, kesimden etkilenen bölge (3. deformasyon bölgesi) diğerlerine göre daha geniş görünmektedir. Tırlamalı ve normal kesimde kesicinin izlediği yol Şekil 5.145’te bulunmaktadır. 4De de bulunan ekstra soğutucu deliğin neden olduğu tırlama kesimden etkilenen bölgenin diğerlerine göre daha büyük çıkmasına sebep olmuş olabilir. Kesici uçların talaş yüzeyleri incelendiğinde her ne kadar kesici uçlar kaplamasız ve alüminyum alaşımı işlemeye uygun uç olsalar da kesilen malzeme sıvanmaları talaş yüzeyinde görülmektedir. Ancak bu sıvanma veya bulaşmalar her hangi bir aşınmaya neden olmamıştır. Yapılan bir çalışmada molibdenli bir çeliğin çapı 17 mm olan U matkap ile ıslak

koşullarda delinmesinde en fazla aşınma çevresel uçta meydana gelmişken, kuru koşullarda merkezi uçta meydana gelmiştir. Merkezi uç için aşınma ise en fazla talaş yüzeyinde meydana gelmiştir [100].

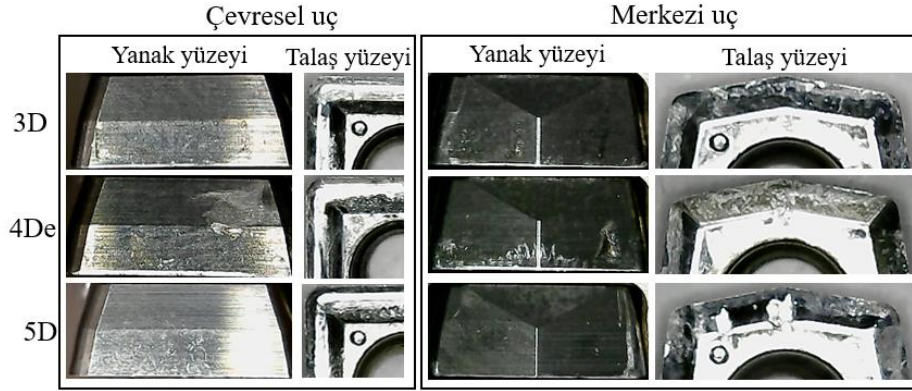


Resim 5.2. AA 2024 malzemesinin delindiği kesici uçlar (200 m/dak – 0,06 mm/dev)



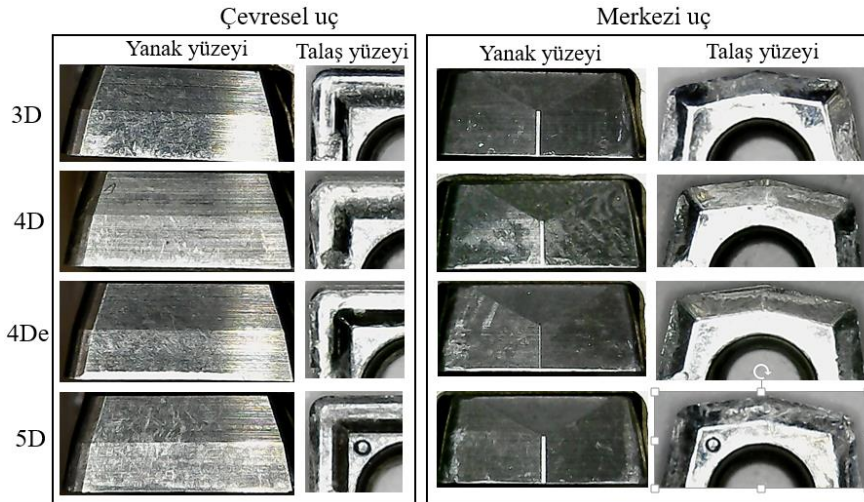
Şekil 5.145. Kesicinin izlediği yol, a) Tırlamalı kesim, b) Normal kesim

AA 2024 malzemesinin 200 m/dak ve 0,12 mm/dev’de kuru delmede kullanılan kesici uçların görüntüleri Resim 5.3’te yer almaktadır. Resim incelendiğinde 4De çevresel kesici ucun yanak yüzeyinde, kesici kenarın kesimden etkilenen kısmı diğerlerine göre daha geniş görünmektedir. Bu duruma 4De de bulunan ekstra soğutucu deliğin neden olduğu değerlendirilmiştir. Çünkü daha fazla tırlama 4De ile meydana gelmiştir. Kesici uçların talaş yüzeylerinde sıvanmalar meydana gelmekle beraber herhangi bir hasar veya aşınma meydana gelmemiştir. 5D merkezi ve çevresel ucun yanak yüzeylerinde daha az miktarda sıvanma meydana gelmiştir.



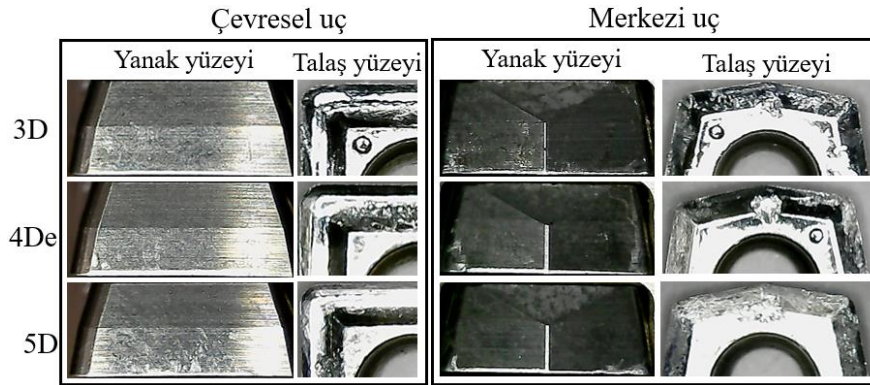
Resim 5.3. AA 2024 malzemesinin delindiği kesici uçlar (200 m/dak - Kuru)

AA 2024 malzemesinin 300 m/dak ve 0,12 mm/dev’de kullanılan kesici uçların görüntüleri Resim 5.4’de yer almaktadır. Resim incelendiğinde 4De çevresel kesici ucun yanak yüzeyinde, kesici kenarın kesimden etkilenen kısmı diğerlerine göre daha geniş görünmektedir. Bu duruma 4De de bulunan ekstra soğutucu kanalın neden olduğu değerlendirilmiştir. Vc ve f’te ki artmaya bağlı olarak kesimden etkilenen bölge artmıştır.



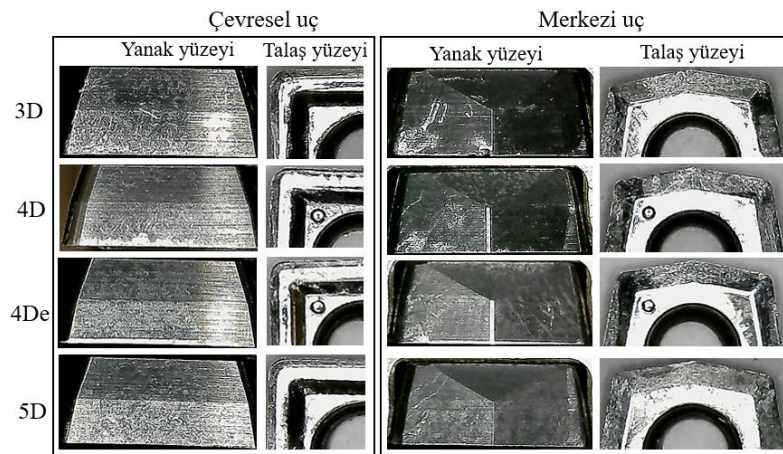
Resim 5.4. AA 2024 malzemesinin delindiği kesici uçlar (300 m/dak – 0,12 mm/dev)

AA 2024 malzemesinin 250 m/dak ve 0,12 mm/dev’de kuru delmede kullanılan kesici uçların görüntüleri Resim 5.5’te yer almaktadır. Resim incelendiğinde 4De çevresel kesici ucun yanak yüzeyinde, kesici kenarın kesimden etkilenen kısmı diğerlerine göre daha geniş görünmektedir. Bu duruma 4De de bulunan ekstra soğutucu kanalın neden olduğu değerlendirilmiştir. Kesici uçların talaş yüzeylerinde sıvanmalar meydana gelmiştir. Özellikle merkezi ucun talaş yüzeyinin orta kısmındaki sıvanmalar dikkat çekmektedir.



