



**MATKAP YARIK TALAŞ AÇISININ (GASHING RAKE ANGLE) FARKLI
MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Yafes ÇAVUŞ

**DOKTORA TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MART 2023

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.

İmza

Yafes ÇAVUŞ

06/03/2023

MATKAP YARIK TALAŞ AÇISININ (GASHING RAKE ANGLE) FARKLI MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

(Doktora Tezi)

Yafes ÇAVUŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2023

ÖZET

Bu çalışmada, delme işlemlerinde performansı etkileyen en önemli parametrelerden biri olan matkap takım geometrisinin bugüne kadar göz ardı edilmiş bir bileşeni olan “matkap yarık talaş açısının (gashing rake angle)” delinebilirliğe etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı matkap yarık açısına sahip ($+10^\circ$, 0° ve -10°) yekpare sementit karbür matkaplar tasarlanıp üretilmiş ve matkap yarık talaş açısının farklı işlenebilirlik özellikleri sergileyen malzemelerin (AISI 4140, Ck45, GGG50, Aa 7075 T6) delinebilirliği incelenmiştir. Kesme parametreleri olarak üç farklı ilerleme miktarı ve kesme hızı seviyeleri seçilmiştir. Bu kapsamda yapılan deneysel çalışmalarda yarık talaş açısının itme kuvveti, delme momenti, takım aşınması, delik kalitesi (yüzey pürüzlülüğü ve çaptan sapma) üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Farklı malzemeler için malzemeye özgü yarık talaş açısının ve kesme parametrelerinin belirlenmesi deneysel verilerin Taguchi destekli Varyans Analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Sonlu Elemanlar Metodu destekli Talaş Kaldırma Analizleri de yapılarak deneysel çalışma ve analizlerden elde edilen itme kuvveti ve delme momenti verileri karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda Yarık Talaş Açısının (YTA) itme kuvveti üzerinde AISI 4140 ıslah çeliği için %65,9 ve Aa 7075 T6 alaşımı için %69,5 ANOVA sonuçlarına göre en etkili parametre olduğu görülmüştür. Ck 45 imalat çeliği (%60,5) ve GGG50 küresel grafitli dökme demir (%66) için ise ilerleme miktarı itme kuvveti üzerinde en etkili parametre olmuştur. Farklı malzemelerin delinmesinde oluşan delme momentlerinde ilerleme miktarı daha etkin parametre iken YTA'nın da önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. AISI 4140 ıslah çeliği, Ck 45 imalat çeliği ve GGG50 küresel grafitli dökme demirin delinmesinde matkapta radyal ağız aşınması, esas kesici kenar aşınması ve krater aşınması olduğu tespit edilmiştir. Aa 7075 T6 alaşımının delinmesinde ise bu malzemelerden farklı olarak helis kanalında talaş yığılması olduğu da gözlenmiştir. Yapılan Sonlu Elemanlar destekli Talaş Kaldırma Analizlerinden alınan veriler, deneysel sonuçları destekler nitelikte olup malzemeye özgü yarık talaş açısı seçiminde yol gösterici sonuçlar vermektedir.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : İşlenebilirlik, delik delme, delik kalitesi, takım geometrisi, yarık talaş açısı, Sonlu Elemanlar Analizi, Taguchi Metodu, ANOVA

Sayfa Adedi : 136

Danışman : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

İkinci Danışman : Doç. Dr. Harun GÖKÇE

THE EFFECT OF DRILL GASHING RAKE ANGLE ON MACHINABILITY OF DIFFERENT MATERIALS

(Ph. D. Thesis)

Yafes ÇAVUŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2023

ABSTRACT

In this study, it is aimed to investigate the effect of "drill rake angle", on drillability, which is one of the most important parameters affecting performance in drilling operations, which has been ignored until now. For this purpose, solid cemented carbide drills with different drill gashing rake angles ($+10^\circ$, 0° and -10°) were designed and produced, and the drillability of the materials (AISI 4140, Ck45, GGG50, Aa 7075 T6) with different machinability characteristics of the drill slot rake angle were investigated. Three different feed rate and cutting speed levels were selected as cutting parameters. In this context, the effects of gashing rake angle on thrust force, drilling moment, tool wear, hole quality (surface roughness and deviation from diameter) were investigated in experimental studies. Determination of material-specific gashing rake angle and cutting parameters for different materials was carried out by Taguchi-assisted Analysis of Variance of experimental data. In addition, the Finite Element Method supported Chip Removal Analysis was performed and the thrust force and drilling moment data obtained from the experimental studies and analyses were compared. In experimental studies, Gashing Rake Angle was found to be the most effective parameter on the thrust force according to the ANOVA results of 65.9% for AISI 4140 tempered steel and 69.5% for Aa 7075 T6 alloy. The feed rate was the most effective parameter on the thrust force for Ck 45 carbon steel (60.5%) and GGG50 ductile cast iron (66%). It has been observed that while the feed rate is the more effective parameter in the drilling moments formed in the drilling of different materials, YTA has a significant effect. Radial flank wear, main cutting edge wear and crater wear were found in the drill when drilling AISI 4140 tempered steel, Ck 45 carbon steel and GGG50 spheroidal graphite cast iron. In the drilling of Aa 7075 T6 alloy, it was also observed that chip built up occurred in the helix channel, unlike these materials. The data obtained from the Finite Element Supported Chip Removal Analyses supports the experimental results and gives guiding results in the selection of material-specific gashing rake angle.

Science Code : 91438

Key Words : Machinability, drilling, hole quality, tool geometry, gashing rake angle
Finite Element Analysis, Taguchi method, ANOVA

Page Number : 136

Supervisor : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Harun GÖKÇE

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmam süresince vermiş oldukları her türlü destek ve katkılarıyla beni yönlendiren çok değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Ulvi ŞEKER ve Doç. Dr. Harun GÖKÇE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez İzleme Kurulu üyesi hocalarım Prof. Dr. İhsan KORKUT ve Prof. Dr. Turgay KIVAK'a yapmış oldukları katkı ve yönlendirmelerden dolayı teşekkür ederim. Değerli görüş ve katkılarını esirgemeyen Dr. Şükran KATMER'e, Dr. Öğretim Üyesi Kutay AYDIN'a ve Öğr. Gör. Tuncer DEMİREL'e, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan kıymetli eşim, annem ve babama teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, 221M191 numaralı TÜBİTAK 1002 Hızlı Destek Projesi ile desteklenmiş olup, bu desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a ve farklı yarık talaş açısına sahip matkapların üretimi ve temini için katkı sağlayan Karcan Kesici Takım Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi ile Seçil KURT ARİFOĞLU'na teşekkür ederim.

Ayrıca burada adını sayamadığım her zaman destekleri ile yanımda olan tüm dostlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. GGG50 Küresel Grafitli Dökme Demirin (KGDD) Delinmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	3
2.2. Aa 7075 T6 Alaşımının Delinmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	4
2.3. AISI 4140 Islah Çeliğinin Delinmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar	8
2.4. Ck45 (AISİ 1045) İmalat Çeliğinin Delinmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	10
2.5. Matkap Geometrisi ile İlgili Çalışmalar	13
2.4. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi.....	15
3. KURAMSAL TEMELLER	17
3.1. Delik Delme.....	17
3.2. Delik Delme Parametreleri	19
3.3. Kesme Kuvvetleri ve Delme Momenti	21
3.4. Uç Geometrisine Göre Matkap Türleri	23
3.5. Matkaplarda Aşınma	27

	Sayfa
3.6. Delik Kalitesini Belirleyen Faktörler	29
3.6.1. Yüzey pürüzlülüğü.....	29
3.6.2. Dairesellik (Çaptan sapma)	31
3.6.3. Silindiriklik.....	31
3.6.3. Diklik	32
3.7. Taguchi Metodu.....	32
3.8. Sonlu Elamanlar Destekli Talaş Kaldırma Analizleri.....	33
4. MALZEME ve METOT.....	35
4.1. İş Parçası Malzemeleri	35
4.2. Matkap Tasarımı ve Geometrileri	36
4.3. Deneysel Yöntem	37
4.3.1. Kesme parametrelerinin belirlenmesi	37
4.3.2. Kesme kuvvetlerinin ve momentin ölçülmesi.....	38
4.3.3. Numunelerin hazırlanması	39
4.3.4. Delik kalitesinin ölçülmesi.....	40
4.3.5. Yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi.....	41
4.3.6. Kesici takım aşınmasının ölçülmesi	42
4.4. Bilgisayar Destekli Talaş Kaldırma Analizleri.....	43
4.5. Taguchi Deney Tasarımı ile Ara Değer Tahmini ve İstatiksel Değerlendirme .	48
5. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME	51
5.1. AISI 4140 Islah Çeliği İçin Bulgular ve Değerlendirme	51
5.1.1. İtme kuvveti.....	53
5.1.2. Delme momenti.....	55
5.1.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğü	58

	Sayfa
5.1.4. Çaptan sapma	59
5.1.5. Takım aşınması	60
5.1.6. Talaş formları	62
5.2. Ck 45 İmalat Çeliği İçin Bulgular ve Değerlendirme	63
5.2.1. İtme kuvveti.....	65
5.2.2. Delme momenti.....	67
5.2.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğü	70
5.2.4. Çaptan sapma	71
5.2.5. Takım aşınması	72
5.3. GGG50 Küresel Grafitli Dökme Demir İçin Bulgular ve Değerlendirme.....	74
5.3.1. İtme kuvveti.....	76
5.3.2. Delme momenti.....	78
5.3.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğü	80
5.3.4. Çaptan sapma	81
5.3.5. Takım aşınması	83
5.4. Aa 7075 T6 Alaşımı İçin Bulgular ve Değerlendirme	84
5.4.1. İtme kuvveti.....	84
5.4.2. Delme momenti.....	87
5.4.2. Ortalama yüzey pürüzlülüğü	89
5.4.43. Çaptan sapma	91
5.4.4. Takım aşınma	93
5.5. Yarı Talaş Açısının Delmeye Etkilerinin Değerlendirilmesi.....	93
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	97
KAYNAKLAR	103

Sayfa

EKLER.....	112
EK-1. AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde matkap ucunda meydana gelen aşınma görüntüleri	113
EK-2. AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde matkap talaş yüzeyinde meydana gelen aşınma görüntüleri.....	115
EK-3. AISI 4140 ıslah çeliğinin deneysel ve TKA ile delinmesinde oluşan talaşların kıyaslanması	118
EK-4. Ck 45 imalat çeliğinin delinmesinde matkap ucunda meydana gelen aşınma görüntüleri	121
EK-5. Ck 45 imalat çeliğinin delinmesinde matkap talaş yüzeyinde meydana gelen aşınma görüntüleri	123
EK-6. GGG50 KGDD'in delinmesinde matkap ucunda meydana gelen aşınma görüntüleri	126
EK-7. GGG50 KGDD'in delinmesinde matkap talaş yüzeyinde meydana gelen aşınma görüntüleri	128
EK-8. Aa 7075 T6 alaşımının delinmesinde matkap ucunda meydana gelen aşınma görüntüleri	132
EK-9. Aa 7075 T6 alaşımının delinmesinde matkap talaş yüzeyinde meydana gelen aşınma görüntüleri	133
ÖZGEÇMİŞ	136

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. GGG50 KGDD'in delinmesi ile ilgili literatür özeti	4
Çizelge 2.2. Aa 7075 T6 alaşımının delinmesi ile ilgili literatür özeti.....	7
Çizelge 2.3. AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesi ile ilgili literatür özeti.....	9
Çizelge 2.4. Ck 45 imalat çeliğinin delinmesi ile ilgili literatür özeti.....	12
Çizelge 2.5. Delik delmede matkap geometrisi ile ilgili literatür özeti.....	14
Çizelge 3.1. Radyal ağız inceltme türleri	20
Çizelge 3.2. Matkap aşınma türleri	24
Çizelge 4.1. GGG50 küresel grafitli dökme demirin kimyasal kompozisyonu (Ağırlık%).....	35
Çizelge 4.2. AISI 4140 ıslah çeliğinin kimyasal kompozisyonu (Ağırlık%).....	35
Çizelge 4.3. Ck 45 imalat çeliğinin kimyasal kompozisyonu (Ağırlık%)	35
Çizelge 4.4. Aa 7075 T6 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Ağırlık%).....	35
Çizelge 4.5. Deney malzemelerinin mekanik özellikleri	36
Çizelge 4.6. CTS 20D karbür çubuğun özellikleri.	37
Çizelge 4.7. Tasarlanan takımın geometrik özellikleri.	37
Çizelge 4.8. Deney kesme parametreleri.....	37
Çizelge 4.9. Kistler 9272-B tipi dinamometre teknik özellikleri.....	38
Çizelge 4.10. Kistler 5070 Amplifikatör teknik özellikleri	39
Çizelge 4.11. GGG50 Johnson-Cook parametresi	44
Çizelge 4.12. Kontrol faktörleri ve seviyeler.....	49
Çizelge 4.13. Taguchi L9 ortogonal deney tasarımı.	49
Çizelge 5.1. AISI 4140 için deneysel çalışma ve ara değer tahmin sonuçları	52
Çizelge 5.2. AISI 4140 ıslah çeliği için deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvveti sonuçları	53

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.3. AISI 4140 ıslah çeliği deneysel itme kuvveti değerleri için ANOVA sonuçları	54
Çizelge 5.4. AISI 4140 ıslah çeliği deneysel ve SEA destekli TKA delme momenti sonuçları.....	55
Çizelge 5.5. AISI 4140 ıslah çeliği deneysel delme momenti değerleri ANOVA sonuçları	57
Çizelge 5.6. AISI 4140 ıslah çeliği Ra değerleri ANOVA sonuçları.....	58
Çizelge 5.7. AISI 4140 ıslah çeliği çaptan sapma değerleri ANOVA sonuçları	59
Çizelge 5.8. AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesindeki takım aşınma sonuçları	61
Çizelge 5.9. Ck45 için ara değer tahmin sonuçları	64
Çizelge 5.10. Ck 45 imalat çeliği için TKA ve deneysel çalışmadan elde edilen itme kuvveti sonuçları	65
Çizelge 5.11. Ck 45 imalat çeliği deneysel itme kuvveti değerleri için ANOVA sonuçları.....	66
Çizelge 5.12. CK45 imalat çeliği için deneysel ve SEA destekli TKA delme momenti sonuçlar	68
Çizelge 5.13. Ck 45 imalat çeliği deneysel delme momenti değerleri ANOVA sonuçları.....	69
Çizelge 5.14. Ck 45 imalat çeliği Ra değerleri ANOVA sonuçları	70
Çizelge 5.15. Ck 45 imalat çeliği çaptan sapma değerleri ANOVA sonuçları.....	71
Çizelge 5.16. Ck 45 imalat çeliğinin delinmesindeki takım aşınma sonuçları	73
Çizelge 5.17. GGG50 KGDD için ara değer tahmin sonuçları.....	75
Çizelge 5.18. GGG50 KGDD deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvveti sonuçları .	76
Çizelge 5.19. GGG50 KGDD deneysel itme kuvveti değerleri için ANOVA sonuçları.....	77
Çizelge 5.20. GGG50 KGDD için deneysel ve SEA destekli TKA delme momenti sonuçları.....	78
Çizelge 5.21. GGG50 KGDD deneysel delme momenti değerleri ANOVA sonuçları..	79
Çizelge 5.22. GGG50 KGDD Ra değerleri ANOVA sonuçları	81

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.23. GGG50 KGDD çaptan sapma değerleri ANOVA sonuçları	82
Çizelge 5.24. GGG50 KGDD'in delinmesinde takım aşınma sonuçları	83
Çizelge 5.25. Aa 7075 T6 alaşımı deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvveti sonuçları.....	85
Çizelge 5.26. Aa 7075 T6 alaşımı deneysel itme kuvveti değerleri için ANOVA sonuçları	86
Çizelge 5.27. Aa 7075 T6 alaşımı için deneysel ve SEA destekli TKA delme momenti sonuçları	87
Çizelge 5.28. Delme momenti sonuçlarının ortalamları için Varyans Analiz sonuçları.....	88
Çizelge 5.29. Aa 7075 T6 alaşımı için ortalama yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları	89
Çizelge 5.30. Aa 7075 T6 alaşımı Ra değerleri ANOVA sonuçları	90
Çizelge 5.31. Aa 7075 T6 alaşımı çaptan sapma sonuçları.....	91
Çizelge 5.32. Aa 7075 T6 alaşımı çaptan sapma değerleri ANOVA sonuçları.....	92

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Delik türleri.....	17
Şekil 3.2. Delik delmede çap-boy ilişkisi	17
Şekil 3.3. Helisel matkabın terminolojisi.....	18
Şekil 3.4. Delik delmenin şematik gösterimi	20
Şekil 3.5. Matkap ucuna etki eden kuvvetler	21
Şekil 3.6. Konik uçlu matkap.....	23
Şekil 3.7. Spiral uçlu matkap	25
Şekil 3.8. Radyal kesici ağızlı matkap	26
Şekil 3.9. Bickfort uçlu matkap	26
Şekil 3.10. Üç ağızlı matkap	27
Şekil 3.11 Yüzey pürüzlülük değerleri	30
Şekil 3.12. Merkezin belirlenmesi yöntemleri.....	31
Şekil 3.13. Silindiriklik.....	32
Şekil 3.14. Diklik.....	32
Şekil 3.15. Minimum eleman şekilleri.....	34
Şekil 4.1. Matkap teknik resmi	37
Şekil 4.2. Yarı talaş açıları gösterimi.....	37
Şekil 4.3. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	38
Şekil 4.4. Deneylerden ölçülen kesme kuvvetleri ve delme momenti ekran görüntüsü	39
Şekil 4.5. Malzemelere delik yerleşim planı.....	40
Şekil 4.6. İş parçası bağlanması.....	40
Şekil 4.7. CMM ölçüm sonuçları çıktı ekranı.....	41

Şekil	Sayfa
Şekil 4.8. Yüzey pürüzlülük ölçümü şematik gösterimi	42
Şekil 4.9. Takım aşınması ölçüm cihazı	43
Şekil 4.10. Third Wave AdvantEdge malzeme kütüphanesi	44
Şekil 4.11. Deney numunesi boyutlarının tanıtılması	45
Şekil 4.12. Takım dönüş ve ilerleme yönü	45
Şekil 4.13. Takım malzemesi tanıtılması	46
Şekil 4.14. Kaplamanın tanıtılması	46
Şekil 4.15. Kesme parametreleri giriş ekranı	47
Şekil 4.16. Minimum eleman uzunluğu parametre ekranı	48
Şekil 5.1. Deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvveti sonuçlarının kıyaslaması	54
Şekil 5.2. İtme kuvveti tahmin değerleri için etki grafiği	55
Şekil 5.3. Deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvveti sonuçlarının kıyaslaması	56
Şekil 5.4. Tahmin delme momenti ANOVA sonuçlarının etki grafiği	57
Şekil 5.5. Ortalama yüzey pürüzlülüğü etki grafiği	59
Şekil 5.6. Çaptan sapma tahmin değerleri için etki grafiği	60
Şekil 5.7. Takım aşınma kıyaslaması	62
Şekil 5.8. Ck45 çeliği için deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvvetleri kıyaslanması	66
Şekil 5.9. Deneysel çalışma için itme kuvveti etki grafiği	67
Şekil 5.10. Ck45 imalat çeliği için sanal simülasyon ve deneysel çalışmadan elde edilen delme momenti sonuçlarının kıyaslanması	68
Şekil 5.11. Deneysel çalışma için delme momenti etki grafiği	69
Şekil 5.12. Ortalama yüzey pürüzlülüğü tahmin değerleri için etki grafiği	71
Şekil 5.13. Çaptan sapma tahmin değerleri için etki grafiği	72
Şekil 5.14. Ck 45 için aşınma miktarı kıyaslaması	74

Şekil	Sayfa
Şekil 5.15. GGG50 KGDD için deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvvetleri kıyaslaması	77
Şekil 5.16. Deneysel çalışma itme kuvveti etki grafiği	78
Şekil 5.17. GGG50 KGDD için sanal simülasyon ve deneysel çalışmadan elde edilen delme momenti sonuçlarının kıyaslanması.....	79
Şekil 5.18. Deneysel çalışma için delme momenti etki grafiği.....	80
Şekil 5.19. Ortalama yüzey pürüzlülüğü etki grafiği	81
Şekil 5.20. Çaptan sapma tahmin değerleri için etki grafiği.....	82
Şekil 5.21. Matkap aşınma miktarı kıyaslanması	84
Şekil 5.22. Al7075 için sanal simülasyon ve deneysel çalışmadan elde edilen itme kuvveti sonuçlarının kıyaslanması	86
Şekil 5.23. Deneysel çalışma için itme kuvveti etki grafiği	87
Şekil 5.24. Al7075 için sanal simülasyon ve deneysel çalışmadan elde edilen delme momenti sonuçlarının kıyaslanması	88
Şekil 5.25. Deneysel çalışma için delme momenti etki grafiği.....	89
Şekil 5.26. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ANOVA sonuçları için etki grafiği.....	90
Şekil 5.27. Çaptan sapma ANOVA sonuçları için etki grafiği	92
Şekil 5.28. Yarık talaş açısının kama açısına etkisi	92

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Esas kesici kenar ve radyal ağız aşınması (AISI 4140).....	61
Resim 5.2. Krater aşınması (AISI 4140)	61
Resim 5.3. L3 numaralı deneysel çalışma ve TKA'dan elde edilen talaşların kıyaslanması	63
Resim 5.4. L8 numaralı deneysel çalışma ve TKA'dan elde edilen talaşların kıyaslanması	63
Resim 5.5. Aşınma türleri (Ck 45).....	73
Resim 5.6. L4 (a) ve L9 (b) numaralı deneylerde zırhta meydana gelen kırılma	74
Resim 5.7. Aşınma türleri (GGG50).....	83
Resim 5.8. Aşınma türleri (Aa 7075 T6).....	93
Resim 5.9. Yarık talaş açısının çıkan talaşı deformasyonu.....	94
Resim 5.10. Ck 45 çeliğinin delinmesi sırasında alınan talaş görüntüsü	95

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

ap	Talaş genişliği veya radyal talaş derinliği, mm
A	Akma gerilmesi, MPa
B	Gerinim sertleşmesi, MPa
C	Gerinim hızı sabiti
D	Matkap çapı, mm
f_n	Devir başına ilerleme, mm/dev
F_c	Esas kesme kuvveti, N
F_r	Radyal kuvvet, N
F_z	İtme kuvveti (Thrust Force), N
F_y	Teğetsel kuvveti, N
M_z	Delme momenti, Ncm
M_c	Kesme momenti, Nm
M_f	Sürtünme momenti, Nm
m	Isıl yumuşama sabiti
n	Devir sayısı, dev/dk
R_a	Ortalama yüzey pürüzlüğü, µm
T	Referans sıcaklığı, °
T_{ergime}	Ergime sıcaklığı, °
T_{oda}	Oda sıcaklığı, °
ε	Eşdeğer plastik gerinim
é	Plastik gerinme oranı
é₀	Referans gerinim oranı

Kısaltmalar

Açıklamalar

ANOVA	Analysis of Variances (Varyans Analizi)
AISI	American Iron and Steel Industries

Kısaltmalar**Açıklamalar****ASTM**

American Society for Testing and Materials

BUE

Built-Up Edge (Kesici kenarda yığıntı talaş)

CMM

Coordinate Measuring Machine (Koordinat ölçme makinesi)

GİA

Gri İlişkisel Analiz

HSS

High speed steel (Yüksek hız çeliği)

KFTK

Karbon Fiber Takviyeli Kompozit

KGDD

Küresel Grafitli Dökme Demir

KGDD

Küresel Grafitli Dökme Demir

MMY

Minimum Miktarda Yağlama

PVD

Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Çökeltme)

SEM

Scanning Electron Microscope (Taramalı elektron mikroskobu)

SEA

Sonlu Elemanlar Analizi

TKA

Talaş Kaldırma Analizi

YTA

Yarık Talaş Açısı

1. GİRİŞ

Tüm işleme süreçleri içerisinde delik delme büyük öneme haiz olup delme işlemleri metal işleme süreçlerinin yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır ve iş parçalarından kaldırılan talaşın yaklaşık %40'ı delme işlemleri ile kaldırılmaktadır. Talaşlı imalat yöntemiyle üretimde kesici takım geometrisi, talaşın ideal kesme kuvvetlerinde kaldırılmasında, kırılmasında ve kesme bölgesinden uzaklaştırılmasında kritik öneme sahiptir. Çünkü kesici takım geometrisi, kesme şartlarını, kesme kuvvetlerini, takım ömrünü ve işleme kalitesini belirleyen karmaşık bir yapıdır ve işlemin verimini belirler [1-3].

Geleneksel iki ağızlı matkaplar, bütün kesici takımlar arasında en yaygın kullanılan ve en karmaşık geometriye sahip olanlardır. Bu takımlarda hem uç geometrisi hem de ilerleme miktarı dâhil tüm kesme parametreleri, delinecek malzemeye göre farklılık göstermektedir [4]. Matkap geometrisi, delme sürecinde, matkabin iş parçası malzemesi yüzeyinde konumlandırılması ve batması, kesme kuvvetlerinin azaltılması, talaşın kırılması, talaşın tahliyesi, matkabin delik eksenini takibi, titreşim ve takım ömrü gibi parametrelerde belirleyici faktördür. Matkabin uç bölgesi, iş parçasıyla ilk temas eden ve işlem süresince talaş kaldıran kısım olduğu için matkap geometrisi ve uç açıları kritik öneme sahiptir [5].

Matkap geometrisinde, matkabin en uç bölgesini oluşturan radyal ağız, talaşın ilk kaldırılmaya başlandığı ve işleme esnasında matkabin pozisyonlandırılmasını sağlayan bölümdür. Enine kesici kenarın talaş açısı negatif olduğundan delme işlemi esnasında karşı konulan ilerleme kuvvetinin büyük bir kısmı bu bölgede oluşur. Yeterli uzunluğa sahip olmayan bir enine kesici kenar matkap, işleme esnasında parça üzerinde pozisyonlandırılamaz. Bu problemi gidermek için matkap ucuna, matkap yarığı (split/gash) olarak adlandırılan ek yüzeyler oluşturulur. Matkap yarığının amacı, enine kesici kenarın kısılmasına katkı sağlayarak ikincil kesici kenarın pozitif talaş açılı olmasını sağlamak ve enine kesici kenarın kaldırdığı talaşı helis kanalına yönlendirmektir. Bu amaçla, matkap yarık yüzeyi (split/gash) ile enine kesici kenar belirli bir açıda birleşerek, enine kesici kenarın kaldırdığı talaşa talaş yüzeyi görevini yapmaktadır. Matkap yarık talaş açısı (gash rake angle) olarak bilinen bu açı, matkap eksenini ile yarık yüzeyinin oluşturduğu talaş yüzeyi arasındaki açıdır.

Matkapla delik delmede, talaş kaldırma işleminin kapalı alanda olması, diğer imalat yöntemlerine göre daha çok özen gösterilmesini gerektirmektedir [6]. Çünkü bu işlemde

talaş tahliyesi ve matkap dönme ekseninde enine kesici ağzın (radyal ağız) merkezinde kesme hızı değerinin sıfır olması en temel problemlerdendir [7].

Talaş oluşumu, güç tüketimi ve geometrik toleranslarda belirleyici faktör olan ilerleme miktarı en önemli parametrelerden biridir. Yüksek ilerleme miktarı, kolay talaş kontrolü, daha düşük kesme süresi gibi olumlu yönlerinin yanında düşük delik kalitesine sebep olurken, düşük ilerleme miktarı talaş yüzeyinde aşınmalara, kesici kenarda talaş yığılmalarına ve zor talaş kontrolüne neden olmaktadır. Dolayısıyla bu problemler arzu edilmeyen kalitede (yüzey pürüzlülüğü, silindiriklik, dairesellik, diklik vb.) delik elde edilmesine sebep olmaktadır [8-11].

Kesme kuvveti, bir malzemenin işlenebilirliğini gösteren parametrelerden biridir [12,13]. Genellikle, işleme esnasında düşük kesme kuvvetleri istenmektedir. Kesme kuvvetleri, işlenmiş yüzeyin kalitesini etkilemekle birlikte matkapların takım ömrünü de etkilemektedir [1,14]. Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetlerini etkileyen en önemli parametrelerden birisi de matkap geometrisidir. Kesme kuvvetlerini etkileyen bir diğer önemli parametre ise talaş- talaş yüzeyi temas uzunluğunun olması ve temas uzunluğunun da talaş açısıyla bağlantılı olmasıdır.

Bu çalışmada, delme işlemlerinde performansı etkileyen en önemli parametrelerden biri olan matkap takım geometrisinin bugüne kadar çok az çalışılmış bir bileşeni olan “matkap yarık talaş açısının (gashing rake angle)” farklı malzemelerin delinebilirliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın gerekçesini; matkap yarık talaş açısının kesme kuvvetleri ve delme momentini azaltacağı, delik kalitesi arttıracığı ve takım ömrünü ise uzatacağı öngörüsü oluşturmaktadır. Bu kapsam dâhilinde farklı matkap yarık açısına sahip yekpare sementit karbür matkaplar tasarlanıp ürettirilerek, matkap yarık talaş açısının demir alaşımlarının ve demir dışı malzemelerin delinmesindeki etkileri incelenmiştir. Farklı malzemeler üzerinde yarık talaş açısının belirlenmesi suretiyle malzemeye özel yarık talaş açısının ve kesme parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yapılan deneysel çalışmanın yanında Sonlu Elemanlar Metodu ile çalışma matematiksel olarak modellenmiş, deneysel çalışma ve matematiksel modellemeden elde edilen veriler karşılaştırılarak modelin doğruluğu ve geçerliliği tespit edilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. GGG50 Küresel Grafitli Dökme Demirin (KGDD) Delinmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Yavuz ve diğerleri, GGG50 KGDD delinmesinde matkap geometrisinin delme performansı ve delik kalitesine etkilerini araştırmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma ve itme kuvveti açısından en iyi sonuçların en büyük boşluk açısı ve küçük radyal ağız uzunluğuna sahip matkap geometrisinden elde etmişler olup, matkap geometrisinin delme işlemi üzerinde önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir [15].

Yavuz ve diğerleri, farklı matkap geometrileri ve kesme parametreleriyle GGG50 KGDD malzemesinin delinmesinde, takım aşınması ve oluşan talaş formlarına etkilerini değerlendirmiştir. İlerleme miktarının artmasıyla matkapta meydana gelen radyal ağız aşınmasının arttığı belirtilmiştir [16].

Yazman ve diğerleri, farklı mikro yapıya sahip üç farklı sınıf KGDD (GGG40, GGG50, GGG60) numune üzerinde, farklı kesme parametreleri kullanılarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından işlenebilirlik deneyleri yapmışlardır. Deney sonucunda kesme hızlarının artmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin de arttığı ayrıca mikro yapıdaki perlit miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi değerlerin GGG40 malzemesinden elde edildiği belirtilmiştir [17].

Öztürk, GGG50 KGDD farklı helis uzunluklarındaki AlCrN kaplamalı sementit karbür matkaplarla farklı kesme parametreleri ile delinmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğü ve dairesellikten sapmaya olan etkilerini incelemiştir. Sonuçlar incelendiğinde matkap helis boyunun artmasıyla ovalite ve ortalama yüzey pürüzlülük değeri artmaktadır [18].

Tusset ve diğerleri, GGG50 küresel grafitli dökme demirin kuru kesme şartlarında mikro geometriye sahip takım ile delinmesinde takımda meydana gelen aşınmaları, ortalama yüzey pürüzlülüğü ve çaptan sapma miktarlarını araştırmışlardır. Kullanılan bütün takımlarda belirli bir delik sayısından sonra kesme kenarında yuvarlanmaların meydana geldiği belirtilmiştir. Ayrıca farklı takım kaplama malzemelerinde farklı aşınma türlerinin de (yanak aşınması ve krater aşınması) olduğu görülmüştür [19].

Ertuğrul ve diğerleri, GGG25 ve GGG40 KGDD malzemelerin farklı çaplardaki sementit karbür matkaplarla delinmesini Taguchi L9 ortogonal dizinini kullanarak matkaplarda meydana gelen aşınmaları deneysel olarak araştırmışlardır. Deney sonucunda matkaplarda birden fazla aşınma türünün (serbest yüzey aşınması, kesici uç aşınması ve kesme kenarından tanecik kopması) oluştuğunu belirtmişlerdir. Kesici kenardan tanecik kopması matkap çapının artması ve ilerleme hızına bağlı olarak artmıştır. GGG40 KGDD'in delinmesinde GGG25 KGDD'in delinmesine göre daha çok aşınma meydana geldiği görülmüştür [20].

GGG50 küresel grafitli dökme demirin delinmesi ile ilgili literatürde yapılan çalışmaların özeti Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. GGG50 KGDD'in delinmesi ile ilgili literatür özeti

Kaynak no	Çalışma türü	Delme parametreleri	Kesici takım türü	İncelenen kriterler
[15]	Deneysel	Matkap geometrisi, kesme hızı, ilerleme miktarı	Karbür	İtme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma ve radyal ağızdaki BUE
[16]	Deneysel	Matkap geometrisi, kesme hızı, ilerleme miktarı	Karbür	Talaş formu ve takım aşınması
[17]	Deneysel	Kesme hızı, ilerleme miktarı	Karbür	İtme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü
[18]	Deneysel	Kesme hızı, ilerleme miktarı, matkap boyu	Karbür	Yüzey pürüzlülüğü ve dairesellikten sapma
[19]	Deneysel	Matkap geometrisi, kesme hızı, ilerleme miktarı	Karbür	Takım aşınması
[20]	Deneysel	Kesme hızı, ilerleme miktarı, matkap çapı	Karbür	Takım aşınması

2.2. Aa 7075 T6 Alaşımının Delinmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Yaşar ve diğerleri, Aa 7075 alaşımının delinmesinde üç farklı uç açısına sahip matkap, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Artan ilerleme miktarına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı, artan uç açısıyla ise ortalama yüzey pürüzlülüğünün düştüğü sonucuna varmışlardır [21].