Resim 5.5. AA 2024 malzemesinin delindiği kesici uçlar (250 m/dak - Kuru)

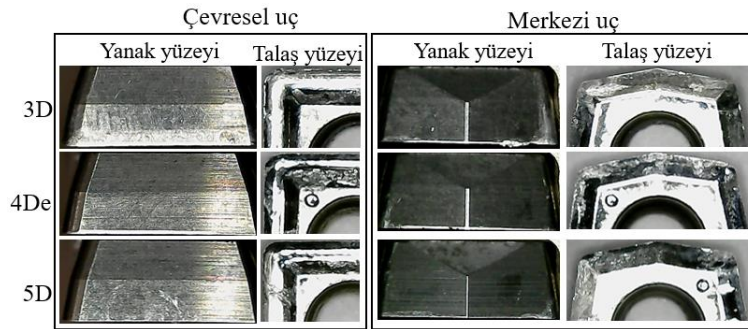
AA 7075 malzemesinin 200 m/dak ve 0,06 mm/dev’de kullanılan kesici uçların görüntüleri Resim 5.6’da yer almaktadır. Resim incelendiğinde 4De çevresel ve merkezi kesici ucun yanak yüzeylerinde, kesici kenarın kesimden etkilenen kısmı diğerlerine göre daha geniş görünmektedir. Bu duruma 4De de bulunan ekstra soğutucu kanalın neden olduğu değerlendirilmiştir. Kesici uçların talaş yüzeyleri incelendiğinde her ne kadar kesici uçlar kaplamasız ve alüminyum alaşımı işlemeye uygun uç olsalar da kesilen malzeme sıvanmaları talaş yüzeyinde görülmektedir. 3D merkezi ucun yanak yüzeyinin alt ortasında bir tanecik kopması (chipping) meydana gelmiştir. Bu olay düşük V_c ve düşük f değerinde meydana gelmiştir. Adezyon nedeniyle meydana gelen yığıntı talaşın oluşması ve koparken kesici uç parçasının mekanik olarak ayrılması sonucu bu durumun meydana geldiği değerlendirilmiştir [53]. Diğer kesici uçlarda böyle bir durum meydana gelmemiştir.



Resim 5.6. AA 7075 malzemesinin delindiği kesici uçlar (200 m/dak – 0,06 mm/dev)

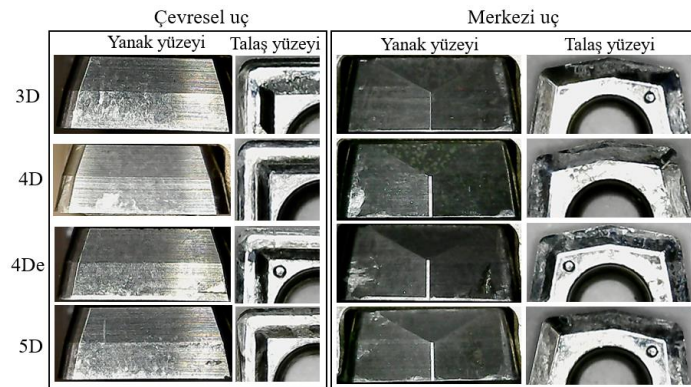
AA 7075 malzemesinin 200 m/dak ve 0,12 mm/dev’de kuru şartlarda delinmesinde kullanılan kesici uçların görüntüleri Resim 5.7’de yer almaktadır. Resim incelendiğinde 4De

Çevresel kesici ucun yanak yüzeyinde, kesici kenarın kesimden etkilenen kısmı diğerklerine göre daha geniş görünmektedir. Bu duruma 4De de bulunan ekstra soğutucu kanalın neden olduğu değerlendirilmiştir. Kesici uçların talaş yüzeylerinde sıvanmalar meydana gelmiştir. Merkezi uçların yanak yüzeyleri incelendiğinde tanecik kopması (chipping) kesici uçlarda meydana gelmiştir. Bunlarda AA 7075 malzemesinin mukavemetinin daha iyi olması nedeniyle meydana geldiği değerlendirilmiştir.



Resim 5.7. AA 7075 malzemesinin delindiği kesici uçlar (200 m/dak – 0,12 mm/dev - Kuru)

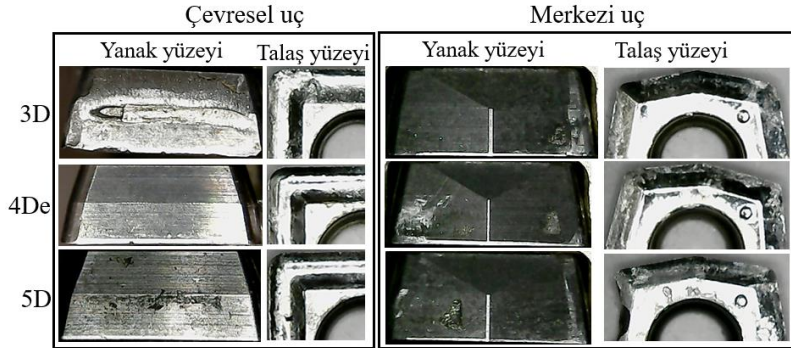
AA 7075 malzemesinin 300 m/dak ve 0,12 mm/dev’de kullanılan kesici uçların görüntüleri Resim 5.8’de yer almaktadır. Resim incelendiğinde 4De evresel kesici ucun yanak yüzeyinde, kesici kenarın kesimden etkilenen kısmı diğerklerine göre daha geniş görünmektedir. Bu duruma 4De de bulunan ekstra soğutucu kanalın neden olduğu değerlendirilmiştir. Kesici uçların talaş yüzeylerinde sıvanmalar meydana gelmekle beraber her hangi hasar veya aşınma meydana gelmemiştir.



Resim 5.8. AA 7075 malzemesinin delindiği kesici uçlar (300 m/dak – 0,12 mm/dev)

AA 7075 malzemesinin 300 m/dak ve 0,12 mm/dev’de kuru şartlarda kullanılan kesici uçların görüntüleri Resim 5.9’da yer almaktadır. Resim incelendiğinde 3D evresel ucun

yanak yüzeyi incelendiğinde Kesici uçların talaş yüzeylerinde sıvanmalar meydana gelmekle beraber her hangi hasar veya aşınma meydana gelmemiştir.



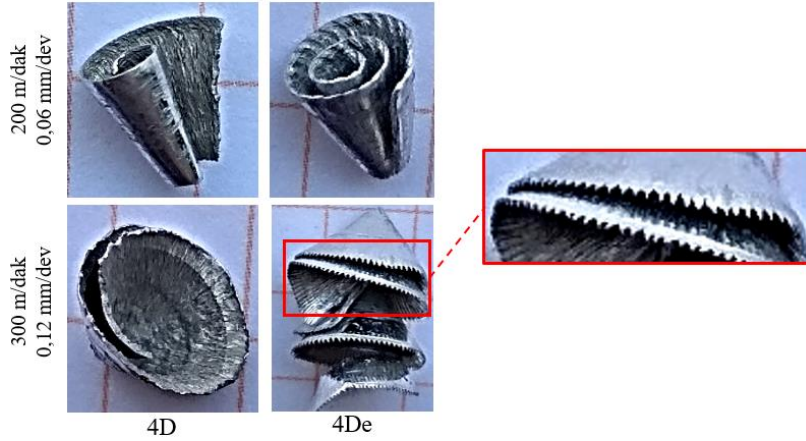
Resim 5.9. AA 7075 malzemesinin delindiği kesici uçlar (300 m/dak – 0,12 mm/dev-Kuru)

AA 2024 malzemesinin ıslak şartlarda delinmesinde ortaya çıkan talaşların hepsi toplanmıştır. Toplanan talaşlar Resim 5.10'da yer almaktadır. Resme göre 3D'den elde edilen talaşlar kısa konik ve dalgalı şerit şeklinde olmakla beraber V_c ve f 'nin artmasıyla talaşlar kalınlaşmış ve kısa konik talaşların sarım sayısı azalmıştır. Ayrıca şerit talaşlarda yüksek V_c ve f değerinde oluşmamıştır. 4De için düşük değerlerde kısa konik talaşlarla beraber sıkışık talaşlar az da olsa görülmektedir. Yüksek değerlerde ise konik sarımı azalmıştır. 4D için düşük değerlerde uzun konik talaşlar dikkati çekmektedir. Yüksek değerlerde ise kısa konik talaşlar meydana gelmiştir. 5D için düşük değerler de uzun konik talaşlar, şerit talaşlar ve sıkışık talaşlar dikkati çekmektedir. Yüksek değerlerde ise konik talaşlar kısalmıştır. Kısa da olsa sıkışık talaşlar mevcuttur.



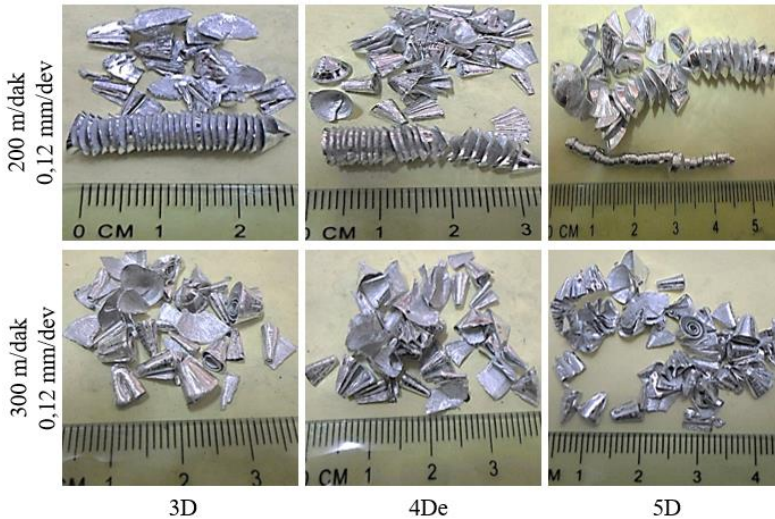
Resim 5.10. AA 2024 malzemesinin delinmesinde ortaya çıkan talaşlar

Ekstra soğutucu deliğın meydana gelen talaşlar üzerindeki farklılıkları Resim 5.11’de görölmektedir. Ekstra soğutucu deliğın etkisiyle 4De ile elde edilen talaşlarda düşük ve yüksek değerklerde tırlama izleri yer almıştır. Özellikle yüksek değerklerde tırlama izleri çok belirgin bir şekilde görölmüştür.