Ucun, Aa 7075 T6 alaşımının 2 ağızlı ve 3 ağızlı matkaplar ile delinmesini deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Nümerik çalışmadan elde edilen veriler ile deneysel çalışmadan

elde edilen verilere yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca iki ağızlı matkapla elde edilen itme kuvveti, delme momenti ve takım gerilmeleri 3 ağızlı matkaba göre daha düşük çıkmaktadır [22].

Kılıçkap, Aa 7075 alaşımının delinmesinde uç açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının çapak yüksekliği ve ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini Taguchi ve Yüzey Cevap Metodolojisini kullanarak incelemiştir. En düşük çapak yüksekliği ve en iyi yüzey pürüzlülüğü için düşük ilerleme miktarı ve kesme hızı ile büyük uç açısının kullanılmasına yapılan analizler sonucunda varılmıştır [23].

Yarar ve diğerleri, Aa 7075 alaşımının farklı temper değerlerinin standart HSS matkaplarla delinmesindeki itme kuvveti, delme sıcaklığı, takım aşınması, yüzey bütünlüğü ve talaş oluşumu açısından Yüzey Cevap Metodolojisi yöntemini kullanarak incelemişlerdir. İtme kuvveti ve delme momentinin devir sayısından ziyade ilerleme miktarının artmasıyla arttığı ve delme sıcaklarının düşük devirlerde ve düşük ilerleme miktarlarında daha düşük çıktığı yapılan analiz sonuçlarında görülmektedir. Ayrıca delik kalitesi açısından en iyi sonucun T6 temper değerinden elde edildiği bu temper değerindeki malzeme delinirken sürekli talaş oluştuğu belirtilmiştir [24].

Luo ve diğerleri Aa 7075 T6 alaşımının standart matkap geometrisi ile delinmesini deneysel ve teorik olarak araştırmışlardır. Deneysel çalışma sonuçlarında ilerleme hızının artmasının itme kuvveti ve delme momentini devir sayısına göre daha çok arttırdığı, ayrıca delik kalitesi açısından düşük ilerleme hızı ile yüksek devir sayısının daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Yapılan Sonlu Elemanlar Analizine göre ilerleme hızının artmasıyla kesme kenarında sıcaklığın artmaktadır. Deneysel çalışmadan elde edilen talaş geometrileri ile Sonlu Elemanlar Analizinden elde edilen talaş geometrilerin birbirine benzer oldukları görülmektedir [25].

Lauderbaugh, Al 2024 T351 ve Aa 7075 T6 alaşımının delinmesinde çıkış bölgesi çapak yüksekliği, itme kuvveti ve sıcaklık tahmin edilmesi için deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlardan nümerik model oluşturmuştur. Elde edilen sonuçlarda ilerleme hızının azalması ve radyal kesici ağız uzunluğunun kısılması ile oluşan çapağın yüksekliğinin azalacağı belirtilmektedir [26].

Çaydaş ve Çelik, Aa 7075 T6 alaşımının farklı uç açılarına sahip matkaplarla delinmesinde kesme parametrelerinin etkileri incelenmiştir. İlerleme hızının artması ve uç açısının artmasıyla itme kuvvetinin ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı, takım uç sıcaklıklarının azaldığı belirtilmiştir [27].

Erkan, yaptığı çalışmada Aa 7075 T6 alaşımının farklı uç açılarına sahip matkaplarla farklı kesme parametreleri ile delinmesini deneysel ve SEA destekli simülasyon çalışmaları ile incelemiştir. Deneysel çalışmada ortalama yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrelerin sırasıyla kesme hızı, ilerleme hız ve uç açısı olduğu belirtilmiştir [28].

Patel ve Jagadish, farklı uç açısına sahip matkapla ile farklı kesme hızı ve ilerleme miktarı değerlerinin yüzey pürüzlülüğü, itme kuvveti, silindiriklikten ve dairesellikten sapma üzerine etkilerini “Kriterler arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önem Tespiti” yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Ayrıca deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak “Genetik algoritma, Parçacık sürü optimizasyon, Öğretme öğrenme tabanlı optimizasyon ve Jaya algoritması” yöntemlerini kullanarak optimum delme koşullarını belirleyen birer model oluşturmuşlardır. Jaya algoritmasından elde edilen tahmin değerlerinin deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara yakın olduğu belirtilmiştir. Deneysel çalışma sonuçları incelendiğinde itme kuvveti için en yüksek etkiyi ilerleme miktarı gösterirken, silindiriklikten sapma için uç açısı ve ilerleme miktarı etkileşimi en önemli parametre olduğu görülmektedir [29].

Çakır Şencan ve diğerleri Aa 7075 ve Al 2024 alaşımlarının delinmesinde farklı soğutma yöntemlerinin etkilerini Taguchi deney tasarım yöntemini kullanarak incelemişlerdir. En düşük takım aşınması ve delik kalitesi sapma değerleri geleneksel soğutma yönteminden elde edildiği Minimum Miktarda Yağlama yönteminin geleneksel soğutmaya yakın değerler verdiği görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ve delik kalitesi açısından en etkili parametrenin soğutma yöntemi olduğu belirtilmiştir [30].

Yaşar, Aa 7075 alaşımının delinmesini SEA destekli simülasyon çalışmalarıyla itme kuvvetini modellerken, deneysel çalışmadan itme kuvveti sonuçları ile elde edilen delik yüzey pürüzlülük değerlerini araştırmıştır. Elde edilen veriler GİA analiz yöntemiyle analiz edilmiş olup, itme kuvveti için en etkili parametrenin ilerleme miktarı, yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin ise kesme hızı değeri olduğu görülmektedir. Yapılan SEA destekli simülasyon çalışmasından elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasında %4,9 sapma

olduğu görülmektedir, bu da oluşturulan modelin uygulanabilirliğini göstermektedir [31].

Günay ve diğerleri, Aa 7075 alaşımının delinmesinde itme kuvveti için delme parametrelerinin optimizasyonu üzerine çalışma yapmışlardır. Üç farklı uç açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarı kullanılarak deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan Varyans Analiz sonuçlarına göre %94,43 ile ilerleme miktarının itme kuvveti üzerinde en etkili parametre olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü açısından büyük uç açısı ve düşük ilerlemenin en iyi sonuçları verdiği görülmektedir [32].

Habib ve diğerleri, Aa 7075-T6 alaşımının 130° uç açısı ve 30° helis açısına sahip HSS kaplamasız matkaplarla kuru kesme şartlarında delinmesinde devir sayısı ve ilerleme miktarının çaptan sapma, dairesellik ve ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Devir sayısının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerleme miktarının artmasıyla ise yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirtilmiştir. Devir sayısının artmasıyla çaptan sapma değerinin arttığı, ilerleme miktarının artmasıyla ise azaldığı görülmektedir. Ayrıca girişte meydana gelen çapak oluşumunun çıkışta meydana gelen çapağa göre daha az olduğu görülmüştür [33].

Aa 7075 T6 alaşımının delinmesi ile ilgili literatürde yapılan çalışmaların özeti Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Aa 7075 T6 alaşımının delinmesi ile ilgili literatür özeti

Kaynak no	Çalışma türü	Delme parametreleri	Kesici takım türü	İncelenen kriterler
[21]	Deneysel ve SEA	Uç açısı, kesme hızı, ilerleme miktarı	Karbür	İtme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü
[22]	Deneysel ve SEA	Matkap geometrisi, kesme hızı, ilerleme miktarı	İki ve üç ağızlı karbür	İtme kuvveti, delme momenti ve gerilme
[23]	Deneysel ve YCM	Kesme hızı, ilerleme miktarı ve uç açısı	HSS	Yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliği
[24]	Deneysel, SEA, YCM	Temper durumu, devir, ilerleme miktarı	HSS	Yüzey kalitesi, itme kuvveti, ısı oluşumu ve talaş oluşumu
[25]	Deneysel ve SEA	Kesme hızı, ilerleme hızı	Karbür	İtme kuvveti, delme momenti, takım aşınması, sıcaklık, çapak oluşumu ve yüzey pürüzlülüğü

Çizelge 2.2. (devam) Aa 7075 T6 alaşıminın delinmesi ile ilgili literatür özeti

[26]	Deneysel ve analitik	İlerleme miktarı, devir, matkap çapı, uç ve helis açısı	-	Çıkış bölgesindeki çapak yüksekliği, sıcaklık ve itme kuvveti
[27]	Deneysel	Uç açısı, sabit kesme hızı, ilerleme miktarı	Karbür	İtme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık
[28]	Deneysel ve SEA	Uç açısı, kesme hızı, ilerleme miktarı	HSS	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, itme kuvveti ve sıcaklık
[29]	Deneysel	Uç açısı, kesme hızı, ilerleme miktarı	HSS	Silindiriklik, dairesellik, yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvveti
[30]	Deneysel	Soğutma koşulları, kesme hızı, ilerleme miktarı	Karbür	Yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma, ovalite, diklik ve takım aşınması
[31]	Deneysel ve SEA	Matkap geometrisi, kesme hızı, ilerleme miktarı	Karbür	Yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvveti
[32]	Deneysel	Uç açısı, kesme hızı, ilerleme miktarı	Karbür	İtme kuvveti
[33]	Deneysel	Devir ve ilerleme miktarı	HSS	Talaş oluşumu, yüzey pürüzlülüğü, dairesellik ve çapak yüksekliği

2.3. AISI 4140 Islah Çeliğinin Delinmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Meral ve diğerleri, AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde matkap uç ve kanal geometrisinin delik performansı üzerine etkilerini Taguchi L16 dizinine göre araştırmışlardır. Yapılan analiz sonuçlarına göre matkap uç ve kanal geometrisinin yüzey pürüzlülüğü, itme kuvveti ve delme momenti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür [34].

Yalçın ve Yılmaz, PVD yüzey kaplama metoduyla TiN kaplanmış matkaplarda takım aşınmasını incelemişlerdir. TiN kaplamalı matkapların, kaplamasız olanlara nazaran 5-8 kat daha fazla çalışma ömrüne sahip olduğunu belirtmiş olup ark PVD tekniği ile TiN kaplanması sayesinde, yüksek kesme özellikleri kazandırılarak takım performansının arttırılabileceğini ortaya koymuşlardır [35].

Üllen ve Önenç sıcak dövülmüş AISI 4140 ıslah çeliğine uygulanan ısıl işlemin delinebilirliğine etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde 5 mm çapında kaplamasız ve TiAlN kaplamalı HSS matkaplar kullanılmış olup kesme hızı ve ilerleme miktarı sabit tutulmuştur. İş parçası malzemeleri sıcak dövme sonrası ısıl işlemsiz; normalizasyon uygulanmış, normalizasyon uygulanmış ve su verilmiş; normalizasyon uygulanmış, su verilmiş ve temperlenmiş; normalizasyon uygulanmış, su verilmiş, kriyojenik işlem uygulanmış ve

temperlenmiş olarak 5 farklı malzeme kullanılmıştır. Isıl işlem sonrası malzemenin sertleşmesi yüzey pürüzlülüğünü azaltmaktadır. Normalizasyon uygulanmış ve su verilmiş malzemenin delik kalitesi açısından en iyi değerleri verdiği belirtilmiştir [36].

Krivokapic ve diğerleri, EN 42CrMo4 (AISI 4140) ıslah çeliğinin delinmesinde üç farklı matkap çapı, devir sayısı, ilerleme miktarı ve iş parçası bağlama açısına bağlı olarak meydana gelen delme momentinin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine etkisini Yapay Sinir Ağları yöntemini kullanarak araştırmışlardır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı görülmektedir. Oluşturulan Yapay Sinir Ağları modelinin ortalama yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesinde yol gösterici sonuçlar verdiği belirtilmiştir [37].

Açay ve diğerleri, AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde esas kesici kenar radyüsü, kesme hızı ve ilerleme miktarının delme momenti ve itme kuvveti üzerine etkisini araştırmışlardır. İtme kuvveti ve delme momenti üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğu görülmektedir. Esas kesici kenar radyüsünün artmasıyla delme momenti ve itme kuvvetinin azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca esas kesici kenar radyüsünün artmasıyla meydana gelen yanak aşınması azalma eğilimi göstermektedir [38].

AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesi ile ilgili literatürde yapılan çalışmaların özeti Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesi ile ilgili literatür özeti

Kaynak no	Çalışma türü	Delme parametreleri	Kesici takım türü	İncelenen kriterler
[34]	Deneysel	Matkap geometrisi, kesme hızı, ilerleme miktarı	Karbür	Çaptan sapma, silindiriklik, diklik ve eş merkezlilik
[35]	Deneysel	Kaplama	Karbür	Takım aşınması
[36]	Deneysel	Isıl işlem, sabit kesme hızı ve sabit ilerleme miktarı	HSS	Yüzey pürüzlülüğü
[37]	Deneysel ve YSA	Kesme hızı, ilerleme miktarı, matkap çapı	Karbür	Delme momenti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması
[38]	Deneysel	Esas kesici kenar radyüsü, kesme hızı ve ilerleme miktarı	Karbür	Takım aşınması, itme kuvveti ve delme momenti

2.4. Ck45 (AISI 1045) İmalat Çeliğinin Delinmesi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Lofti ve diğerleri AISI 1045 imalat çeliğinin HSS matkaplarla 3 farklı devir sayısında ve 3 farklı ilerleme miktarında delinmesini deneysel ve SEA destekli simülasyon çalışmalarıyla meydana gelen ısı, aşınma ve kesici kenarda talaş yapışmasına etkilerini araştırmışlardır. İlerleme miktarının artmasıyla meydana gelen ısıнын kesici kenar üzerinden serbest yüzeye doğru yayılmasının arttığı ve kesici kenarda talaş yapışmasının da arttığı görülmüştür. Meydana gelen ısıнын büyük çoğunluğu esas kesici kenar üzerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca ilerleme miktarının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerinin de arttığı belirtilmiştir [39].

Hariharan ve diğerleri AISI 1045 çeliğinin delinmesinde farklı uç ve helis açılarının etkilerini SEA destekli simülasyon ve deneysel çalışmalar ile araştırmışlardır. Uç açısının küçülmesiyle meydana gelen itme kuvvetinin ve ısıнын azaldığını bildirmişlerdir [40].

Nan ve diğerleri, AISI 1045 çeliğinin küçük çaplı matkaplarla delinmesini SEA destekli simülasyon çalışmaları ve deneysel olarak araştırmışlardır. Yapılan çalışmada radyal kesici ağzının delmeye olan etkileri incelenmiş olup, matkabın batması ve ilk talaşın oluşumunda etkili olduğu belirtilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmalarından ve deneysel çalışmadan elde edilen talaşlar kıyaslandığında simülasyon gerçek talaş ile aynı görüntüyü verdiği görülmektedir. Devir sayısının artmasıyla itme kuvveti ve delme momentinin önemli ölçüde azaldığı, ilerleme miktarının artmasıyla da arttığı belirtilmiştir [41].

Amini ve diğerleri, MMY ve ultrasonik titreşim yönteminin AISI 1045 çeliğinin deneysel olarak delinmesinde itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini En Küçük Destek Vektör Makineleri yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Ultrasonik titreşim yöntemiyle delme geleneksel delme yöntemine göre güç gereksinimi %14 azaltmakla beraber, yüzey pürüzlülüğünü ise %11 oranında iyileştirmektedir. Bu yöntem MMY ile birlikte kullanıldığında itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Ultrasonik delme işleminde talaşın geleneksel yöntemle göre daha çabuk kırıldığı belirtilmiştir [42].

Govindaraju ve diğerleri, geleneksel soğutmanın ve likit nitrojen ile soğutmanın AISI 1045 çeliğinin delinmesindeki yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü

açısından etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Likit nitrojen ile delmenin kesme sıcaklıklarını %6 ile %51 arasında düşürdüğü belirtilmiştir. Kriyojenik soğutmada da geleneksel soğutma yöntemine göre ilerlemenin artmasıyla itme kuvvetinin arttığı görülmektedir. Kriyojenik soğutma yönteminden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri geleneksel soğutma yönteminden daha iyi olduğu (%100-%470) görülmektedir. Ayrıca esas kesici kenarda talaş yapışması meydana gelmediği küçük miktarlarda çıtlamaların oluştuğu belirtilmiştir [43].

Khan ve diğerleri, HSS matkaplar ile AISI 1045 çeliğinin delinmesinde kesme hız, ilerleme miktarı ve delik derinliğinin takım ömrü, dairesellik ve silindiriklik üzerine etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Delik derinliğinin artmasıyla bitirme yüzeyinin ve delik kalitesinin arttığı belirtilmiştir. İlerleme miktarı ve kesme hızının düşmesiyle takım ömrü artmaktadır. Takımlarda radyal ağız çevresinde kesici kenarda talaş yapışması, esas kesici kenarda yuvarlanmalar şeklinde aşınmalar meydana gelmiştir [44].

Arunkumar ve diğerleri, AISI 1045 çeliğinin derin delinmesinde kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme sıvısı basıncının bitmiş delik kalitesine etkilerini Taguchi Deney Tasarımını kullanarak GİA yöntemiyle incelemişlerdir. Deneylerde 10 mm çapında matkap kullanarak 120 mm derinliğinde delik delinmiştir. Devir sayısının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı fakat silindiriklik ve dairesellik değerlerinin iyileştiği belirtilmiştir. Kesme sıvısı basıncının artması da dairesellik ve silindirikliği iyileştirmektedir [45].

Zhang ve diğerleri, mikro matkaplar ile AISI 1045 çeliğinin delinmesinde uç geometrisinin, kesme hızının ve ilerleme miktarının itme kuvveti, takım aşınması, takım ömrü ve delik kalitesi üzerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Ayrıca taşlama parametrelerini kullanarak ucun daha iyi bir merkezleme yapabilmesi için mikro matkap ucu tasarımı için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Dairesellik açısından merkezleme geometrisine sahip mikro matkabın geleneksel geometriye sahip matkaptan daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca ilerleme miktarının azalmasıyla takım ömrü artmaktadır. Merkezleme geometrili mikro matkapta radyal ağız uzunluğu geleneksel geometriye göre daha uzun olduğundan itme kuvveti açısından daha yüksek sonuçlar vermektedir [46].

Sakuma ve diğerleri, farklı uç geometrilerine sahip matkaplar ile AISI 1045 çeliğinin delinmesinde matkap geometrisi ve boyunun merkezleme hassasiyetine olan etkilerini

araştırmışlardır. Deneylerde geleneksel geometrinin yanında farklı yarık yüzeylerine sahip matkaplar da kullanılmıştır. Deliğe ilk girişte çok küçük ilerleme miktarının kullanılması ile merkezlemenin daha başarılı yapılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca matkap boyunun artması ve dönmenin etkisiyle matkabın salgı yaptığı merkezden kaçmaya sebep verdiği, kısa matkap uçları ile daha hassas bir merkezleme yapılacağı görülmüştür [47].

Meral ve diğerleri, AISI 1050 imalat çeliğinin delinmesinde kaplamalı ve kaplamasız matkapların farklı kesme parametreleri ile delinmesini Taguchi L9 deney dizinini kullanarak optimize etmişlerdir. İtme kuvveti için ilerleme miktarının en etkili parametre, ortalama yüzey pürüzlülüğü için ise matkap yarı çapının ve ilerleme miktarının en düşük seviyeleri ile kesme hızının en yüksek seviyesinde optimum değeri verdiği bildirilmiştir [48].

Ck 45 imalat çeliğinin delinmesi ile ilgili literatürde yapılan çalışmaların özeti Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Ck 45 imalat çeliğinin delinmesi ile ilgili literatür özeti

Kaynak no	Çalışma türü	Delme parametreleri	Kesici takım türü	İncelenen kriterler
[39]	DeneySEL ve SEA	Devir, ilerleme miktarı	HSS	Yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık ve takım aşınması
[40]	DeneySEL ve SEA	Uç ve helis açısı, kesme hızı, ilerleme miktarı	HSS	İtme kuvveti, sıcaklık, efektif gerilme ve gerinim
[41]	DeneySEL ve SEA	Matkap çapı, radyal ağız, kesme hızı, ilerleme miktarı	Karbür	Talaş oluşumu, itme kuvveti ve delme momenti
[42]	DeneySEL	MMY, ultrasonik delme	HSS	Yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvveti
[43]	DeneySEL	Soğutma yöntemi, kesme hızı ve ilerleme miktarı	HSS	İtme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü
[44]	DeneySEL	İlerleme miktarı, kesme hızı ve delik derinliği	HSS	Takım ömrü, dairesellik, silindiriklik ve takım aşınması
[45]	DeneySEL	Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme sıvısı basıncı	HSS	Yüzey pürüzlülüğü, dairesellik ve silindiriklik
[46]	DeneySEL	Matkap geometrisi, kesme hızı, ilerleme miktarı	HSS	İtme kuvveti, takım aşınması, takım ömrü ve delik kalitesi
[47]	DeneySEL	Matkap geometrisi, değişken ilerleme miktarı	HSS	Merkezleme
[48]	DeneySEL	Kaplama türü, ilerleme miktarı, kesme hızı ve matkap çapı	Karbür	İtme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü

2.5. Matkap Geometrisi ile İlgili Çalışmalar

Selvam ve Sujatha, takım geometrisini optimize etmek için malzeme sertliği, radyal ağız açısı, helis açısı, uç açısı ve deformasyona bağlı olarak SEM oluşturmuşlardır. Yapılan analizler sonucunda radyal ağız açısının artmasıyla radyal ve açısal sapmalar artarken eksenel sapmalar azalmaktadır. Uç açısının belirli bir uzunluğundan sonra radyal ve açısal sapmalar sabit kalmaktadır. Küçük matkap çaplarında ilerleme hızı ve malzeme sertliğine bağlı olarak her üç yönde de sapmalar belirgin bir şekilde artmaktadır. Radyal ağız uzunluğunun kısalmasıyla radyal, açısal ve eksenel sapmaların azaldığı belirtilmiştir [49].

Paul ve diğerleri, konik, Racon ve helisel uç geometrisine sahip matkaplarla AISI 1018 çeliğinin delinmesinde radyal kesici kenar ve esas kesici kenarın itme kuvveti ve delme momenti üzerine etkisini araştırmışlardır. Optimize edilen konik uç geometrisine sahip matkap ile yapılan çalışmada itme kuvveti ve delme momentinde önemli bir düşüş söz konusudur. Delme işlemlerinde kullanılan matkaplarda radyal kesici ağızın ve esas kesici kenarların geometrisinin itme kuvveti ve delme momenti oluşumunda etkili parametreler olduğu belirtilmiştir [50].

Chen ve diğerleri, yarık yüzeyli matkabın itme kuvvetlerini ve delme momentini tahmin etmek için yarık parametrelerini ve değiştirilmiş bir kuvvet modeli kullanarak SEA gerçekleştirmişlerdir. Geliştirilen modelde çentik açısının itme kuvveti ve delme momenti üzerine etkileri ortaya konulmuştur. Çentik aşınmasının 57.7° ye kadar azalmasıyla itme kuvveti delme momenti, gerilme ve maksimum yer değiştirmede azalma meydana gelirken bu değerden sonra yükselmeler meydana gelmektedir [51].

Han-Min ve diğerleri, kavisli esas kesici kenar geometrili matkaplar ve standart geometrili matkaplar delme işleminde matkap uç şekli ile uç açılarının arasındaki ilişkinin anlaşılabilmesi için SEA yöntemini kullanarak bir model oluşturmuşlardır. AISI 1045 çeliği için yapılan deneysel çalışmada sabit devir sayısı ve ilerleme miktarı kullanılmıştır. Kavisli kesici kenara sahip matkap ile delme momentinin standart matkaba göre %25 azaldığı fakat itme kuvvetinde gözle görülür bir değişim olmamaktadır. Takım ömrü açısından kavisli esas kesici kenara sahip matkabın standart matkaba göre yaklaşık 2 kat daha fazla ömrüne sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yapılan analizlerde bir matkabın esas kesici kenarı boyunda istenilen talaş açısı dağılımının oluşturulabileceği söylenmiştir [52].

İşbilir ve Ghassemieh, KFTK'in delinmesinde farklı kat oranlarındaki kademeli matkaplar ve standart matkapların itme kuvveti, delme momenti ve delaminasyon üzerindeki etkilerini deneysel ve 3B SE modeli ile incelemişlerdir. Oluşturulan modelden ve yapılan deneysel çalışmadan elde edilen verilere göre kademeli matkaplar ile yapılan delme analizlerinde delme momenti, itme kuvveti ve uyarılmış delaminasyonda büyük oranda azalmalar görülmüştür. Yapılan modelin KFTK'in delinmesi sırasında kullanılacak takımın optimize edilmesi için yaklaşık sonuçlar vermektedir. Ayrıca delaminasyon ve malzemede meydana gelen gerilmeler, matkap geometrisinin değiştirilmesi ile azalacağı belirtilmiştir [53].

Feito ve diğerleri, özel matkap geometrisinin ve takım aşınmasının itme kuvveti ve delaminasyon üzerindeki etkilerini SEA yöntemini kullanarak araştırmışlardır. Çalışmalarında standart geometrili, kademeli ve esas kesici kenara pah kırılmış matkaplar kullanmışlardır. Model, farklı ilerleme hızı ve kesme hızı değerleri için itme kuvvetini ve delaminasyonu tahmin etme yeteneğini göstermiştir. Ayrıca model tahminleri, takım geometrisinin delaminasyon üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir [54].

Delik delmede kullanılan matkapların geometrisi ile ilgili literatürde yapılan çalışmaların özeti Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Delik delmede matkap geometrisi ile ilgili literatür özeti

Kaynak no	Çalışma türü	Delme parametreleri	Kesici takım türü	İncelenen kriterler
[49]	Deneysel ve SEA	Kesme hızı, ilerleme miktarı, radyal ağız açısı, helis açısı, uç açısı ve malzeme sertliği	HSS	Merkezleme
[50]	Deneysel ve nümerik	Matkap geometrisi, radyal ağız, esas kesici kenar, kesme hızı, ilerleme miktarı	-	İtme kuvveti, delme momenti
[51]	Deneysel ve nümerik	Matkap yarık geometrisi, kesme hızı, ilerleme miktarı	-	İtme kuvveti, delme momenti, gerilme ve maksimum yer değiştirme
[52]	Deneysel ve nümerik	Matkap uç geometrisi	-	İtme kuvveti ve delme momenti
[53]	Deneysel ve nümerik	Matkap geometrisi, kesme hızı ve ilerleme miktarı	Karbür	İtme kuvveti, delme momenti ve delaminasyon
[54]	Deneysel ve nümerik	Matkap geometrisi, kesme hızı ve ilerleme miktarı	HSS	İtme kuvveti ve delaminasyon

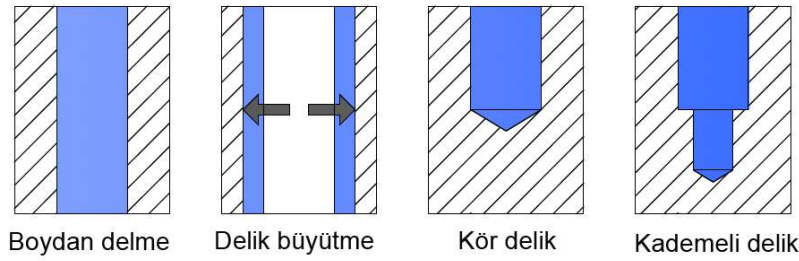
2.6. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

Delik delme sürecinde işleme performansına etki eden faktörlerden kesici takım türü ve uç geometrisi, iş parçası malzemesi, delik çapı, tezgâh rijitliği, soğutma sıvısı, kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametreleri ile ilgili çeşitli araştırmaların yapıldığı tespit edilmiştir. Takım ömrü ve matkap uç geometrisi üzerine yapılan çalışmaların çokluğu dikkat çekmektedir. Bunlar, ağırlıklı olarak, matkap uç geometrisinin kesme kuvveti üzerindeki etkisini ortaya koyan ve optimum kesme şartlarını belirlemek için matkap uç geometrisindeki değişiklikleri inceleyen çalışmaları kapsamaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda, özellikle uç geometrisine bağlı olarak, kesme kuvveti ve moment ile ilgili çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir. Takım ömrünü belirleyen, aşınma ve aşınmaya sebep olan kesme kuvvetleri ve momentleriyle ilgili yapılan çalışmalarda, uç geometrisi haricinde kesme hızı, ilerleme, delik çapı, tezgâh rijitliği gibi faktörlerin etkileri de çeşitli deneysel ve teorik çalışmalarla incelenmiştir. Kaplama uygulaması ve matkap uç geometrisindeki modifikasyonların matkabın aşınması üzerinde en belirgin etkiye sahip parametreler oldukları bu çalışmalarla tespit edilmiştir. Bahsedilen geometrik unsurların ve kesme parametrelerinin delme işlemindeki rolleri detaylı olarak araştırılmış olup, matkap geometrisi çalışılırken, yarık talaş açısının ihmal edilen bir parametre veya geometrik unsur olduğu dikkat çekmektedir. Literatürde matkap geometrisinin bir bileşeni olarak yarık talaş açısıyla ilgili bir çalışmaya rastlanmamış olup bu çalışmada, talaşlı imalatla önemli bir yeri olan matkapla delik delme işlemlerinde, matkap geometrisinin çalışılmamış bir bileşeni olarak matkap yarığı ve yarık talaş açısının (gashing rake angle), işlenen malzemeye göre optimize edilmesi amaçlanmıştır.

3. KURAMSAL TEMELLER

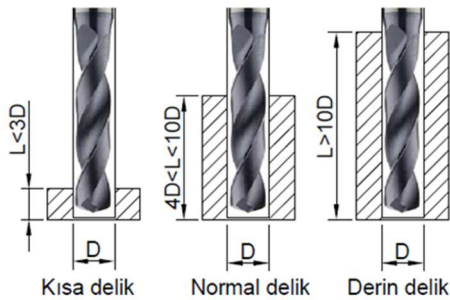
3.1. Delik Delme

Delik delme, kendi eksenini etrafında dönmek bir kesici takımın (matkap) sabit bir iş parçasına doğru doğrusal hareket yaparak talaş kaldırması ve bu talaş kaldırma işlemi sonucunda parça üzerinde boydan boya, kör ya da kademeli bir delik (Şekil 3.1.) oluşturulması işlemidir. Delinen deliklerin çoğu makine parçalarının makine elamanlarıyla (cıvata, perçin vb.) montaj edilmesi için kullanılırken mil göbek bağlantısı, kalıp pimleri gibi hassasiyet gerektiren deliklere de ihtiyaç duyulmaktadır.



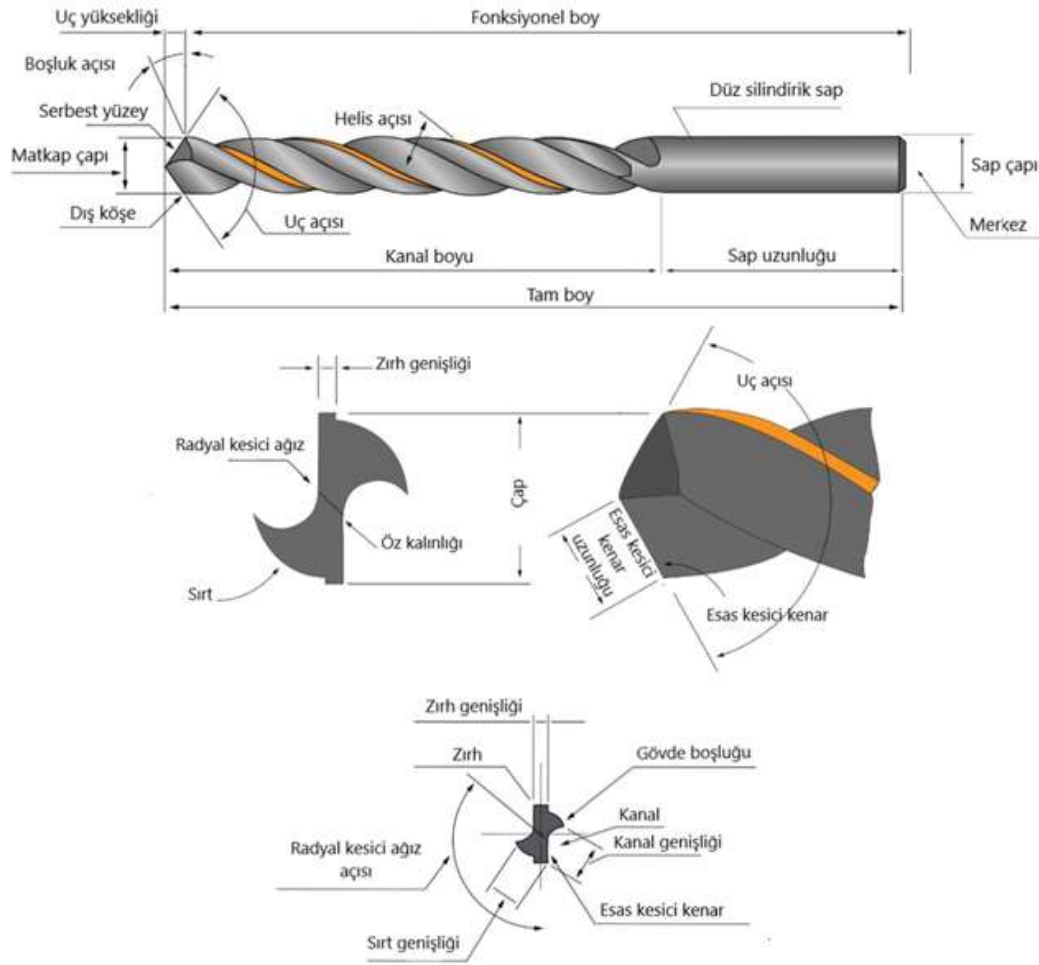
Şekil 3.1. Delik türleri

Diğer talaşlı imalat yöntemleri ile kıyaslandığında delik delme karmaşık bir yapıya sahiptir. Kapalı alanda gerçekleşmesi oluşan talaşın kırılması ve tahliyesi gibi güçlükleri ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple delinen deliğin boyu büyük bir öneme sahiptir. Delik boyu (L), delik çapının 10 katından daha büyük ise bu delikler derin (uzun) delik olarak adlandırılır. Delik boyu çap oranı 4-10 arasında olan deliklere normal delik, delik boyu çap oranı 3 ve daha düşük olan delikler ise kısa delik olarak adlandırılır. Şekil 3.2’de delik çapı ve boy ilişkisi verilmiştir [55].