Resim 5.11. AA2024 malzemesi için talaşların karşılaştırılması

AA 2024 malzemesinin kuru şartlarda delinmesinde ortaya çıkan talaşların hepsi toplanmıştır. Toplanan talaşlar Resim 5.12’de yer almaktadır. Resme göre elde edilen talaşlar düşük değerklerde kısa ve uzun konik şeklinde olmakla beraber Vc ve f’nin artmasıyla talaşlar kalınlaşmış ve kısa konik talaşlar oluşmuştur.



Resim 5.12. AA 2024 malzemesinin delinmesinde ortaya çıkan talaşlar (Kuru)

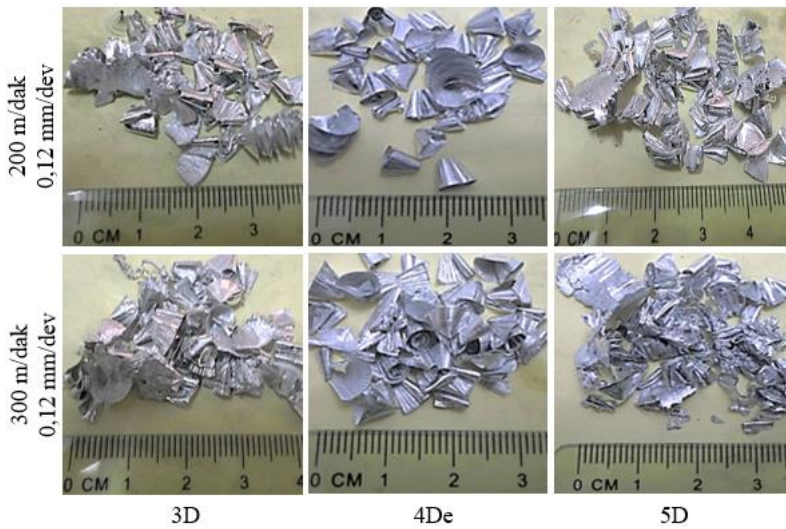
AA 7075 malzemesinin ıslak şartlarda delinmesinde ortaya çıkan talaşların hepsi toplanmıştır. Toplanan talaşlar Resim 5.13’te yer almaktadır. Resme göre düşük değerklerde

talaşlar dalgalı şerit şeklinde meydana gelmiştir. Sadece 4De ile elde edilen düşük değerdeki talaşlar kısa konik olarak meydana gelmiştir. Bu duruma 4De’de bulunan ekstra soğutucu deliğin katkı sağladığı düşünülmüştür. Yüksek değerlerde ise tüm U matkaplar için daha kısa ve konik talaşlar oluşmuştur.



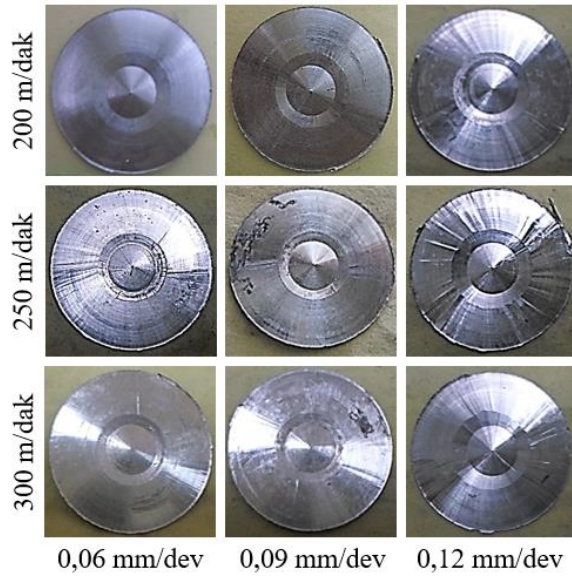
Resim 5.13. AA 7075 malzemesinin delinmesinde ortaya çıkan talaşlar

AA 7075 malzemesinin kuru şartlarda delinmesinde ortaya çıkan talaşların hepsi toplanmıştır. Toplanan talaşlar Resim 5.14'de yer almaktadır. Resme göre elde edilen talaşlar düşük değerlerde kısa ve uzun konik şeklinde olmakla beraber V_c ve f' nin artmasıyla talaşlar kalınlaşmış ve kısa konik talaşlar oluşmuştur. Bunun dışında sıkışmış ve sıvanmış talaşlar 3D ve 5D ile elde edilen talaşlarda meydana gelmiştir.



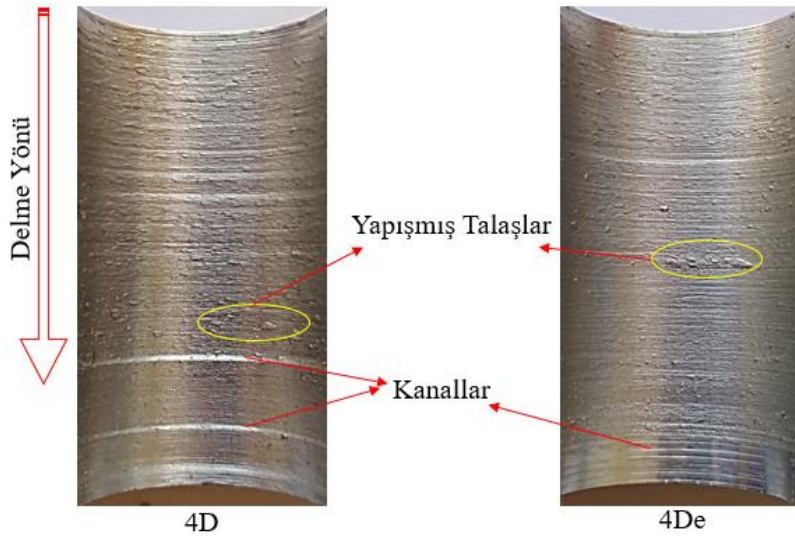
Resim 5.14. AA 7075 malzemesinin delinmesinde ortaya çıkan talaşlar (Kuru)

U matkap ile boydan boya delik delinmesi sonucunda deliğin çıkışında bir kapak oluşmaktadır. Bu deney kapsamında tüm kapaklar toplanmıştır. Tüm U matkaplar için kapak görüntülerinin oluşumu bir birine benzemektedir. Resim 5.15'te bulunan görüntüler incelendiğinde AA 7075-T651 malzemesi 3D U matkap ile 200 m/dak ve 0.06 mm/dev delme parametrelerinde elde edilen kapak en stabil kesme sonucu oluşmuştur. Kapak üzerinde hiçbir tırlama izi yoktur ve gayet düzgündür. f 'in artmasına paralel olarak kapak üzerindeki tırlama izleri artmıştır. V_c 'nin artmasıyla da tırlama izleri hafifte olsa değişmiştir.



Resim 5.15. Delik çıkışı kapak örnekleri

AA 2024 malzemesinin ıslak şartlarda delinmesi sonrası delik içi görüntüsünü almak için iş parçaları ortadan ikiye kesilmiştir. Bu iş parçaları 300 m/dak V_c ve 0,12 mm/dev f değerinde delinmiştir. Delik içi görüntüleri Resim 5.16'da yer almaktadır. 4De ile delinen delik 4D ile delinen deliğe göre daha iyi yüzey kalitesine sahiptir. 4D ile delinen delikte talaş yapışmaları ve sıvanmaları 4De'ye göre oldukça fazladır. 4D'de delik tabanına yaklaşırken kanallar dikkati çekmektedir. Bu kanalların delik derinliğinin artmasıyla beraber talaşların sıvanması/tıkanması durumunda kesicinin yavaşlaması ve kurtulması sonucu hızlanmasıyla oluştuğu değerlendirilmiştir. Matkap merkezinde V_c 'nin sıfır olması, yüksek kesme kuvvetleri ve takım rijitsizliklerinin neden olduğu deformasyon sonucunda derin kanalların oluştuğu ifade edilmiştir [104]. Ayrıca aşırı titreşimlerden veya talaş sıvanmalarından dolayı kesici, kesimden atlar [4]. Bu durumda kanalların oluşmasına neden olmuş olabilir.