Şekil 3.2. Delik delmede çap-boy ilişkisi

Delik delme işlemlerinde yaygın olarak iki ağızlı helisel matkaplar kullanılmaktadır. Matkap geometrisi delik delinecek iş parçası malzemesine göre farklılıklar göstermektedir. Standart iki ağızlı bir helisel matkap incelendiğinde uç, gövde ve sap olmak üzere üç kısımdan oluştuğu görülmektedir. Şekil 3.3'te standart iki ağızlı helisel matkabin kısımları ve bu kısımların oluşturmuş olduğu açılar gösterilmiştir.



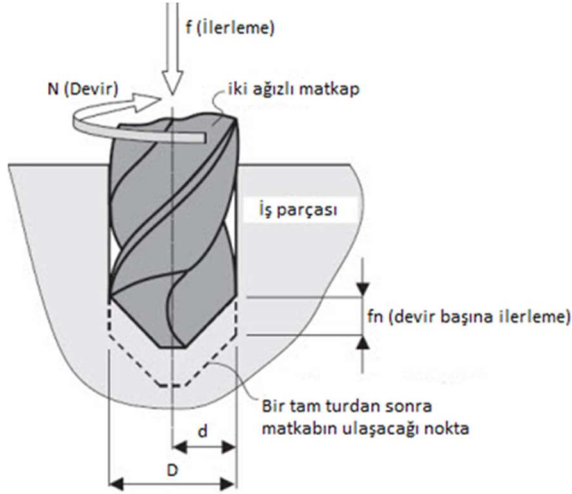
Şekil 3.3. Helisel matkap terminolojisi [56]

- Radyal kesici kenar; matkabin esas kesici kenarlarını oluşturmak için iki yan yüzeyinin taşlanmasıyla merkezde oluşan bir kör kesici kenardır. Malzemeye ilk temas ederek merkezlenmeyi sağlayan ve delmeye ilk başlanılan kesici ağızdır.
- Esas kesici kenar, asıl kesme işlemini yapan ağızlardır. Genellikle matkaplarda iki tane esas kesici kenar bulunmaktadır.
- Helis açısı, talaş açısı olarak da bilinmektedir. Helis kanallarının matkap öz eksenine yaptığı açıdır. Helis açısı delme işlemini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Açının artmasıyla beraber matkabin mukavemeti azalmaya başlamaktadır.

- Uç açısı, esas kesici kenarların arasında kalan açıdır. Matkabın uç geometrisini ve delme mekanizmasını etkileyen önemli bir parametredir. Uç açısına bağlı olarak esas kesici kenar uzunlukları değişmekte olup bu da oluşan kuvvetlere doğrudan etki etmektedir. Matkaplarda genellikle 118° uç açısı kullanılır. Fakat delinecek malzemenin türüne göre değişiklik göstermektedir. Uç açısı küçüldükçe matkabın malzemeye batması kolaylaşırken mukavemeti düşürmektedir. Bu sebepten sert malzemelerin işlenmesinde büyük uç açıları tercih edilirken yumuşak malzemelerin delinmesinde küçük uç açılı matkaplar tercih edilmektedir.
- Boşluk açısı, delik delerken, matkabın kesici ağızlarının arka yüzeyinin kesilme yüzeyine sürtünmesini engellemek için verilen açıdır. Matkap çapına, esas kesici ağız uzunluğu ve iş parçası malzemesine bağlı olarak boşluk açısı değişmektedir. Boşluk açısı, matkap çapı arttıkça azalır ve genel olarak $8^\circ - 12^\circ$ arasında olmaktadır.
- Radyal ağız açısı, matkaba uç kısmından bakıldığı zaman kesici kenar ile radyal ağız arasındaki açıdır.
- Öz kalınlığı, matkabın iki helis kanalı arasında kalan kısmının kalınlığıdır. Burulma ve eğilme dayanımını doğrudan etkileyen bir faktördür. Birçok matkapta, matkabın mukavemetini artırmak için öz kalınlığı matkabın sap kısmına doğru kalınlaşmaktadır.
- Zırh, kesici olmayan, delme esnasında boşluk sağlayan sırttaki silindirik bölgedir.
- Sap, matkabın tezgâha bağlanırken takım tutucu tarafından sıkılan kısımdır. Matkaplarda yaygın olarak silindirik ve konik sap olmak üzere iki farklı türde kullanılır. Sap çapı genellikle matkap gövdesiyle aynı çapta kullanılırken küçük çaplı matkaplarda genellikle gövdeden büyük bir çapa sahiptirler.
- Matkap gövdesi, matkabın saptan kısmından başlayarak radyal kesici kenara kadar uzanan üzerinde helisel kanallar bulunan kısımdır [57].

3.2. Delik Delme Parametreleri

Talaş kaldırma işleminin iki temel unsuru olan fiziksel temas ve göreceli hareket delik delmede işlemlerinde Şekil 3.4'te gösterildiği gibi kesici takımın kendi eksenini etrafında dönmesi ve takımın eksenini boyunca yapmış olduğu doğrusal hareket ile gerçekleşmektedir. Takımın yapmış olduğu her iki hareket delme sırasında oluşan talaşın formunu ve kesitini belirlemektedir.



Şekil 3.4. Delik delmenin şematik gösterimi

Kesme hızı (V_c)

Delik delme işlemlerinde matkap veya iş parçasının kendi ekseninde yaptığı dönüşün çevresel hızına kesme hızı denilmektedir. Kesici takım bir tam turunda iş parçası üzerinde çevresi kadar yol almaktadır. Kesici takımın çevresi tezgâha verilen devir sayısı ile çarpıldığında dakika başına takımın iş parçası üzerinde almış olduğu yol milimetre cinsinden hesaplanmış olmaktadır. Elde edilen sonuçların çok büyük çıkması ve ilerleme hızıyla karışmaması açısından metre (m/dk) cinsine çevrilmektedir. Bu da kesici takımın kesme hızını (V_c) ortaya koymaktadır. Kesme hızı Eşitlik 3.1 ile hesaplanmaktadır.

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ m/dk} \quad (3.1)$$

Burada, n (dev/dk) iş mili devir sayısı, d (mm) ise matkap çapı olarak verilmiştir.

İlerleme hızı (V_f)

Ayrıca kesici takımın yapmış olduğu doğrusal hareketler talaş kaldırma sırasında takımın iş parçası boyunca yapmış olduğu hareketin hızını belirtmektedir. Kesici takım üreticisi katalogları ve literatür incelendiğinde ilerleme hızının üç farklı türde kullanıldığı görülmektedir. Bunlar;

- Diş başına ilerleme (f_z), kesici takım üzerinde bulunan bir ağızdan diğer ağıza kadar takımın almış olduğu yolu ifade etmektedir. Birimi mm/diş'tir.

- Devir başına ilerleme (f_n), kesici takımın bir tam turunda iş parçası üzerinden almış olduğu yoldur. Eşitlik 3.2 ile hesaplanmaktadır. Birimi mm/dev'dir.

$$f_n = f_z \cdot n \quad (\text{mm/dev}) \quad (3.2)$$

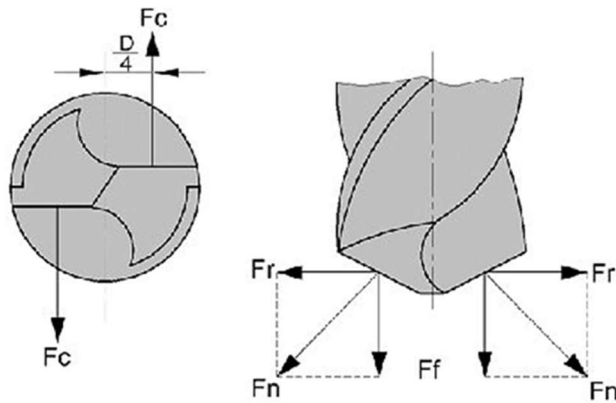
- Dakika başına ilerleme (V_f), kesici takımın bir dakikada iş parçası üzerinde yapmış olduğu doğrusal hareketin hızıdır. Birimi mm/dk'dır. Eşitlik 3.3 ile hesaplanmaktadır.

$$V_f = f_n \cdot n \quad (\text{mm/dk}) \quad (3.3)$$

3.3. Kesme Kuvvetleri ve Delme Momenti

Delik delme işlemlerinde malzemenin delinebilirliğini belirten en önemli parametrelerden birisi de oluşan kesme kuvvetleridir. Delme sırasında genellikle düşük kesme kuvvetlerinin oluşması istenmektedir. Çünkü kesme kuvvetleri, işlenmiş yüzeyin kalitesini ve kesici takımın ömrünü doğrudan etkilemektedir [1, 58, 59].

Matkaplarda genellikle iki ağız bulunduğu düşünüldüğünde her bir ağıza dik gelen kesme kuvvetleri (F_c), ilerleme hızının etkisiyle meydana gelen itme (ilerleme) kuvveti (F_f), radyal yönde meydana gelen radyal kuvvet (F_r) ve itme kuvveti ve radyal kuvvetin bileşkesi olan normal kuvvet (F_n) Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Her bir ağıza etki eden dik kuvvetler ve radyal kuvvetler eşit olduğundan birbirini dengelemektedir. Bu yüzden delme işlemlerinde etki eden en önemli parametrelerden biri olan itme kuvveti büyük önem arz etmektedir [55, 60-62].



Şekil 3.5. Matkap ucuna etki eden kuvvetler [63].

Delik delme işlemlerinde moment, kesme kuvvetlerine bağlı olarak iki farklı şekilde incelenmelidir. Birincisi F_c 'nin oluşturduğu delme (kesme) momenti (M_c), ikincisi ise F_f 'nin oluşturduğu sürtünme momenti (M_f)'dir ve delme esnasında oluşan toplam moment bu iki momentin toplamı ile elde edilir.

Delik delme kuvvetlerini etkileyen faktörler

Delik delme işleminde oluşan kuvvet ve delme momentlerin takım, tezgâh ve iş parçası üçlüsünün etkileşimi sonucu değişmektedir. Kesme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme miktarı), delik derinliği, takım-talaş temas alanı, işlenen malzemenin mekanik ve kimyasal özellikleri, tezgâh özellikleri, talaş şekli, kesme sıvısı, matkap malzemesi ve geometrisi (uç açısı, talaş açısı, uç geometrisi, boşluk açısı vb.) bu faktörlerin en önemlileri arasında yer alır [64- 66].

Matkap geometrisi kesme kuvvetlerini etkileyen önemli bir parametredir. Farklı uç geometrilerinin kullanılması ile farklı bir talaş kaldırma mekaniği içermektedir. Bu sebepten dolayı oluşan kuvvet ve momentlerde farklılık göstermektedir. Uç açısı delik delinecek iş parçası malzemesine göre artmakta ya da azalmaktadır. Uç açısı küçüldükçe matkap iş parçasına daha rahat batacaktır, artması takımın mukavemetini arttırırken oluşan kuvvetlerinin de artmasına neden olacaktır. Helis açısı talaşın tahliyesinde önemli bir rol oynarken delme momentini de etkilemektedir. Helis kanallarından kolayca atılamayan talaş sıkışarak delme momentinin artmasına neden olurken itme kuvvetine delme momenti kadar etki etmemektedir [67].

İtme kuvvetini en çok etkileyen parametreler ilerleme miktarı ve matkap çapıdır. İlerleme miktarı ve matkap çapının artmasıyla iş parçasından kaldırılacak talaş miktarı da artacağından itme kuvvetinde artış meydana gelecektir. Aynı zamanda ilerleme miktarındaki artış delmede düzensizlikler meydana getirerek titreşimlerinde artmasına neden olacaktır.

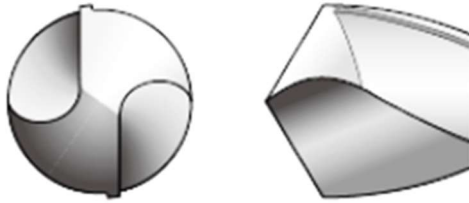
Delme yapılacak malzeme cinsi de itme kuvveti ve delme momentinde etkilidir. Yumuşak malzemelerin delinmesinde oluşan itme kuvvetleri düşük çıkarken sertliğin artmasıyla beraber oluşan kuvvetlerde de artışlar meydana gelmektedir.

Delik delme sırasında matkapta sürtünmenin etkisiyle oluşan ısı matkapta aşınmanın hızlanmasına neden olarak takım ömrünü kısaltmaktadır. Aşınmaların takım geometrisini değiştirmesi ile talaş kaldırma zorlaşmakta, meydana gelen kuvvet ve delme momentlerinde artışlar meydana gelmektedir. Isı artışını engellemek ve takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltmak için kesme sıvıları kullanılmaktadır. Böylece takım aşınması gecikecek, sürtünmenin de azalmasıyla kesme kuvvetlerinde düşüşler olacaktır.

3.4. Uç Geometrisine Göre Matkap Türleri

Konik uçlu matkaplar

Delik delme işlemlerinde en yaygın kullanılan matkap türüdür (Şekil 3.6). Genellikle uç açısı 118° 'dir. Talaş açıları negatif bir değere sahiptir (-50° ile -60°). Bu tür matkaplar ile delik delmede ilk batma sırasında matkabın merkezlenmesi zordur. Malzeme ile temas ettiğinde merkezde hızın sıfır ve radyal ağzın düz olmasına bağlı olarak takım iş parçası üzerinde salgı yapmaktadır. Hassasiyetin düşük olduğu işlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.



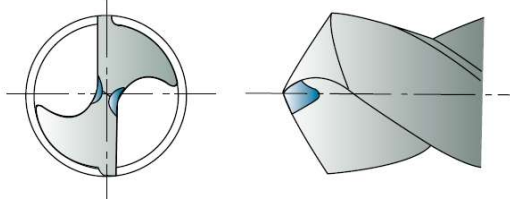
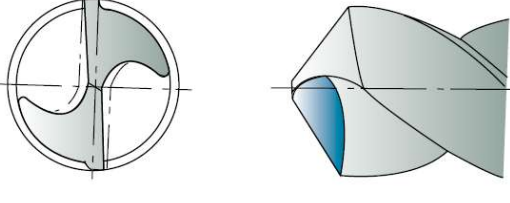
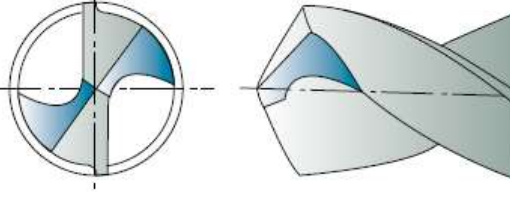
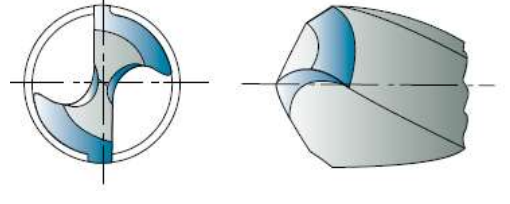
Şekil 3.6. Konik uçlu matkap [68]

Yarık (Split) Uçlu matkaplar

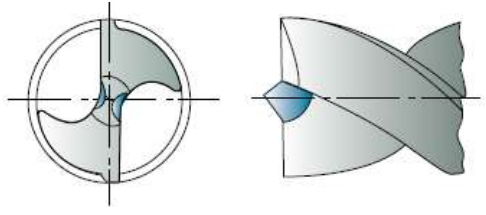
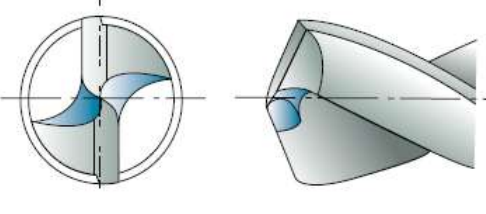
Radyal ağız, matkap çapına kıyasla küçük bir uzunluğa sahiptir. Konvansiyonel matkaplarda radyal ağız kısmı malzemeyi kesmez fakat yüksek plastik deformasyon oranı ile malzemeyi yüzeyini tarayarak deformasyona uğratar. Bu nedenle iş parçasına nüfuz etmesinin yanı sıra itme kuvvetinin oluşmasında yaklaşık %50-60 oranında katkıda bulunduğu, geri kalan itme kuvvetinin ise esas kesici kenarlarda meydana gelmektedir [69]. Bu nedenle, izin verilen penetrasyon oranını artırmak için bileşke itme kuvvetinin azaltılması çok önemlidir. Bileşke kuvvetlerin azaltılması için, radyal ağız uzunluğunun azaltılması veya radyal ağız uç geometrisinin iyileştirilmesi gerekmektedir [70]. DIN 1412'ye göre ve kesici takım üreticilerinin radyal ağız inceltme ile ilgili yapılan geometrik tanımlamalar Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Bu matkaplar imalat sektöründe geniş kullanım alanına sahiptirler. Bunun

nedeni ise eksenel kuvveti azaltması, pozitif talaş açısına ve talaş kırıcı uca sahip olmasıdır. Delme esnasında oluşan gezinme eğilimini azaltır [71].

Çizelge 3.1. Radyal ağız inceltme türleri [72]

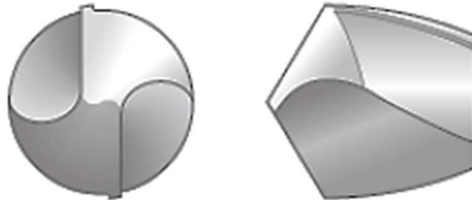
Tip A (DIN1412 FORM A) Daha ince radyal ağız, iyi talaş kaldırma ve uygun merkezlenme sağlamaktadır. Dar öz ve geniş kanallı matkaplarda rijitliğin korunması ve pürüzsüz bir talaş kaldırmaya imkân vermektedir.	
Tip B (DIN1412 FORM B) Dökme demir, alüminyum, plastik vb. gibi kesme direnci düşük ve talaş kaldırması iyi olan iş malzemeler için uygun bir geometridir. Özellikle yüksek sertliğe sahip çelikler için matkaplar tasarlandığında, talaş açısını azaltmak ve esas kesici kenarların çıtlamasını önlemek için bu tip uygulanır.	
Tip C (DIN1412 FORM C, Split point) Yarı uçlu matkaplar delme sırasında iyi bir merkezlenme sağlar, talaşları kırar, talaş kaldırması kolaydır. Isıl işlem görmüş çelikler, titanyum alaşımları, paslanmaz çelikler, inconel, gibi yüksek oranda sertleştirilmiş tok malzemelere delik delinmesinde tercih edilmektedir.	
Tip D (DIN1412 FORM D) Bu geometride dış kenara pah kırılması, kesici kenarı güçlendirmektedir. Orta ila yüksek sertliğe sahip gri dökme demir ve aşındırıcıların delinmesinde tercih edilmektedirler.	

Çizelge 3.1. (devamı) Radyal ağız inceltme türleri

Tip E (DIN1412 FORM E) Bu tip matkaplar, optimum delme merkezlenmesi sağlar ve açık deliklerde çapak bırakmaz. Uç ve kesici kenarlar hassas olduğundan, bu uç ince metal sacları delmek için kullanılmalıdır.	
Tip R Kesme kenarlara farklı yönlü kuvveti etki etmesini sağlar, oluşan talaşların kıvrılmasını, kırılmasını ve kanallardan atılmasını sağlar. Ayrıca matkap üst yüzeyi merkezinde bir talaş odası yaparak radyal ağızdan çıkan talaşların atılmasını ve merkezlenmeyi kolaylaştırır.	

Spiral uçlu matkaplar

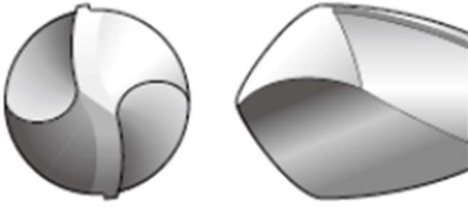
İtme kuvvetini azaltan ve matkabın kendi kendine merkezleme yapmasını sağlayan "S" şeklinde bir geometride radyal ağıza sahip matkaplardır (Şekil 3.7). Radyal ağız uzunluğunu inceltme ihtiyacını ortadan kaldırır. Genel olarak, spiral uçlu bir matkap, geleneksel bir matkaptan daha kalın bir öze sahiptir. Çünkü ince bir S-şekilli radyal ağız, yumuşak malzemeleri delerken etkinliğini sınırlar. Bu geometrinin en büyük avantajı matkap çıkışında çapak oluşumunu azaltmasıdır.



Şekil 3.7. Spiral uçlu matkap [68]

Radyal/Racon uçlu matkaplar

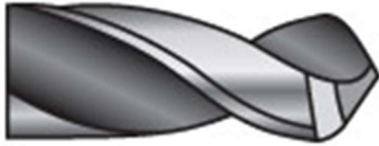
Pozitif bir talaş açısı sağlayan, yay şeklinde uç geometrisine sahip matkap türüdür. Radyal uçlu matkaplar kendinden merkezleme etkisi sağlar. Bu nedenle geleneksel bir matkaptan daha hassas delikler açabilirler. Kesici kenar geleneksel bir uçtan daha uzundur, bu da daha yüksek delme momenti ve itme kuvveti oluşmasına neden olurken aynı zamanda daha düşük kenar sıcaklıkları ve gerilmeler oluşmasına neden olur. Radyal yüzeyler dış köşedeki talaşı incelterek köşeyi ve kenar boşluğunu aşınmaya karşı korur, çapak oluşumunu azaltır ve delinmiş yüzey kalitesini ve takım ömrünü iyileştirir. Radyal matkap Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Radyal kesici ağızlı matkap [68]

Bickford uçlu matkaplar

Racon ve helisel uç geometrilerinin bir kombinasyonu şeklinde üretilmiş matkaplardır. Helisel uç matkabın merkezinde konumlanırken, racon uçlu matkabın dış kısmı için kullanılır. Bu uç, hem helisel hem de racon ucun faydalarını birleştirir. Bickfort uçlu bir matkap örneği Şekil 3.9.’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Bickfort uçlu matkap

Üç kesici ağza sahip matkaplar

Bu matkap türü üç adet esas kesici kenara sahiptir (Şekil 3.10). Delme sırasında meydana gelen titreşimi azaltma etkisi vardır. Daha hassas delik geometrisi ve daha uzun takım ömrü sağlamaktadır. Bu matkap ile yapılan delme işleminden sonra herhangi bir raybalama işlemine gerek yoktur [69].



Şekil 3.10. Üç ağızlı matkap [73]

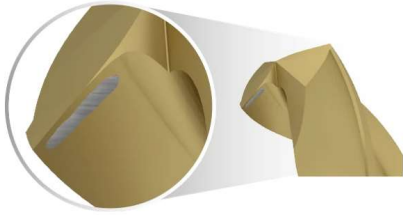
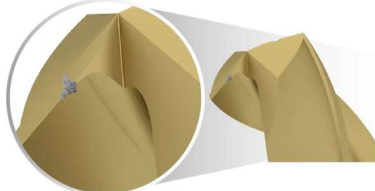
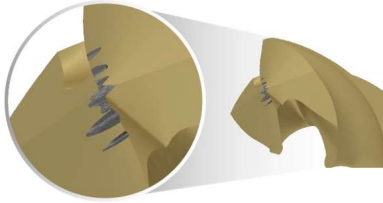
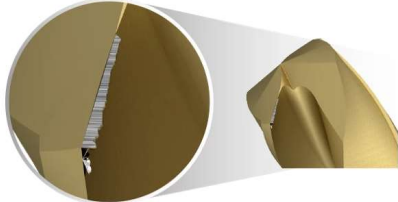
3.5. Matkaplarda Aşınma

Bütün talaşlı imalat türlerinde, talaş kaldırma işlemi sırasında meydana gelen sürtünmeye bağlı ısı oluşumu meydana gelmektedir. Oluşan ısı ve sürtünmenin etkisiyle kesici takımdan malzeme eksilmesi ya da kesici takıma talaş yapışması suretiyle aşınmalar meydana gelmektedir. DIN 50320'de aşınma; "kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişiklik" olarak tanımlanmaktadır. Bu standartta aşınmanın nedeninin difüzyon, adezyon, abrasyon ve yorulma mekanizmalarının olduğu belirtilmiştir.

İş parçasının iç yapısında ya da üretimi sırasında yüzeyinde, kesici takım malzemesinden de sert yapıda parçacıklar ya da yüzeyler bulunabilmektedir. Bu sert yapılar sürtünmenin etkisiyle kesici takım üzerinden parçacıklar koparmaya başlamaktadır. Materyal kaybı şeklinde meydana gelen aşınma, aşındırıcılarla (abrazyon) aşınma mekanizması ile meydana gelmektedir. İş parçası ile kesici takım arasında yüksek ısıyla meydana gelen kaynaklanma sonucu, metallerin birbirinden parçacık koparmasıyla ortaya çıkan metal kaybına yapışma ile (adhezyon) aşınma denir. Metallerin benzer kimyasal özellikleri nedeniyle adhezyon sırasındaki metal transferine difüzyon denir. Belirli veya tekrarlanan hareketlerin sonucunda mekanik yüklerin etkisiyle kesici takımda kalıcı şekil değişmesi veya materyal kaybı şeklinde meydana gelen aşınmalar ise yorulma aşınma mekanizması ile oluşmaktadır [74, 75].

Delik delme işlemlerinde yaygın olarak görülen aşınma mekanizmaları Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Matkap aşınma türleri [76, 77]

Krater aşınması,	
Çentiklenme,	
Radyal ağız aşınması,	
Esas kesici kenar aşınması,	
Matkap kırılması,	
Kesici kenarda talaş yığılması (BUE)	
Dış köşe aşınması	

3.6. Delik Kalitesini Belirleyen Faktörler

3.6.1. Yüzey pürüzlülüğü

Malzemedan kaldırılan talaş sonrası elde edilen yüzeyin kalitesinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir çıktı parametresidir. İşlenen yüzeylerde, pürüzlülük ve dalga olarak tanımlanan iki türlü sapma oluşmaktadır. Dalga, geometrik sapma grubuna girer ve yüzey kalitesini tayin etme açısından önemlidir. Pürüzlülük ise üretim sürecindeki problemlerden veya kesici takımdan kaynaklanan yüzey düzensizlikleri olarak tanımlanır. Yüzey pürüzlülüğü; işleme sırasında seçilen kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği vb. işleme parametrelerine bağlıdır. Diğer düzensizlikler ve kesici takımın hareketi sonu iç parçası yüzeyinde oluşan çapraz ilerleme izleri pürüzlülük olarak nitelendirilir [61]. Talaşlı imalat işleminin amacı sadece parçalara bir şekil vermek değil, bunları geometri, boyut ve yüzey bakımından parça resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir [78].

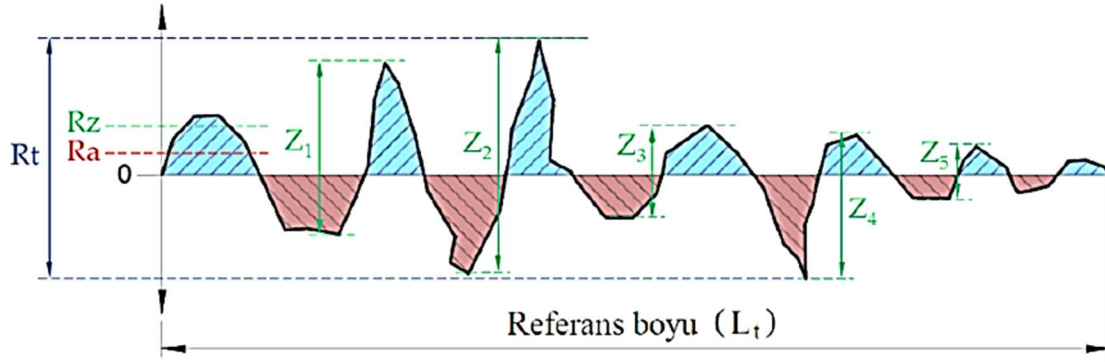
Yüzey pürüzlülüğü sadece sürtünme, yağlama ve aşınma gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda hidrodinamik, sızdırmazlık, ısı iletimi ve elektrik gibi farklı alanlarda da dikkat edilmesi gereken önemli bir faktördür. Bu nedenle makina parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin belirlenmesi oldukça önemlidir [79-80].

Yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde “ortalama çizgi” (M) ve “zarf sistemi” olarak isimlendirilen iki yöntem kullanılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü, pürüzlülük değerine bağlı olarak değişen ve “değerlendirme uzunluğu” olarak tanımlanan standart bir aralıkta ölçülmektedir [81]. Şekil 3.11’de yüzey pürüzlülüğü ölçüm parametreleri gösterilmiştir.

Yüzeyde oluşan girinti ve çıkıntıların belirli bir referans profili ve bu profilin ortalama çizgisine göre farklı değerlendirme kriterleri bulunmaktadır.

- **Ra:** Uluslararası pürüzlülük parametresidir. Yüzey profiline göre ölçüm uzunluğunda bulunan tepe ve çukurlarının alanları hesaplandığında bu alanların ortasında kalan bir referans çizgisi esas alınmaktadır. Ölçüm uzunluğunda bu referans çizginin üzerinde kalan tepe noktalarının aritmetik ortalaması olarak tanımlanmaktadır.
- **RMS:** Orta eksenin altında ve üstünde meydana gelen sapmaların geometrik ortalama değeridir.

- **Rt:** “pürüzlülük profilinin toplam yüksekliği” anlamına gelmektedir. Seçilmiş örnek uzunluk sınırlarında, profil çukurları çizgisi ile profil tepeleri arasındaki mesafe olarak tanımlanır.
- **Rz:** “10 nokta yüksekliği” olarak bilinmektedir. Ölçüm mesafesi içindeki beş ayrı çukur ve tepe noktasının yüksekliklerinin mutlak değerlerinin ortalamasıdır [82-83].



Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülük değerleri [84]

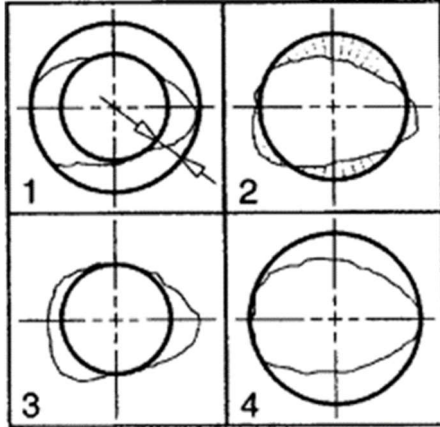
Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanı ve kullanılması kolay olanı izleyici uç ile yüzey pürüzlülüğü ölçümüdür. İzleyici uçlu cihazlar, çok sivri bir izleme ucu kullanılarak ölçüm yapılan yüzey üzerinde, yüzey düzensizliklerine çapraz yönde ve değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilirken meydana gelen titreşimlerin büyütülerek, hareketli bir şerit üzerine kaydedilmesi veya göstergedan okunması esasına dayanmaktadır [85].

3.6.2. Dairesellik (Çaptan sapma)

Dairesellikten sapma, belirli bir merkez noktadan ölçülen en büyük ve en küçük yarıçap arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Deliğin dairesellikten sapması genellikle sehim, titreşim, yetersiz yağlama ve aşınma gibi etkenlerin bir sonucudur. Ancak bir deliğin merkezinin belirlenmesinin (Şekil 3.12) çeşitli yolları vardır [84].

- En çok kullanılan metot, en küçük radyal sapmanın elde edildiği noktayı merkez olarak kabul etmektedir. Bu metot Minimum Radyal Sapma (MRS) veya Toplam İbre Okuma (TIR) olarak bilinmektedir.

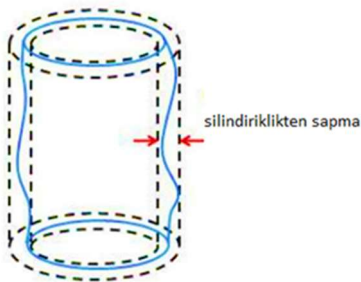
- En küçük merkez daire (LSC) metodu, merkez daire radyal koordinatlarının kareleri toplamı en küçük olan dairenin merkezidir.
- İçeri çizilebilecek en büyük daire (MIC).
- Dışarı çizilebilecek en küçük daire (MLC) [63].



Şekil 3.12. Merkezin belirlenmesi yöntemleri [86]

3.6.3. Silindiriklik

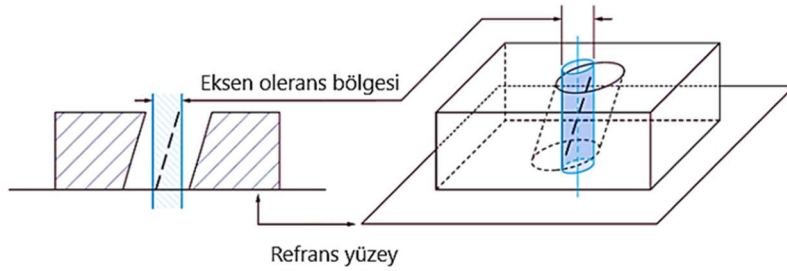
Silindiriklik, bir dönme yüzeyine ait elemanların dönme ekseninden eşit uzaklıkta bulunmaları koşuludur. Silindiriklik toleransı; yüzeyin içerisinde bulunması gereken, eş eksenli iki silindir arasındaki yarıçap farkıdır. Dolayısıyla silindiriklik, bir nesnenin gerçek bir silindire ne kadar yakın olduğunu tanımlamak için kullanılır. Bir parçanın eksen boyunca hem yuvarlak hem de düz olması gerekiyorsa, o zaman silindiriklik ölçümünden faydalanılır. Delik üzerinden en az iki daire ölçümü yapılarak saptanır. Ölçülen bu dairelerin eksenleri arasındaki fark sapma değerini vermektedir. Silindiriklikten sapmanın değerlendirilmesi ve teknik resimde gösterimi Şekil 3.13.'te gösterilmiştir [87].



Şekil 3.13. Silindiriklik [88]

3.6.4. Diklik

Diklik, referans yüzeyin veya çizginin bir referans noktası yüzeyinden veya çizgiden 90° dik veya dikey olması gereken bir koşulu ifade eder. İş parçası düzlem yüzeyi referans olarak kabul edilir, toleranslandırılmış delik ölçülür ve bu deliğin eksenini ile referans yüzey arasındaki 90° açısına göre koordinat sapmaları tespit edilir. Şekil 3.14.'te diklikten sapmanın değerlendirilmesi verilmiştir [89,90].