Resim 5.16. AA 2024 malzemesi delik içi görüntüleri

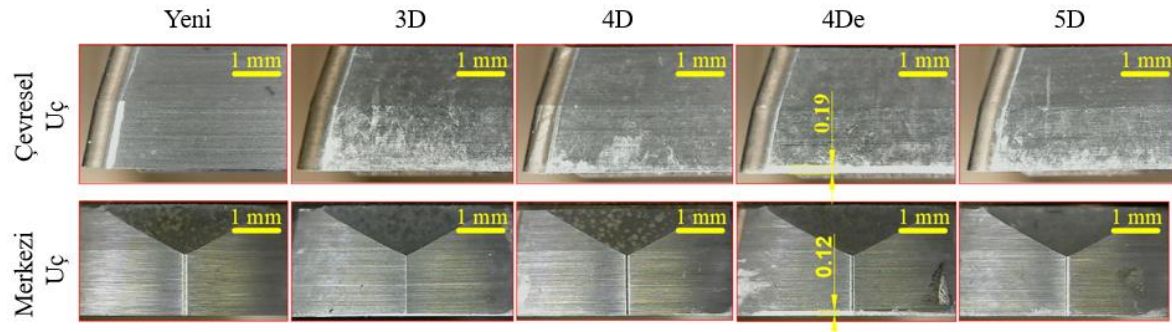
5.11. Deneysel Sonuçların Genel Değerlendirilmesi

Alüminyumun işlenmesinde yapışma, sıvanma gibi durumlar kesici takımları olumsuz etkilemektedir. Bu durumun sonucunda delik kalitesi kötüleşerek toleransların dışına çıkılmaktadır. Farklı alüminyum alaşımlarının işlenmesinde farklı sonuçlar elde edilmektedir. Deneyler için seçilen alüminyum alaşımlarının birbirlerine göre kimyasal, mekanik ve termal özellikleri bakımından farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin AA 2024 malzemesinin içeriğinde diğerlerine göre daha fazla bulunan element bakırdır ve % uzaması daha yüksektir. AA 6061 malzemesinin içeriğinde diğerlerine göre daha fazla bulunan elementler alüminyum, demir ve silisyumdur. Daha düşük sertliğe ve işlenebilirlik oranına, daha yüksek elastikiyet modülü ve termal iletkenliğe sahiptir. AA 7075 malzemesinin içeriğinde diğer alaşımlara göre daha fazla bulunan elementler magnezyum ve çinkodur. Daha yüksek sertliğe, daha yüksek akma ve çekme dayanımına sahiptir.

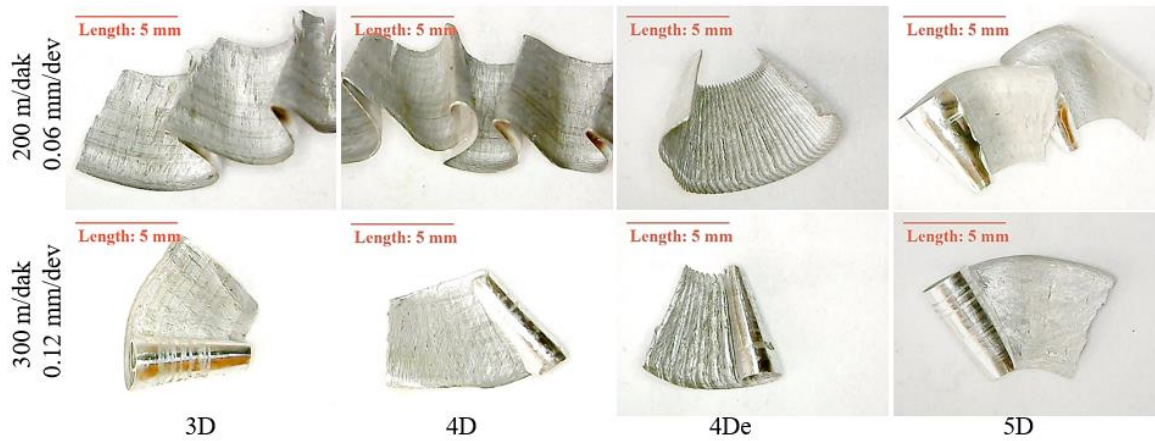
Alüminyum alaşımlarının delinmesi için 3D, 4D, 4De ve 5D olmak üzere dört adet U matkap seçilmiştir. Farklı uzunluk/çap oranlarına sahip kesiciler arasındaki karşılaştırma maliyet açısından düşünülmüştür. Farklı derinliklere sahip iş parçalarının delinmesi işlemi için her zaman uygun uzunluk/çap oranına sahip U matkapların satın alınması maliyet açısından olumsuz olabilmektedir. Bu bakımdan daha büyük uzunluk/çap oranına sahip U matkapların seçilmesi, böylelikle daha kısa deliklerinde delinebileceği ihtimali dikkate alınmıştır. Ayrıca U matkaplar uygulayıcılar tarafından yoğun olarak kaba talaş boşaltma kesicisi olarak düşünülmektedir. Sonrasında ikincil işlemler ile delik kalitesi arzulanan tolerans

seviyelerine getirilmektedir. Bu çalışma ile son işlem olarak U matkap ile delik delmenin alüminyum alaşımlarının işlenmesinde mümkün olup olmadığının tespiti amaçlanmıştır.

Deneyler sonrasında kesiciler itme kuvveti açısından karşılaştırıldığında AA 2024 ve AA 7075 malzemeleri için en yüksek değerler 4De ile elde edilirken, en düşük değerler 5D U matkap ile elde edilmiştir. U matkabın merkezi ucu konumu itibarıyla Fz kuvvetlerine daha fazla etki etmektedir. 4De’de bulunan ekstra soğutucu deliği talaş kırıcı gibi davranarak kesintili talaş oluşumuna neden olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca gövde içerisinde fazladan bir boşluk meydana getirerek U matkabın rijitliğinin bozulmuş olabileceği, bunun sonucunda tırlama mekanizması devreye girerek daha yüksek Fz değerlerinin oluşmasına neden olmuş olabileceği değerlendirilmiştir. Tırlama neticesinde 4De U matkapta kullanılan kesici uçların kesimden etkilenen bölgeleri diğerlerine göre daha büyük meydana gelmiştir. Bu yorumu AA 2024 ve AA 7075 malzemelerinin itme kuvveti grafikleri, kesici görüntüleri (Şekil 5.146) ve talaş görüntüleri de (Şekil 5.147) desteklemektedir.



Şekil 5.146. AA 7075 malzemesinin delinmesinde kullanılan kesici uçlar



Şekil 5.147. AA 7075 malzemesi ile elde edilen talaşlar

5D U matkap ile en düşük değerlerin elde edilmesinde ise merkezi uçların talaş açılarının önemli olduğu değerlendirilmiştir. Çünkü diğer U matkapların merkezi uçlarının talaş açıları yaklaşık 2° negatifken, 5D'nin talaş açısı pozitifdir. Literatürde ise negatif açığa göre pozitif açının kayma açısını artırarak daha ince talaşların oluşmasına neden olduğu böylelikle daha düşük kuvvetlerin meydana geldiği bilinmektedir [35]. AA 2024 malzemesine göre AA 7075 malzemesinde daha düşük değerler meydana gelmiştir. Bu durumun ise AA 7075 malzemesinin sertliğinin daha yüksek olmasıyla ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Daha yüksek sertlik ve ince talaşlar daha kolay kırılarak daha hızlı talaşlar tahliye olmuş olabilir, bunların sonucunda ise daha düşük Fz değerlerinin elde edilmiş olabileceği değerlendirilmiştir.

AA 6061 malzemesi için Fz grafikleri, kesici uçlar ve talaşlar incelendiğinde ekstra soğutucunun talaş kırma etkisi veya tırlama olayı gözlenmemiştir. Bu sonuca AA 6061 malzemesinin düşük sertliği, düşük çekme ve akma dayanımı ve yüksek termal iletkenlik değerlerinin neden olduğu değerlendirilmiştir. AA 6061 malzemesinin diğerlerine göre daha yüksek Fz değerlerinin meydana gelmesinde içeriğindeki daha yüksek silisyumun neden olmuş olabileceği belirtilmiştir [81]. Bunun dışında elastikiyet modülün yüksek, % uzamasının düşük olması deformasyon için daha yüksek talaş yüklerine neden olmuş olabilir. Daha yüksek talaş yükleri ise daha yüksek Fz değerlerinin meydana gelmesine sebep olmaktadır [36].

Tork değerleri incelendiğinde tüm U matkapların çevresel uçlarının aynı açı ve konumda olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı hemen hemen tüm U matkaplar için yakın değerler elde edilmiştir. Ancak tork grafikleri incelendiğinde ise ekstra soğutucu deliğin ve tırlamanın etkisiyle 4De'den elde edilen sinyaller sabit genlik ve frekansta dalgalanmıştır. Yani talaş sıvanma ve yapışmalarından dolayı ani zirve oluşumları neredeyse hiç meydana gelmemiştir. Diğer U matkaplar için Mz grafikleri incelendiğinde ise delik sonlarında ani zirve oluşumları tespit edilmiştir. Bu duruma delik derinliğinin artmasıyla sıcaklığın artarak alüminyum malzemenin kesici gövdesine daha fazla yapışması veya talaşların sıkışmasının neden olduğu değerlendirilmiştir [73]. Tork değerleri ilerleme miktarının artmasıyla artmış, kesme hızının artmasıyla ise azalmıştır.

İş mili yükü incelendiğinde en yüksek değerler AA 6061 malzemesi için elde edilmiştir. AA 6061 yüksek termal iletkenliği ve düşük sertliği nedeniyle kesiciye yapışarak kesme işlemini

olumsuz etkilemiştir. Literatürde kesici takım ne kadar iş parçasına yapışır/sıvanırsa İMY değeri o kadar yükselir şeklinde yorumlar bulunmaktadır [105]. Özellikle 0,12 mm/dev ilerleme miktarı ile yapılan deneylerde delik sonuna kadar işlem devam ettirilememiştir. AA 6061 malzemesinin yüksek ilerleme miktarı değerlerinde kuru veya dıştan soğutma ile delinmesinin uygun olmadığı değerlendirilmiştir. AA 2024 ve AA 7075 malzemeleri için birbirine yakın İMY değerleri elde edilmiştir. İlerleme miktarının artmasıyla İMY değerleri artma eğiliminde olmuştur.

Yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde en düşük Ra değerleri AA 7075 malzemesi ile elde edilirken, en yüksek değerler AA 6061 malzemesi ile elde edilmiştir. Alüminyum malzemeler açısından malzemenin sertliğinin daha yüksek olması daha iyi Ra değerlerinin elde edilmesine neden olmuştur [89]. U matkaplar açısından AA 2024 ve AA 7075 malzemeleri için en düşük Ra değerleri 4De U matkap ile elde edilmiştir. Azalan kesme kuvvetlerinin daha düşük Ra değerlerine sebep olabileceği daha önceden ifade edilmiştir [78]. Ra değeri çevresel uç ile ilgili olan bir değerdir. Mz sinyal grafikleri incelendiğinde dengeli genlik ve frekansta kesicinin bir yol izlemesi veya tırlaması Ra değerlerine olumlu olarak yansımıştır. Ancak kesici uç açısından tırlama, daha fazla kesimden etkilenen bölgenin oluşmasına yol açmıştır. Delik derinliği boyunca Ra değerleri incelendiğinde AA 2024 malzemesi için deliğin girişi ve çıkışında dikkate değer bir fark oluşmamıştır. AA 7075 malzemesi için deliğin girişinde daha düşük değerler elde edilirken deliğin çıkışında daha kötü Ra değerleri elde edilmiştir. Malzemenin sertliğinin daha fazla olması delik derinliği arttıkça Ra değerlerinin kötüleşmesine yol açmıştır.

Optik çap ölçümüne göre çaptan sapma değerleri incelendiğinde değişim oranları en fazla olan 5D U matkapken, en düşük olan U matkap 4De'dir. Denge açısı en büyük olan U matkap 4De, en düşük olan ise 5D U matkaptır. Dengesiz radyal kuvvetlerin neticesinde 5D ile daha büyük delik çapları elde edilmiştir. Delik derinliği boyunca Çs değerleri incelendiğinde deliğin girişinde Çs daha az meydana gelirken, deliğin sonunda Çs değerleri daha yüksek çıkma eğiliminde olmuştur. Delik derinliği arttıkça kesicilerin daha fazla zorlanarak eksenden saptığı ifade edilmiştir [26]. Bu durumunda Çs değerlerinde artmaya neden olduğu değerlendirilmiştir.

Dairesellikten sapma sonuçları incelendiğinde en yüksek Ds değerleri AA 6061 ile elde edilmiştir. AA 6061'in yüksek termal iletkenliği nedeniyle U matkap gövdesine yapışan

talaşların Ds değerlerinde olumsuzluğa sebebiyet verdiği değerlendirilmiştir. AA 2024 ile AA 7075 değerleri birbirlerine yakın değerler meydana getirmiştir. Delik derinliği boyunca Ds değerlerinde anlamlı bir fark meydana gelmemiştir.

Silindiriklikten sapma sonuçları incelendiğinde en düşük Ss değerleri en yüksek denge açısına sahip 4De ile elde edilmiştir. En yüksek Ss değerleri ise en düşük denge açısına sahip 5D U matkap ile elde edilmiştir. Delik derinliği arttıkça daha uzun olan 5D U matkabın yanal sapmasının artarak bu sonuca neden olduğu değerlendirilmiştir.

Kuru deneylerde ölçülen sıcaklık değerleri incelendiğinde en düşük T değerleri 4De U matkap ile elde edilirken en yüksek T değerleri 5D U matkap ile meydana gelmiştir. Bazı çalışmalarda itme kuvvetinin daha yüksek olmasının, daha yüksek sıcaklıklara neden olabileceği ifade edilmiştir [35]. Ancak 4De için böyle bir durum meydana gelmemiştir. AA 7075 malzemesinde oluşan T değerleri, AA 2024 malzemesi ile elde edilen T değerlerinden daha yüksektir. AA 7075 malzemesinin akma ve çekme dayanımının yanında en yüksek sertliğe sahip olmasının bu durumun meydana gelmesine sebep olduğu değerlendirilmiştir.

Ses seviyesi sinyalleri frekans alanına dönüştürülerek incelenmiştir. Buna göre U matkap uzunluğu arttıkça frekans değerleri azalmıştır [4]. Bu sonuç literatüre uygundur. Düşük kesme hızı ve ilerleme miktarına göre yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarı değerlerinde elde edilen frekans değerlerinin genlik değerleri artma eğiliminde olmuştur. Bu duruma kesiciye yapışan, tıkanan talaşların neden olduğu değerlendirilmiştir. 4De ile baskın frekansın dışındaki frekans değerlerinin genlik değerleri belirgin bir şekilde artmamıştır. En fazla ses seviyesine ise 4De U matkap neden olmuştur. Titreşim seviyesinin artması, ses seviyesinin artmasına neden olmuştur [103].

Kesici uçlar ve talaşların mikroskop ile incelenmesi neticesinde AA 2024 ve AA 7075 malzemeleri için 4De'nin kesici uçlarında daha fazla kesimden etkilenen bölge meydana gelmiştir. Aynı malzeme ve kesici uçlar için talaşlar incelendiğinde belirgin bir şekilde tırlama izleri oluşmuştur. AA 6061 malzemesi için kesici uçlarda kesimden etkilenen bölgede farklılaşma tespit edilmemiştir. Şekil 5.148'de bulunan talaşlar incelendiğinde ise belirgin tırlama izleri tespit edilmemiştir. Bu duruma AA 6061 malzemesinin yüksek termal iletkenliği ve düşük sertliğinin neden olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 5.148. AA 6061 talaş şekilleri (300 m/dak, 0,12 mm/dev, ıslak işleme)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada AA 2024-T351, AA 6061-T651 ve AA 7075-T651 malzemeleri dört farklı geometrik özelliğe sahip U matkap kullanılarak delinmiştir. Alüminyum alaşımlarının delinmesinde iş parçası malzemesinin ve kesilen talaşların kesici takıma yapışması hem kesiciyi hem de delik kalitesini olumsuz etkilemektedir. İş parçası malzemelerinin kimyasal bileşimi, sertlik değerleri, mekanik ve termal özellikleri birbirlerinden farklılıklar sergilemektedir. Bu farklılıkların U matkap ile delik delme işlemine nasıl etki ettiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca farklı geometrik özelliklere sahip U matkapların ve ekstra soğutucu deliğin delik delme işlemine nasıl etki ettiği de tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla girdi parametreleri olarak dört adet U matkap, üç adet malzeme, üç adet kesme hızı (Vc) ve üç adet ilerleme miktarı (f) ıslak ve kuru şartlarda delinerek aralarındaki farklar çıktı yanıtları açısından karşılaştırılmıştır. Çıktı yanıtları olarak itme kuvveti (Fz), tork (Mz), iş mili yükü (İMY), yüzey pürüzlülüğü (Ra), çaptan sapma (Çs), dairesellikten sapma (Ds), silindiriklikten sapma (Ss), sıcaklık (T), ses seviyesi ölçümleri (Spl), kesici ve talaş görüntüleri belirlenmiştir. Çıktı yanıtları, normal ve ana etki grafikleri, normallik testleri, varyans ve regresyon analizleri ile incelenmiştir.

6.1. Sonuçlar

Farklı U matkaplar kullanılarak ıslak ve kuru şartlarda delinen alüminyum alaşımları için delme sürecinde ve delme sonrasında meydana gelen çıktı yanıtlarından elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- En yüksek itme kuvveti hem ıslak hem de kuru şartlar için 4De ile elde edilirken, en düşük 5D ile elde edilmiştir. 4De’de bulunan ekstra soğutucu deliğe girmeye çalışan talaşların etkisiyle Fz’nin yüksek çıktığı değerlendirilmiştir.
- 4De, 4D’ye göre %7,8 daha yüksek Fz meydana getirmiştir. Fz için kuru deneyler ıslak deneylere göre 3D için %35,5 oranında 4De ve 5D için %20 oranında daha yüksek meydana gelmiştir.
- 4De’ye göre 4D’de AA 2024 malzemesi için %34, AA 7075 malzemesi için %40 daha fazla Fz meydana gelmişken, AA 6061 malzemesi için %25 daha düşük Fz meydana gelmiştir.