Şekil 3.14. Diklik [91]

3.7. Taguchi Metodu

Kesme parametrelerinin daha verimli bir şekilde seçilmesini sağlamak, harcanan zamanı ve malzemeyi azaltmak için Taguchi metodu alternatif bir yaklaşım olarak devreye girmektedir. Temel olarak Taguchi metodu, yüksek kalite sistemleri için güçlü bir yöntemdir. Maliyet, kalite ve performans tasarımlarını optimize etmek için basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Taguchi metodu son yıllarda çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Taguchi metodu, bir ürün ya da prosesin mühendislik optimizasyonunu; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı gibi üç adımlık bir yaklaşım içerisinde çözebilmeyi amaçlamaktadır [92-93].

Deneyin amacı ile ilgili tüm fikirler problemin belirlenmesi aşamasında ortaya konulmalıdır. Konu ile ilgili birimlerden (üretim planlama, pazarlama, kalite güvence) gerekli verilerin toplanması gerekir. Deney tasarımcısı, problemi belirledikten sonra ilk olarak oluşturacağı tasarımın sonucunu belirleyen süreci etkileyen faktörleri ve bu faktörlerin seviyelerini (derece) belirlemelidir. Tasarımcı belirlediği faktörleri ve bu faktörlerin seviyelerini tespit ederken daha önce bu konuda yapılan çalışmalar ile bu konudaki kendi bilgisini göz önünde tutmalıdır. Seviyeler sonuç üzerindeki etkisine göre ve uygun aralıklarla seçilmelidir [94].

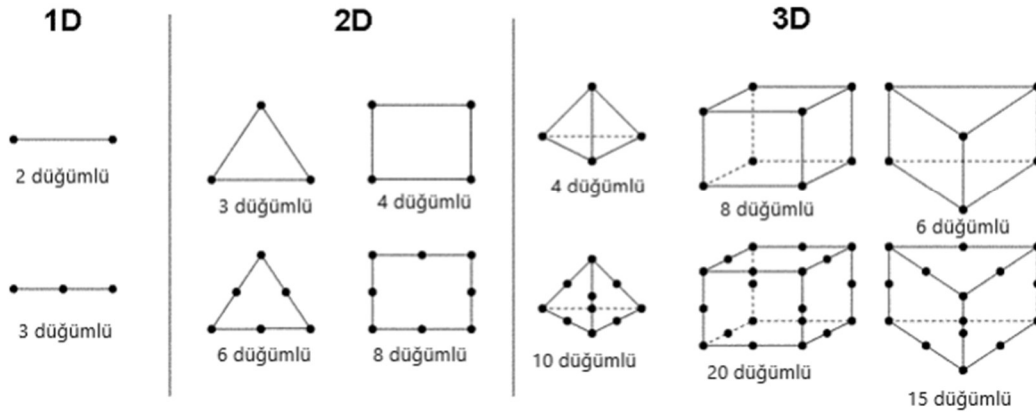
Genel olarak deneysel çalışmalarda oldukça fazla deneyle uğraşılması ve gerçekleştirme, uygulama parametreleri sayısı tahmin edilenden fazla olduğunda kullanılması oldukça zordur. Dolayısı ile Taguchi metodu, aynı anda birden fazla parametrenin analiz edilebilmesi ve daha da önemlisi bu parametrelerin daha az deney sayıları ile kontrolünü sağlamaktadır. Belirlenen yöntemlere göre aslında tüm süreçlerin 3 kritik kalite aşaması vardır. Bunlar tolerans, parametre ve sistem tasarımıdır [95, 96].

3.7. Sonlu Elemanlar Destekli Talaş Kaldırma Analizleri

Günümüzde karşılaşılan mühendislik problemlerinin çözümündeki zaman, malzeme ve emek israfının olmaması için kullanılan yöntemlerden biri de Sonlu Elemanlar destekli Talaş Kaldırma analizidir. Bu metod özellikle talaşlı imalat yöntemlerinde kesici takım – iş parçası etkileşimi sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri, moment, gerilmeler, ısı ve kütle transferi gibi faktörlerin bilgisayar ortamında sayısal modeller kullanarak tahmin edilmesini mümkün kılmaktadır.

Temel olarak analizi yapılacak olan yöntemde kullanılan kesici takım ve iş parçası sonlu eleman adı verilen küçük bileşenlere bölünür. Birbirine düğüm noktaları ile bağlı olan elemanlar ile belirli bölgelerde belli sayıda elemanlar topluluğu oluşturulur (ağ yapısı) ve bilinen bir noktadan tanımlamalar yapılarak bilinmeyen diğer düğüm noktaları çözümlenmektedir.

SEA analizlerinde ağ yapısını oluşturmak son derece önemlidir. Çünkü bu yapının küçük olması çözümün doğruluğu açısından daha yakın sonuçlar verirken çözüm süresi olarak daha uzun sürmektedir. Kullanılacak olan sonlu eleman türü problem uzayının geometrisine uygun bir şekilde seçilmelidir. Temel olarak sonlu elemanlar tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Sonlu elemanlar Şekil 3.15.'te gösterilmiştir [97].



Şekil 3.15. Minimum eleman şekilleri [98]

SEA analizlerinde kullanılacak malzemenin cinsinin doğru bir şekilde tanıtılması gerekmektedir. Bu da ancak malzemenin yük, ısı ve titreşim gibi etkenlere karşı göstermiş olduğu gerilme, gerinme, sıcaklık değişimi ve yer değiştirme gibi davranışları tanımlamak için kullanılan malzeme modelleri ile mümkün olmaktadır. SEA analizlerinde en çok kullanılan malzeme modelleri *Oxley*, *Reiff*, *Cowper-Symond*, *Von Mises*, *Johnson-Cook* 'tur. SEA destekli sanal simülasyon yazılımlarında genellikle yaygın olarak kullanılan malzemelere ait bilgiler tanıtılmıştır. Yüksek deformasyon hızlarının meydana geldiği modellerde en çok kullanılan Johnson-Cook malzeme modelidir. Bu malzeme modeli Eşitlik 3.1'de görüldüğü gibi ifade edilmektedir [99-101].

$$\sigma = \underbrace{[A + B\varepsilon^n]}_{\text{Elasto-Plastik}} \underbrace{\left[1 + C \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)\right]}_{\text{Viskozite}} \underbrace{\left[1 - \left(\frac{T - T_{oda}}{T_{ergime} - T_{oda}}\right)^m\right]}_{\text{Termal Yumuşama}} \quad (3.4)$$

A: akma dayanımı

B: gerinim sertleşmesi

C: gerinim hızı sabiti

n: pekleşme üsteli

m: termal yumuşama sabiti

$\dot{\varepsilon}$: plastik gerinim oranı

$\dot{\varepsilon}_0$: referans gerinim oranı

T: referans sıcaklığı

T_{oda} : oda sıcaklığı

T_{ergime} : ergime sıcaklığı

4. MALZEME ve METOT

4.1. İş Parçası Malzemeleri

Yapılan deneylerde iş parçası malzemeleri olarak imalat sanayide yaygın olarak kullanılan, mekanik ve işlenebilirlik özellikleri birbirinden farklı GGG50 küresel grafitli dökme demir, Ck 45 imalat çeliği, AISI 4140 ıslah çeliği ve Aa 7075-T6 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Ck 45 imalat çeliğinin seçilmesindeki amaç referans malzeme olması sebebiyle elde edilen verilerin karşılaştırma yapmada kullanılabilecek olmasıdır. Dört farklı malzeme grubunun belirlenmesindeki amaç ise işlenebilirlik özellikleri farklı malzemelere uygun optimum yarık talaş açısının belirlenmesidir. GGG50 küresel grafitli dökme demirin DIN 1693 standardına göre kimyasal bileşimi Çizelge 4.1.'de, AISI 4140 ıslah çeliğinin ASTM A29 ve DIN EN 10083-3 standartlarına göre kimyasal bileşimi Çizelge 4.2.' de, Ck 45 çeliğinin DIN 17200 standardına göre kimyasal bileşimi Çizelge 4.3.'te ve Aa 7075-T6 alaşımının ISO 209 standardına göre kimyasal bileşimi Çizelge 4.4.'te verilmiştir. Deneylerde kullanılan iş parçası malzemelerinin mekanik özellikleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. GGG50 küresel grafitli dökme demirin % bileşenleri

C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe
3,60	2,42	0,430	0,010	0,005	0,048	0,053	0,048	0,047	0,01	Kalan

Çizelge 4.2. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu (Ağırlık%)

C	Mn	Si	Cr	S	P	Mo	Fe
0,41	0,83	0,21	0,9	0,027	0,027	0,18	Kalan

Çizelge 4.3. Ck45 çeliğinin kimyasal kompozisyonu (Ağırlık%)

C	Si	Mn	P	S	Fe
0,45	0,1	0,60	0,04	0,04	Kalan

Çizelge 4.4. Aa 7075 T6 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Ağırlık%).

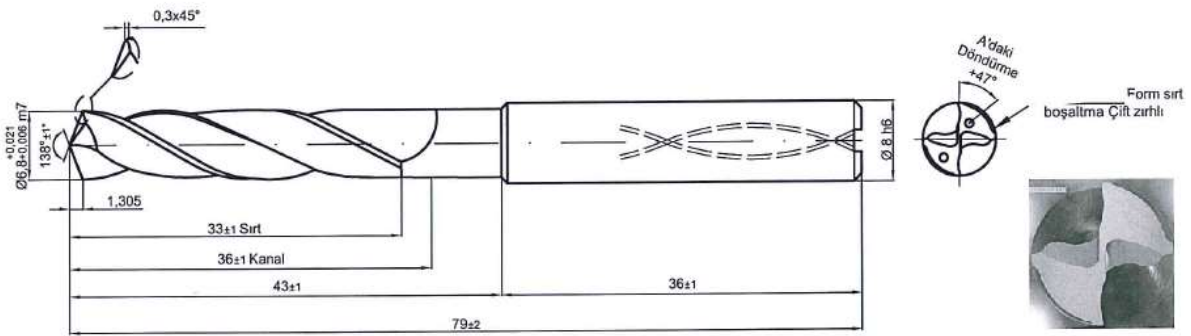
Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Al
0,40	1,60	0,30	2,50	0,30	5,60	Kalan

Çizelge 4.5. Deney malzemelerinin mekanik özellikleri

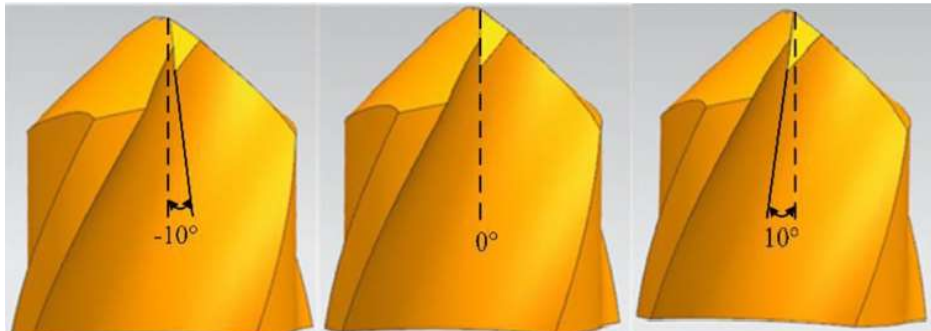
	GGG50	AISI 4140	Ck 45	Aa 7075 T6
Çekme dayanımı (MPa)	490,3	655,0	637,0	530- 570
Akma sınırı (MPa)	352,8	417,1	393,0	460- 505
Kopma uzaması (%)	7	25,7	27,8	10
Brinell sertliği (kgf/mm ²)	170-241	197	163	150

4.2. Matkap Tasarımı ve Geometrileri

Bu çalışmada, yüksek aşınma direncinden dolayı yüksek kesme hızlarında dahi iyi performans sergileyen ve talaşlı imalatla kullanılan kesici takım malzemelerinin yaklaşık yarısını oluşturan sementit karbür matkaplar kullanılmıştır. Deneylerde iki ağızlı, helisel, split uçlu, 6,8 mm çaplı, içten soğutma kanalı olan matkaplar kullanılmıştır. Bu matkapların geometrileri aynı olup sadece yarı talaş açıları ve radyal ağız uzunlukları farklıdır. Matkaplar CTS20D kalitesinde karbür çubuktan üretilmiştir. CTS20D karbür çubuğun özellikleri Çizelge 4.6.'da, deneylerde kullanılan kesici takımların teknik resmi Şekil 4.1.'de, yarı talaş açısı gösterimi Şekil 4.2.'de ve özellikleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Matkap teknik resmi



Şekil 4.2. Yarı talaş açılarının gösterimi

Çizelge 4.5. CTS 20D karbür çubuğun özellikleri.

Co oranı (%)	10
Sertlik (HV30)	1600
Enine kopma dayanımı (MPa)	>4000
K1c (MPa $\sqrt{m}$)	10,4
Tane büyüklüğü (μm)	0,7

Çizelge 4.6. Tasarlanan takımın geometrik özellikleri.

Takım Geometrisi	Maklap çapı (mm)	Sap çapı (mm)	Uç açısı (°)	Yarık batma açısı (°)	Yarık talaş açısı (°)	Radyal ağız açısı (°)	Öz kalınlığı (mm)
Geometri 1					+10		0,264
Geometri 2	6,8	8	138	50	0	55	0,212
Geometri 3					-10		0,264

4.3. Deneysel Yöntem

4.3.1. Kesme parametrelerinin belirlenmesi

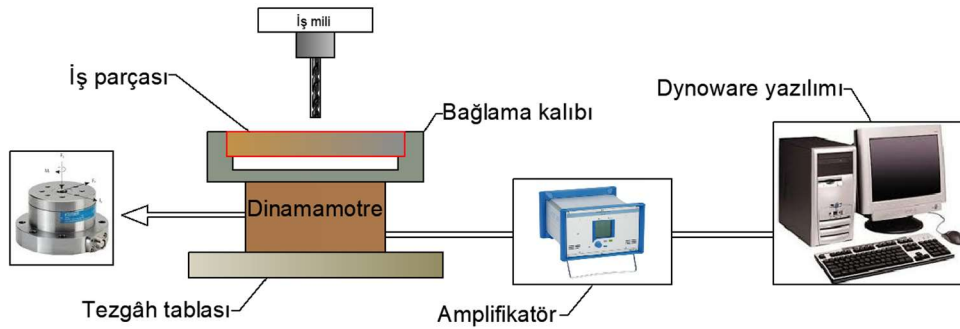
Deneylerde kullanılan malzemelerin işlenebilirliğinde tavsiye edilen kesme parametreleri kesici takım üretici firmaların kataloglarından ve literatürdeki çalışmalar incelenerek genel bir kesme parametre seçimi yapılmıştır. Belirlenen bu parametreler ile yapılan pilot deneyler sonrasında elde edilen verilere göre mevcut kesme parametrelerinin kullanılması kararına varılmıştır. Deneylerde malzemelere göre kullanılan kesme parametreleri Çizelge 4.8. 'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Deney kesme parametreleri.

Malzeme	Matkap Yarık Talaş Açısı (°)	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Kesme Hızı (m/dk)
AISI 4140 Ck45	+10	0,15	80
	0	0,25	100
	-10	0,3	120
GGG50	+10	0,3	100
	0	0,4	120
	-10	0,5	140
Aa 7075 T6	+10	0,15	200
	0	0,20	200
	-10	0,25	200

4.3.2. Kesme kuvvetleri ve momentin ölçülmesi

CNC dik işleme merkezinde 3 farklı yarık açısına sahip matkaplarla deneylerin yapılması sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri (F_x , F_y ve F_z) ve delme momentinin (M_z) ölçülmesi kuartz kristal esasıyla çalışan Kistler 9272-B tipi dinamometre ve Kistler 5070 tipi amplifikatör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen kuvvet verileri bilgisayar ortamına Dynoware yazılımı aracılığıyla aktarılarak sonuçlar alınırken okunan değerlerin ortalaması için çizelgeler oluşturulmuştur. Delik delme işlemlerinde ilerlemenin etkisiyle meydana gelen F_z itme kuvveti ve radyal kuvvetlerin etkisiyle meydana gelen delme momenti delinebilirliğin belirlenmesinde önemli olduğundan bu iki parametre üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. Kistler 9272-B tipi dinamometre teknik özellikleri Çizelge 4.9.'da, Kistler 5070 Amplifikatör teknik özellikleri Çizelge 4.10.'da verilmiştir. Şekil 4.4.'te Dynoware yazılımından alınan kuvvet ve moment grafiklerinin ekran görüntüsü verilmiştir.