- 4De’de bulunan ekstra soğutucu deliği talaş kırıcı gibi davranarak kesintili talaş oluşumuna neden olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca gövde içerisinde fazladan bir boşluk meydana getirerek U matkabın rijitliğinin bozulmuş olabileceği, bunun sonucunda tırlama mekanizması devreye girerek daha yüksek Fz değerlerinin oluşmasına neden olmuş olabileceği değerlendirilmiştir. Tırlama neticesinde 4De U matkapta kullanılan kesici uçların kesimden etkilenen bölgeleri diğerlerine göre daha büyük meydana gelmiştir.
- 5D U matkap ile en düşük değerlerin elde edilmesinde ise merkezi uçların talaş açılarının önemli olduğu değerlendirilmiştir. Çünkü diğer U matkapların merkezi uçlarının talaş açıları yaklaşık 2° negatifken, 5D’nin talaş açısı pozitifdir.
- AA 2024 malzemesine göre AA 7075 malzemesinde daha düşük değerler meydana gelmiştir. Bu durumun ise AA 7075 malzemesinin sertliğinin daha yüksek olmasıyla ilişkili olduğu değerlendirilmiştir.
- AA 6061 malzemesi için Fz grafikleri, kesici uçlar ve talaşlar incelendiğinde ekstra soğutucunun talaş kırma etkisi veya tırlama olayı gözlenmemiştir. Bu sonuca AA 6061 malzemesinin düşük sertliği, düşük çekme ve akma dayanımı ve yüksek termal iletkenlik değerlerinin neden olduğu değerlendirilmiştir.
- Tüm U matkaplar ve malzeme grupları için f’in artmasına paralel olarak Fz değerleri artmıştır.
- Zamana bağlı Fz kuvvetlerinin gelişimi incelendiğinde diğer U matkaplara göre 4De ile elde edilen sinyalin genliği fazla ve frekansı azdır.
- Mz değerleri dikkate alındığında tüm U matkapların çevresel uçlarının aynı açı ve konumda olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı hemen hemen tüm U matkaplar için yakın değerler elde edilmiştir. Kuru deneyler ıslak deneylere göre 3D için %31,4 - 4De ve 5D için %27 daha yüksek meydana gelmiştir.
- Tüm U matkaplar ve malzeme grupları için f’in artmasına paralel olarak Mz değerleri artmıştır. Diğer U matkaplarda Mz’de ani artış ve azalmalar daha fazlayken 4De’de neredeyse hiç zirve oluşumu meydana gelmemiştir.
- Mz grafikleri incelendiğinde ekstra soğutucu deliğin ve tırlamanın etkisiyle 4De’den elde edilen sinyaller sabit genlik ve frekansta dalgalanmıştır. Yani talaş sıvanma ve yapışmalarından dolayı ani zirve oluşumları neredeyse hiç meydana gelmemiştir.

- Tüm U matkaplar için en düşük İMY ıslak ve kuru şartlarda AA 2024 ve AA 7075 malzemeleri için 4De ile elde edilmiştir. İş mili yükü, Vc ve f değerinin artmasına paralel olarak artmıştır.
- En yüksek İMY değerleri AA 6061 malzemesi için elde edilmiştir. AA 6061 yüksek termal iletkenliği ve düşük sertliği nedeniyle kesiciye yapışarak kesme işlemini olumsuz etkilemiştir.
- En düşük yüzey pürüzlülüğü hem ıslak hem de kuru şartlar için 4De ile elde edilirken, en yüksek 5D ile elde edilmiştir. Üç grup malzemeye göre en düşük Ra değerleri AA 7075 malzemesi ile elde edilirken en yüksek değerler AA 6061 malzemesi ile elde edilmiştir.
- AA 7075 malzemesi için ıslak ve kuru şartlarda deliğin girişindeki Ra, deliğin çıkışındaki Ra'dan daha düşük meydana gelmiştir.
- Çs değerleri L/D oranının artmasına paralel olarak artmıştır.
- Optik çap ölçümüne göre Çs değerleri incelendiğinde değişim oranları en fazla olan 5D U matkapken, en düşük olan U matkap 4De'dir. Denge açısı en büyük olan U matkap 4De, en düşük olan ise 5D U matkaptır. Dengesiz radyal kuvvetlerin neticesinde 5D ile daha büyük delik çapları elde edilmiştir.
- Delik derinliği boyunca Çs değerleri incelendiğinde deliğin girişinde Çs daha az meydana gelirken, deliğin sonunda Çs değerleri daha yüksek çıkma eğiliminde olmuştur.
- Islak deneyler ile elde edilen Ds değerleri kuru deneyler ile elde edilen değerlerden daha düşük meydana gelmiştir.
- Ds sonuçları incelendiğinde en yüksek değerler AA 6061 ile elde edilmiştir.
- AA 2024 ile AA 7075 değerleri birbirlerine yakın değerler meydana getirmiştir. Delik derinliği boyunca Ds değerlerinde anlamlı bir fark meydana gelmemiştir.
- En düşük Ss değerleri 4De ile elde edilmişken, en yüksek değerler 5D ile elde edilmiştir. Islak deneyler ile elde edilen Ss değerleri kuru deneyler ile elde edilen değerlerden daha düşük meydana gelmiştir.
- Kuru şartlarda yapılan T ölçüm değerlerine göre en düşük değerler 4De ile elde edilmişken, en yüksek değerler 5D ile elde edilmiştir.
- AA 7075 malzemesinde oluşan T değerleri, AA 2024 malzemesi ile elde edilen T değerlerinden daha yüksektir. AA 7075 malzemesinin akma ve çekme dayanımının yanında en yüksek sertliğe sahip olmasının bu durumun meydana gelmesine sebep olduğu değerlendirilmiştir.

- Ses seviyesi sinyalleri frekans alanına dönüştürülerek incelenmiştir. Düşük V_c ve f değerine göre yüksek V_c ve f değerlerinde elde edilen frekans değerlerinin genlik değerleri artma eğiliminde olmuştur. Bu duruma kesiciye yapışan, tıkanan talaşların neden olduğu değerlendirilmiştir.
- Kesici uçlar ve talaşların mikroskop ile incelenmesi neticesinde AA 2024 ve AA 7075 malzemeleri için 4De'nin kesici uçlarında daha fazla kesimden etkilenen bölge meydana gelmiştir. Aynı malzeme ve kesici uçlar için talaşlar incelendiğinde belirgin bir şekilde tırlama izleri oluşmuştur.
- AA 6061 malzemesi için kesici uçlarda kesimden etkilenen bölgede farklılaşma tespit edilmemiştir. AA 6061 ile elde edilen talaşlar incelendiğinde ise belirgin tırlama izleri tespit edilmemiştir. Bu duruma AA 6061 malzemesinin yüksek termal iletkenliği ve düşük sertliğinin neden olduğu değerlendirilmiştir.
- Tüm çıktı sonuçları dikkate alındığında, AA 6061-T651 malzemesinin U matkap ile yüksek f ve yüksek V_c değerlerinde dışarıdan emülsiyon soğutma veya kuru şartlarda delinmesinin uygun olmadığı değerlendirilmiştir.

6.2. Öneriler

- Alüminyum alaşımının dışındaki malzeme grupları U matkap kullanılarak delinebilir.
- Ekstra soğutucu deliğin etkisi içten soğutma veya farklı soğutma yöntemleriyle karşılaştırılabilir.
- U matkap gövdeleri farklı kaplama türleri ile kaplanarak karşılaştırma yapılabilir.
- U matkapların denge açısı, kayma açısı ve helis açısı gibi açılarının etkisi teker teker incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Parsian, A. (2018). *Regenerative chatter vibration in indexable drills: modeling and simulation*. Ph. D. Thesis, University West, Production Technology, Sweden, 1-42.
2. Rahman, M., Seah, K. and Venkatesh, V. (1988). Performance evaluation of endrills. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 28, 341-349.
3. Wang, S., Venkatesh, V. and Xue, W. (1991). A study on modification of endrills for finishing holes. *Journal of Materials Processing Technology*, 28, 83-92.
4. Jochem, C. (2006). *Mechanics and dynamics of drilling*. Ph. D. Thesis, University British Columbia, Faculty of Applied Science, USA, 1-32.
5. Venkatesh, V. and Xue, W. (1996). A study of the built-up edge in drilling with indexable coated carbide inserts. *Journal of Materials Processing Technology*, 58, 379-384.
6. Rezende, B. A., Silveira, M. L., Vieira, L. M., Abrão, A. M., Faria, P. E., and Rubio, J. C. C. (2016). Investigation on the effect of drill geometry and pilot holes on thrust force and burr height when drilling an aluminium/PE sandwich material. *Materials*, 9, 774.
7. Xiang, J., Xie, L., Gao, F., Yi, J., Pang, S., and Wang, X. (2018). Diamond tools wear in drilling of SiCp/Al matrix composites containing Copper. *Ceramics International*, 44, 5341-5351.
8. Lin, T. R. (2002). Cutting behavior of a TiN-coated carbide drill with curved cutting edges during the high-speed machining of stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 127, 8-16.
9. İnternet: Widia Cutting Tool. (2022). URL: <https://www.widia.com/us/en/products/holemaking/indexable-drills/top-cut-4.html>, Son erişim tarihi: 14.10.2022.
10. Liu, L. L., Zhou, L. P. and Ying, Z. J. (2012). The FEM dynamic simulation in the drilling process with indexable inserts. *Advanced Materials Research*, 557-559, 1292-1297.
11. Chernyshov, M. (2019). *Increasing the efficiency of prefabricated drills and the strength of replaceable cutting inserts*. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 666, 1-26.
12. Yalçın, N., Kayır, Y. and Erkal, S. (2017). AA2024 alüminyum alaşımına uygulanan yaşlandırma yöntemlerinin işlenebilirliğe etkisinin taguchi ve anova ile araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 20, 743-751.
13. Campbell, F. C. (Editör). (2008). *Elements of metallurgy and engineering alloys*, Materials Park, Ohio, USA: ASM International Yayıncılık, 135-148.
14. Davis, J. (Editör). (1998). *Metals Handbook (Second edition)*. Materials Park, Ohio, USA: ASM International Yayıncılık, 2290-2470.

15. Rahmati, B., Sarhan, A. A. and Sayuti, M. (2014). Morphology of surface generated by end milling AL6061-T6 using molybdenum disulfide (MoS₂) nanolubrication in end milling machining. *Journal of Cleaner Production*, 66, 685-691.
16. Dhakal, B. and Swaroop, S. (2020). Effect of laser shock peening on mechanical and microstructural aspects of 6061-T6 aluminum alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 282, 116640.
17. Rodriguez, R., Jordon, J., Allison, P., Rushing, T. and Garcia, L. (2015). Microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welding of 6061-to-7050 aluminum alloys. *Materials & Design*, 83, 60-65.
18. Committee, A.I.H. (1992). *Properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose materials*, Materials Park, Ohio, USA: ASM International Yayıncılık, 1196-1387.
19. Yaşar, N. (2019). Thrust force modelling and surface roughness optimization in drilling of AA-7075: FEM and GRA. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33, 4771-4781.
20. Paktinat, H. and Amini, S. (2017). Ultrasonic assistance in drilling: FEM analysis and experimental approaches. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92, 2653-2665.
21. Rahman, M., Matin, M. and Seah, K. (1993). *A study of the vibrational dynamics of an endrill clamped by side-locking*. *Transactions of the ASME*, 115, 438-443.
22. Heisel, U., Luik, M., Eisseler, R. and Schaal, M. (2005). Prediction of parameters for the burr dimensions in short-hole drilling. *CIRP annals*, 54, 79-82.
23. Korucu, S. (2007). *Delik işlemlerinde kesiciler üzerine etki eden gerilmelerin matematiksel olarak modellenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 91-107.
24. Tasdelen, B., Wikblom, T. and Ekered, S. (2008). Studies on minimum quantity lubrication (MQL) and air cooling at drilling. *Journal of Materials Processing Technology*, 200, 339-346.
25. Kabakli, E. (2009). *Optimization of process parameters of drilling using the taguchi method*. MSc thesis, Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Adana, 58-78.
26. Kabakli, E., Bayramoglu, M. and Geren, N. (2014). Evaluation of the surface roughness and geometric accuracies in a drilling process using the Taguchi analysis. *Materials and technology*, 48, 91-98.
27. Heisel, U. and Schaal, M. (2009). Burr formation in short hole drilling with minimum quantity lubrication. *Production Engineering*, 3, 157-163.
28. Biermann, D. and Hartmann, H. (2012). Reduction of burr formation in drilling using cryogenic process cooling. *Procedia CIRP*, 3, 85-90.

29. Özkul, İ. (2012). *Takım çeliği malzemelerinin geleneksel ve modern işleme yöntemleri ile işlenebilirliklerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Ankara, 52-100.
30. Kaymakci, M., Kilic, Z. and Altintas, Y. (2012). Unified cutting force model for turning, boring, drilling and milling operations. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 54, 34-45.
31. Kilic, Z. and Altintas, Y. (2016). Generalized mechanics and dynamics of metal cutting operations for unified simulations. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 104, 1-13.
32. Kilic, Z. and Altintas, Y. (2016). Generalized modelling of cutting tool geometries for unified process simulation. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 104, 14-25.
33. Kheireddine, A., Ammouri, A., Lu, T., Jawahir, I. and Hamade, R. (2013). An FEM analysis with experimental validation to study the hardness of in-process cryogenically cooled drilled holes in Mg AZ31b. *Procedia Cirp*, 8, 588-593.
34. Parsian, A., Magnevall, M., Beno, T. and Eynian, M. (2014). A mechanistic approach to model cutting forces in drilling with indexable inserts. *Procedia Cirp*, 24, 74-79.
35. Okada, M., Asakawa, N., Sentoku, E., Saoubi, R. and Ueda, T. (2014). Cutting performance of an indexable insert drill for difficult-to-cut materials under supplied oil mist. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72, 475-485.
36. Parsian, A., Magnevall, M., Beno, T. and Eynian, M. (2015, June). *Time-domain modeling of torsional-axial chatter vibrations in indexable drills with low damping*. Paper presented at the 4th International Conference on Virtual Machining Process Technology, Vancouver, Canada.
37. Kilic, Z. M. (2015). *Generalized modelling of flexible machining system with arbitrary tool geometry*. Ph. D. Thesis, University of British Columbia, Mechanical Engineering, USA, 19-23.
38. Ahmed, L. S. and Kumar, M. P. (2016). Cryogenic drilling of Ti-6Al-4V alloy under liquid nitrogen cooling. *Materials and manufacturing processes*, 31, 951-959.
39. Ahmed, L. S., Govindaraju, N. and Pradeep Kumar, M. (2016). Experimental investigations on cryogenic cooling in the drilling of titanium alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 31, 603-607.
40. Shakeel Ahmed, L. and Pradeep Kumar, M. (2016). Multiresponse optimization of cryogenic drilling on Ti-6Al-4V alloy using topsis method. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 30, 1835-1841.
41. Sheth, S. and George, P. (2016). Experimental investigation, prediction and optimization of cylindricity and perpendicularity during drilling of WCB material using grey relational analysis. *Precision Engineering*, 45, 33-43.

42. Nieslony, P., Cichosz, P., Krolczyk, G., Legutko, S., Smyczek, D., and Kolodziej, M. (2016). Experimental studies of the cutting force and surface morphology of explosively clad Ti–steel plates. *Measurement*, 78, 129-137.
43. Alhat, M. S. K. and Pimpale, M. S. (2016). Geometric optimization of ‘U’-drill cutting edge by finite element analysis (FEA) and its experimental validation. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 5, 542-546.
44. Griffin, R., Cao, Y., Peng, J. and Chen, X. (2016). Tool wear monitoring and replacement for tubesheet drilling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86, 2011-2020.
45. Nieslony, P., Krolczyk, G., Zak, K., Maruda, R. and Legutko, S. (2017). Comparative assessment of the mechanical and electromagnetic surfaces of explosively clad Ti–steel plates after drilling process. *Precision Engineering*, 47, 104-110.
46. Kumar, M. P. and Ahmed, L. S. (2017). Drilling of AISI 304 stainless steel under liquid nitrogen cooling: a comparison with flood cooling. *Materials Today: Proceedings*, 4, 1518-1524.
47. Artamonov, E., Chernyshov, M. and Pomigalova, T. (2017). Improving the performance of composite bits with replaceable inserts. *Russian Engineering Research*, 37, 348-350.
48. Parsian, A., Magnevall, M., Beno, T. and Eynian, M. (2017). Sound analysis in drilling, frequency and time domains. *Procedia CIRP*, 58, 411-415.
49. Parsian, A., Magnevall, M., Eynian, M. and Beno, T. (2017). Time domain simulation of chatter vibrations in indexable drills. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89, 1209-1221.
50. Sönmez, K. (2019). *Armox 500 T çeliğinin delinmesinde yüzey kalitesi, takım aşınması ve daireselliğinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, İmalat Mühendisliği, Karabük, 69-77.
51. Kantharaj, I., Sekar, M., Solomon, A.B., Kumar, N.M. and Sunny, K.A. (2019). U-drill embedded with phase change heat transfer device for machining applications. *Case Studies in Thermal Engineering*, 15, 100533.
52. Svensson, D., Andersson, T. and Andersson Lassila, A. (2022). Coupled Eulerian–Lagrangian simulation and experimental investigation of indexable drilling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-16.
53. Nouari, M., List, G., Girot, F. A. and Gehin, D. (2005). Effect of machining parameters and coating on wear mechanisms in dry drilling of aluminium alloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, 1436-1442.
54. Kaynak, Y. (2006). *Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Makine Eğitimi, İstanbul, 84-102.

55. Kurt, M., Kaynak, Y. and Bagci, E. (2008). Evaluation of drilled hole quality in Al 2024 alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37, 1051-1060.
56. Lauderbaugh, L. K. (2009). Analysis of the effects of process parameters on exit burrs in drilling using a combined simulation and experimental approach. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 1909-1919.
57. Kutlu, L. (2008). *Al 2024-T4 alüminyumun elmas benzeri karbon (DLC) kaplanmış matkaplarla delinmesinde kesme parametrelerinin deneysel incelenmesi ve taguchi yöntemiyle optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Makine Eğitimi, İstanbul, 70-80.
58. Zitoune, R., Krishnaraj, V. and Collombet, F. (2010). Study of drilling of composite material and aluminium stack. *Composite structures*, 92, 1246-1255.
59. Zhu, Z., Guo, K., Sun, J., Li, J., Liu, Y., Zheng, Y., and Chen, L. (2018). Evaluation of novel tool geometries in dry drilling aluminium 2024-T351/titanium Ti6Al4V stack. *Journal of Materials Processing Technology*, 259, 270-281.
60. Sreenivasulu, R. and SrinivasaRao, C. (2018). Modelling, simulation and experimental validation of burr size in drilling of aluminium 6061 alloy. *Procedia Manufacturing*, 20, 458-463.
61. Yarar, E. (2016). *AA6061-T6 ısıtılmış al alaşımlarının ultrasonik talaşlı delinmesinde konvansiyonel yöntemle göre kuvvet ve yüzey özelliklerinin analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 44-86.
62. Ozcelik, B. and Bagci, E. (2006). Experimental and numerical studies on the determination of twist drill temperature in dry drilling: A new approach. *Materials & Design*, 27, 920-927.
63. Bağci, E. and Ozcelik, B. (2006). Investigation of the effect of drilling conditions on the twist drill temperature during step-by-step and continuous dry drilling. *Materials & Design*, 27, 446-454.
64. Ozkan, M. T. (2013). Experimental and artificial neural network study of heat formation values of drilling and boring operations on Al 7075 T6 workpiece. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 20, 259-268.
65. Yakut, H. (2009). *Al 7075 alüminyum matkaplarla delinmesinde kesme parametreleri ile sıcaklık arasındaki ilişkinin deneysel incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Makine Eğitimi, İstanbul, 87-103.
66. Çakıroğlu, R. and Acır, A. (2013). Optimization of cutting parameters on drill bit temperature in drilling by Taguchi method. *Measurement*, 46, 3525-3531.
67. Lei, X., Shen, B. and Sun, F. (2015). Optimization of diamond coated microdrills in aluminum alloy 7075 machining: a case study. *Diamond and Related Materials*, 54, 79-90.

68. Çakır, A. (2009). *Al 7075 ve Al 6013 alüminyum malzemelerin delme operasyonları esnasındaki kesme parametrelerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 85-104.
69. Uçun, İ. (2016). 3D finite element modelling of drilling process of Al7075-T6 alloy and experimental validation. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 30, 1843-1850.
70. Çakır, A. (2015). *AA 7075 ve AA 2024 alüminyum malzemelerine delik delinmesinde soğutma yöntemlerinin işleme performansına etkilerinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 75-176.
71. Kilickap, E. and Hüseyinoglu, M. (2009). AA 7075 delinmesinde kullanılan soğutma tekniğinin performans karakteristiklerine etkisi. *Engineering Sciences*, 4, 547-558.
72. Aydın, E. (2019). *Karbon fiber takviyeli polimer kompozit (CFRP) ile alüminyum alaşımının (AL 7075) istiflenmiş halde delinebilirlik özelliklerinin araştırılması*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, İmalat Mühendisliği, Ankara, 73-159.
73. Aydın, E. and Nalbant, M. (2020). CFRP/Al-7075 istifli delmede matkap uç açılarının delinebilirlik üzerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35, 917-932.
74. Çaydaş, U. and Çelik, M. (2017). AA 7075-T6 alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım sıcaklığı ve ilerleme kuvvetine etkilerinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 20, 419-425.
75. Özbek, Y. (2020). *Havacılık ve uzay sektöründe kullanılan 7075-t651 alüminyum alaşımının işlenmesi için özel imalat matkap uçlarının deney tasarımı yöntemi ile performansının optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 71-117.
76. Erkan, Ö. and Yücel, E. (2018). *AA 7075 malzeme üzerine delinen delik yüzeylerinin pürüzlülük optimizasyonu ve istatistiki analizi*. International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology, Ankara.
77. Kurt, M., Kaynak, Y. and Bağcı, E. (2008). Evaluation of drilled hole quality in Al 2024 alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37, 1051-1060.
78. Kılıçkap, E. and Hüseyinoğlu, M. (2009). AA 7075 delinmesinde kullanılan soğutma tekniğinin performans karakteristiklerine etkisi. *Engineering Sciences*, 4, 547-558.
79. Özbek, Y. (2020). *Havacılık ve uzay sektöründe kullanılan 7075-T651 alüminyum alaşımının işlenmesi için özel imalat matkap uçlarının deney tasarımı yöntemi ile performansının optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 71-117.
80. Groover, M.P. (2020). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. Rosewood Drive, Danvers, USA: John Wiley & Sons. Yayıncılık, 115-120.

81. Pul, M. (2017). 7075, 6061 ve 2024 alüminyum alaşımlarının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasının karşılaştırılması. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9 (2), 65-75.
82. Peña Parás, L., Maldonado Cortés, D., Rodríguez Villalobos, M., Romero Cantú, A.G., Montemayor, O.E., Herrera, M., Trousselle, G., González, J., and Hugler, W. (2019). Optimization of milling parameters of 1018 steel and nanoparticle additive concentration in cutting fluids for enhancing multi-response characteristics. *Wear*, 426, 877-886.
83. Wang, Z., Wagner, T. C. and Guo, C. (2020). Smart machining process monitoring enabled by contextualized process profiles for synchronization. *Smart and Sustainable Manufacturing Systems*, 4(2), 199-209.
84. Kim, S. (2016). Integration of pre-simulation and sensorless monitoring for smart mould machining. *International Journal of Simulation Modelling*, 15, 623-636.
85. Bourne, K. A. and Kapoor, S. G. (2012). *Process monitoring during micro-drilling via acoustic emission, ultrasonic sound, and spindle load sensors*, *International Manufacturing Science and Engineering Conference*, Notre Dame, Indiana, USA.
86. Speedie, J. A., Black, I. and Ritchie, J. M. (2010). Finding the optimum cutting conditions for face milling 13% manganese steel using the Taguchi design method and predictive equations. *Advanced Materials Research*, 89-91, 527-532.
87. Yaman, K., Bıçakçı, N. and Özgedik, A. (2017). Matkap boyunun delik toleranslarına etkisinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 20, 765-775.
88. Uçak, N. and Çiçek, A. (2019). Inconel 718 süperalaşımının delinmesinde kriyojenik soğutmanın delme performansı üzerine etkilerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34, 1241-1252.
89. Tash, M., Samuel, F., Mucciardi, F., Doty, H. and Valtierra, S. (2006). Effect of metallurgical parameters on the machinability of heat-treated 356 and 319 aluminum alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 434, 207-217.
90. Sekmen, M., Günay, M. and Şeker, U. (2015). Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesme hızı ve talaş açısının yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu üzerine etkisi. *Politeknik Dergisi*, 18, 141-148.
91. Ulaş, H. B. (2019). AA 6061 alüminyum alaşımının tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin analizi ve optimizasyonu. *Technological Applied Sciences*, 14, 48-56.
92. Meral, G., Sarıkaya, M., Mia, M., Dilipak, H., Şeker, U., and Gupta, M. K. (2019). Multi-objective optimization of surface roughness, thrust force, and torque produced by novel drill geometries using Taguchi-based GRA. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 101, 1595-1610.
93. Yağmur, S. and Pul, M. (2021). Ti-6Al-4V titanyum alaşımının delinmesinde ön delik uygulamasının işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13, 170-177.

94. Bayraktar, Ş. and Afyon, F. (2020). Machinability properties of Al-7Si, Al-7Si-4Zn and Al-7Si-4Zn-3Cu alloys. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42, 1-12.
95. Chen, J., An, Q., Ming, W. and Chen, M. (2019). Hole exit quality and machined surface integrity of 2D Cf/SiC composites drilled by PCD tools. *Journal of the European Ceramic Society*, 39, 4000-4010.
96. Yavuz, M., Gökçe, H., Yavaş, Ç., Korkut, İ. and Şeker, U. (2017). Matkap geometrisinin delik kalitesi ve kesme performansına etkisi. *Sakarya University Journal of Science*, 21,
97. Bahçe, E. and Özdemir, B. (2019). Determination of tool deflection in drilling by image processing. *IET Image Processing*, 13, 2487-2494.
98. Harshith, N., Devendra, Y. and Jagadesh, T. (2019). Investigations into surface integrity and cylindricity error during peck drilling of aerospace alloy using graphite, MOS2 and blasocut lubricant. *Materials Today: Proceedings*, 18, 3091-3098.
99. Mueller Hummel, P. (2016). Process understanding of dry drilling CFRP/aluminium and AL/AL stacks in IT8 quality. *SAE International Journal of Aerospace*, 9, 217.
100. Nakai, H., Sawa, T., Anzai, M., Sasaki, S. and Kudoh, K. I. (2017). A study of dry drilling method on chromium molybdenum steel. *Seimitsu Kogaku Kaishi/Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, 83, 665-671.
101. Pyatykh, A., Savilov, A. and Timofeev, S. (2021). Method of tool wear control during stainless steel end milling. *Journal of Friction and Wear*, 42, 263-267.
102. Albayrak, S., Yeşildal, F. and Yildirim, C. (2020). SAE 4140 çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin ses seviyesi ve yüzey pürüzlüğüne etkileri: parametrelerin optimizasyonu. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10, 2759-2769.
103. Şahinoğlu, A. and Güllü, A. (2020). CuZn39Pb3 malzemenin torna tezgâhında işlenmesinde oluşan akım, ses şiddeti, titreşim ve yüzey pürüzlülük değeri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 23, 615-624.
104. Rasti, A., Sadeghi, M. H. and Farshi, S. S. (2019). An investigation into the effect of surface integrity on the fatigue failure of AISI 4340 steel in different drilling strategies. *Engineering Failure Analysis*, 95, 66-81.
105. Bourne, K. A. and Kapoor, S. G. (2012). *Process monitoring during micro-drilling via acoustic emission, ultrasonic sound, and spindle load sensors*, International Manufacturing Science and Engineering Conference, Notre Dame, Indiana, USA.



Gazili olmak ayrıcalıktır