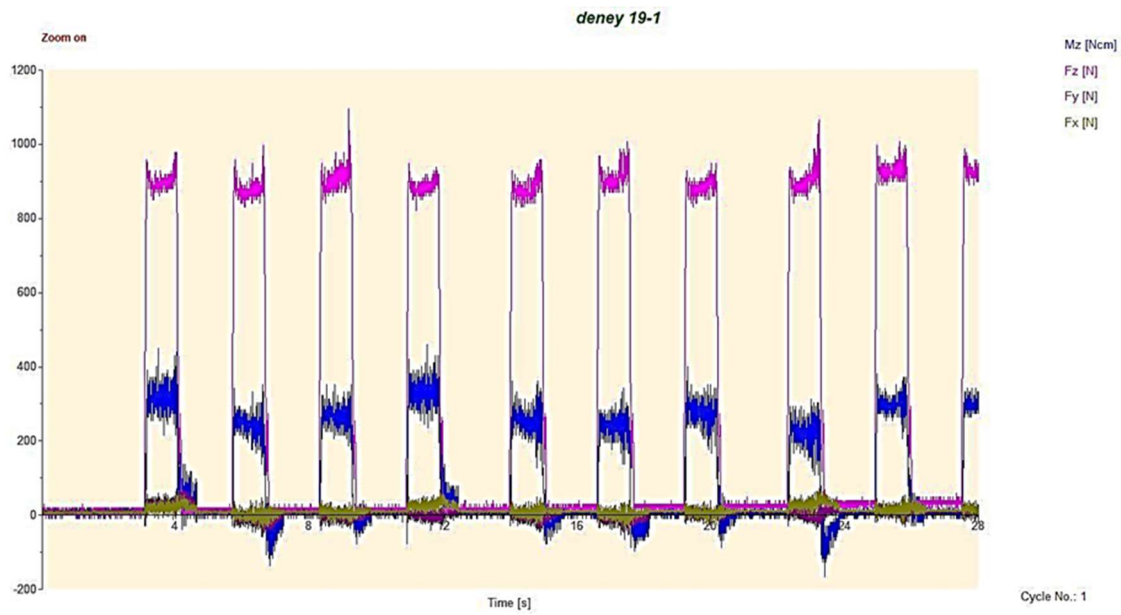
Şekil 4.3. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Çizelge 4.9. Kistler 9272-B tipi dinamometre teknik özellikleri.

Kuvvet aralığı (kN) (F_x , F_y , F_z)	-5...10
Tepki verme (N)	<0.01
Hassasiyet (pC/N) F_x , F_y	-7.5
F_z	-3.5
Doğrusallık	%1 FSO
Histerezis	%0.5 FSO
Doğal frekans f_0 (x,y,z) (kHz)	3.5
Çalışma sıcaklığı (°C)	0...70
Kapasitans (pF)	220
20 °C'deki yalıtım direnci (Ω)	> 1013
Topraklama sınıfı (Ω)	> 108
Koruma sınıfı	IP 67
Ağırlık (kg)	7.3

Çizelge 4.10. Kistler 5070 Amplifikatör teknik özellikleri.

Kanal sayısı	8
Bağlantı	BNC neg.
Ölçme aralığı (pC)	$\pm 200 \dots 200000$ $\pm 600 \dots 600\,000$ (opsiyonel)
Frekans aralığı (kHz)	$\approx 0 \dots >45$
Çıkış sinyali (V)	± 10
Kapasitans (V)	100 ... 240
Arayüz	RS-232C ve IEEE-488

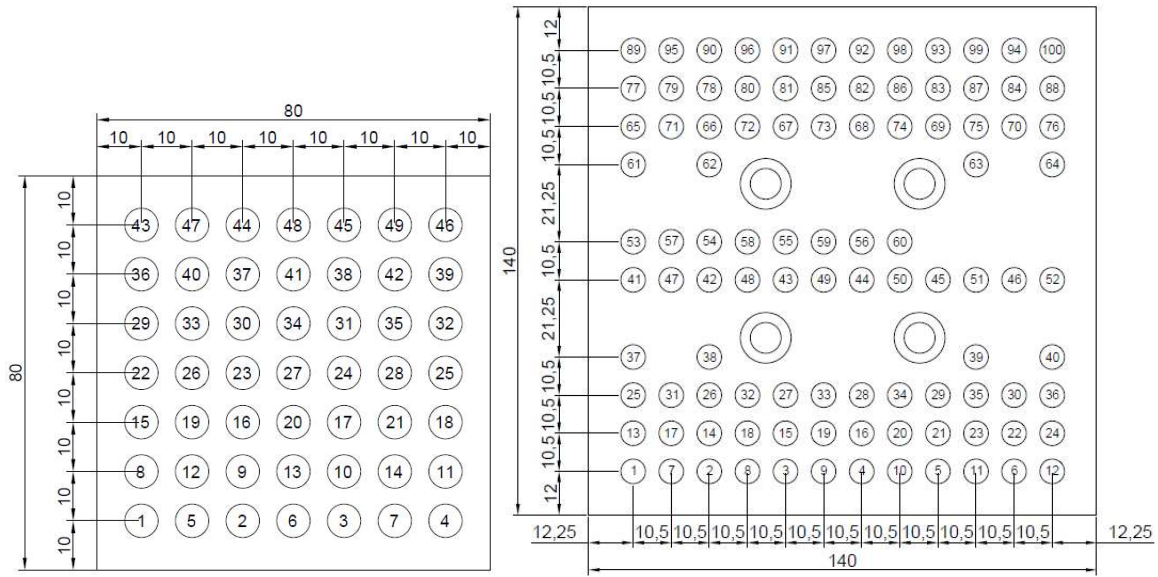


Şekil 4.4. Deneyisel çalışma sırasında ölçülen kesme kuvvetleri ve delme momenti ekran görüntüsü

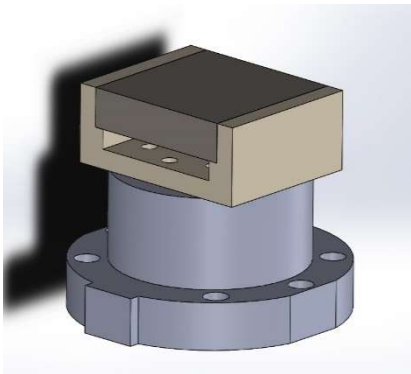
4.3.3. Numunelerin hazırlanması

Deneylerde Ck45 imalat çeliği ve AISI 4140 ıslah çeliği için malzemeler dinamometreye parçaların rijit bir şekilde bağlanması için daha önceden yapılmış ve ölçüm hassasiyeti doğrulanmış iş kalıbı için 80x80x20 mm boyutlarında temin edilmiştir. Al7075 T6 alaşımı plaka halinde alınmış olup yine aynı kalıba bağlamak için 80x80x20 mm boyutlarında su jeti yöntemi kullanılarak kestirilmiştir. GGG50 KGDD malzemesi ise 120x120x20 mm boyutlarında ticari olarak temin edilmiş olup malzeme israfı olmaması için dinamometreye altına burçlar konularak bağlanmıştır. Deneylerde kullanılacak olan dinamometreden sağlıklı değerler alınabilmesi amacıyla iş parçasının boyutları ölçüm aralığında olacak şekilde belirlenmiştir. Her iş parçası üzerine Şekil 4.5.'te gösterildiği gibi her satırda 7 adet

delik olmak üzere toplam 7 satır olacak şekilde yerleşim yapılmıştır. Her bir parça üzerine toplam 49 adet delik delinecektir ve her bir kesme kombinasyonu için toplamda 98 adet delik delinmiştir. Ölçümlerin daha güvenilir yapılması ve matkabın daha rahat merkezleme yapabilmesi amacı ile Ck45, AISI 4140 ve GGG50 malzemelerinin yüzeyleri taşlanmıştır. Aa 7075 malzeme ise temin edildiği gibi kullanılmıştır. 80x80x20 mm boyutların dinamometreye bağlanmasında kullanılan kalıbın şematik gösterimi Şekil 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.5. Malzemelere delik yerleşim planı



Şekil 4.6. İş parçası bağlanması

4.3.4. Delik kalitesinin ölçülmesi

Dairesellikten sapma delik merkezinden dairenin dış çevresine olan uzaklığın (yarıçap) dairenin çevresini oluşturan her bir noktaya eşit uzaklıkta olmamasıdır. Dairesellikten sapma belirli bir merkez noktadan ölçülen en büyük ve en küçük çap arasındaki fark olarak da

tanımlanabilir Silindiriklik ise bir dönme yüzeyine ait elemanların dönme ekseninden eşit uzaklıkta bulunmaları koşuludur. Silindiriklik toleransı; yüzeyin içerisinde bulunması gereken, eş eksenli iki silindir arasındaki yarıçap farkıdır. Dolayısıyla silindiriklik, bir nesnenin gerçek bir silindire ne kadar yakın olduğunu tanımlamak için kullanılır. Bir parçanın eksen boyuncu hem yuvarlak hem de düz olması gerekiyorsa, o zaman silindiriklik ölçümünden faydalanılır. Dairesellik ve silindiriklik ölçümleri koordinat ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Her bir kesme parametresi kombinasyonu ile delinen 100 delik içinden her 10 delikte bir dairesellik, silindiriklik ve diklik sapmaları ölçülmüştür. Ölçüm cihazında delik giriş bölgesinden 4 nokta ve çıkış bölgesinden 4 nokta alınarak dairesellikten sapma değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu çaptan sapma değerli doğrultusunda silindiriklik sapması yazılım tarafından ölçülmüştür. Diklik sapmaları ise dairesellik ölçümlerinde alınan dairelerin parça üst yüzeyine göre yazılım tarafından atanmış bir merkez düzlemine göre belirlenmiştir. Şekil 4.7.'de çaptan sapma, silindiriklik ve diklik sapmaları için cihaz yazılımı tarafından verilen sonuçların ekran görüntüsü verilmiştir.

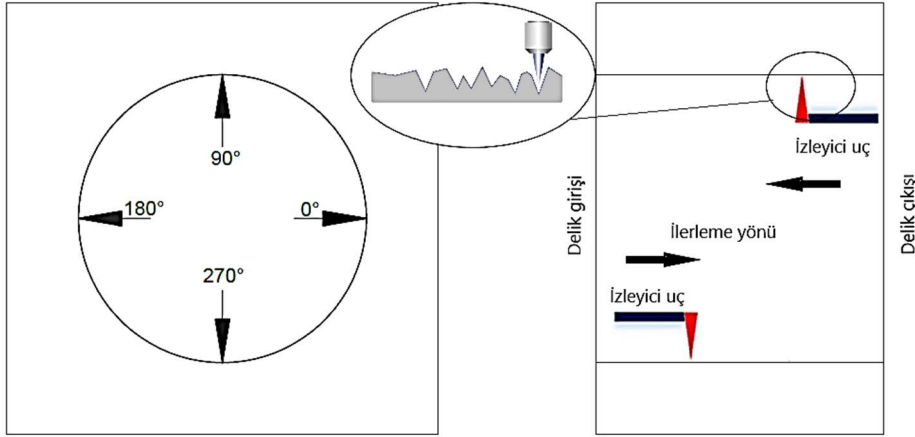
#	MM	LOC1 - CIR1					
AX	MEAS	NOMINAL	+TOL	-TOL	DEV	OUTTOL	
X	13.533	13.533	0.030	0.030	0.000	0.000	
Y	13.615	13.615	0.030	0.030	0.000	0.000	
D	6.811	6.800	0.030	0.030	0.000	0.000	
#	MM	LOC2 - CIR2					
AX	MEAS	NOMINAL	+TOL	-TOL	DEV	OUTTOL	
X	13.534	13.534	0.030	0.030	0.000	0.000	
Y	13.677	13.677	0.030	0.030	0.000	0.000	
D	6.768	6.800	0.030	0.030	0.000	0.000	
#	MM	LOC3 - CYL1					
AX	MEAS	NOMINAL	+TOL	-TOL	DEV	OUTTOL	
X	13.531	13.531	0.030	0.030	0.000	0.000	
Y	13.634	13.634	0.030	0.030	0.000	0.000	
D	6.819	6.800	0.030	0.030	0.000	0.000	
⊥	MM	PERP1 - CYL1 TO PLN1					
AX	MEAS	NOMINAL	+TOL	-TOL	DEV	OUTTOL	
M	0.028	0	0.010	0	0.028	0.016	

Şekil 4.7. CMM ölçüm sonuçları çıktı ekranı

4.3.5. Yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi

Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için Mitutoyo marka Surfes SJ-410 tipi, masa üstü ve yazılı çıktı alınabilen yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır. Cihazda delik içinde en fazla 8 mm ye kadar olan çapların yüzey pürüzlülüğü ölçülebilmektedir. Bu yüzden malzemeye kesme yapmadan 90°de bir delik girişinden dört, delik çıkışından dört adet yüzey

pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde, işlenmiş parçaların yüzey kalite karakteristiğinin belirlenmesinde kontrol parametrelerinden birisi olan ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) analiz edilmiştir. Ölçümler sonucu elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak her delik için ortalama girişteki ve çıkıştaki R_a değerleri belirlenmiştir. Şekil 4.8.'de yüzey pürüzlülüğü ölçümü şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Yüzey pürüzlülük ölçümü şematik gösterimi

4.3.6. Kesici takım aşınmasının ölçülmesi

Delme takımlarında yaygın olan iki aşınma tipi “serbest yüzey aşınması” ve “krater aşınması”dır. Serbest yüzey aşınması, kesici uç çevresinde, yüksek kesme hızının hâkim olduğu bölgede normal olan doğal aşınma örneğidir. Bu çalışmada değişen kesme şartlarının takımlardaki etkisini gözlemleyebilmek için her yeni kesme şartında yeni bir takım kullanılmıştır. Aşınmanın gözlenebilmesi için aynı şart aynı takımla 98 defa tekrarlanmıştır. Matkapta meydana gelen aşınmaları kademeli olarak takip edilebilmesi amacı ile her yirmi (20) delikte bir kesici takımın fotoğrafları Dyno Lite marka dijital mikroskop ile çekilmiştir. Matkaplardaki nihai aşınmalar Zoller marka pomBasic model dijital mikroskop ile incelenmiştir. Şekil 4.9.'da Zoller dijital mikroskop ile takım aşınma fotoğraf çekimi gösterilmiştir.

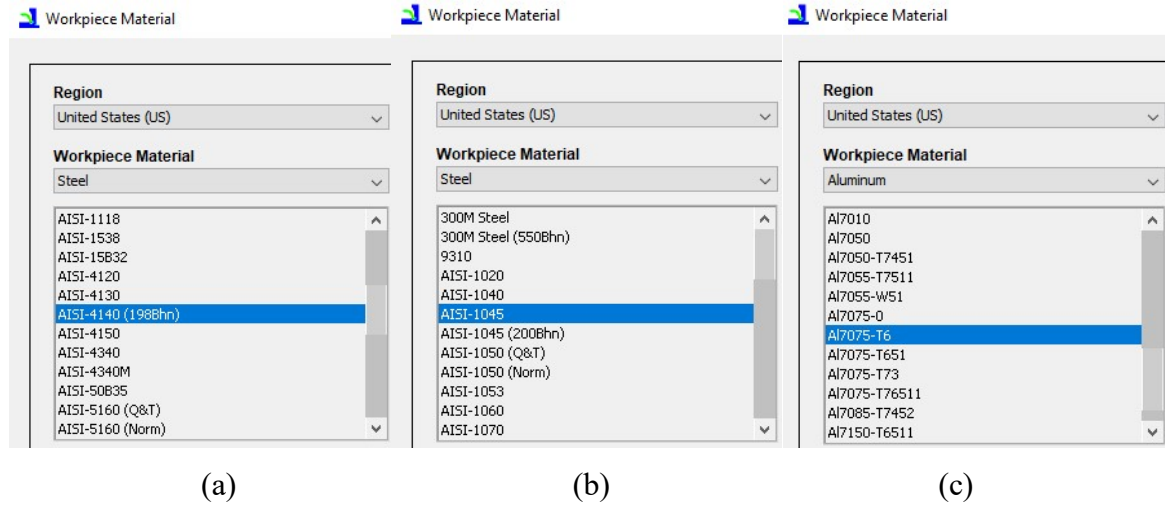


Şekil 4.9. Takım aşınması ölçümü

4.4. Bilgisayar Destekli Talaş Kaldırma Analizleri

Sanal simülasyon çalışmaları tamamen talaş kaldırma işlemlerinin modellenmesi üzerine çalışan Third Wave AdvantEdge® yazılımı kullanılarak yapılmıştır. SEA analizlerinde en çok kullanılan modelleme yöntemlerinden bir tanesi Lagrange modeli kullanılarak nümerik analizler yapılmıştır. Bu modelde malzeme deforme olduğunda ilişkili ağlar da deforme olur ve kafes yapıları ciddi şekilde bozabilecekleri için lokalize gerinimler meydana gelmektedir. Bozulmuş elemanlar, yanlış çözümlere ve kararlılık kaybına yol açabilir ve aşırı durumlarda elemanlar tersine dönerek negatif eleman hacimlerine ve simülasyonun sonlandırılmasına yol açabilir [99-101].

İş parçası malzemesi tanıtılırken genel olarak gerinim, sıcaklık ve pekleşmeye bağlı malzeme modelleri kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan birçok SEA yazılımında bu parametrelere göre tanıtılmış malzemeler yazılım kütüphanelerinde bulunmaktadır. Program kütüphanesinde deneysel çalışmada kullanılan AISI 4140, Ck45 ve Aa 7075 T6 alaşımlarına ait malzeme verileri bulunmaktadır. GGG50 küresel grafitli dökme demir bulunmadığından Johnson Cook parametreleri (Çizelge 4.11) girilerek malzeme tanıtımı yapılmıştır. Şekil 4.10.'da yazılım malzeme kütüphanesinde bulunan malzeme grupları gösterilmiştir.

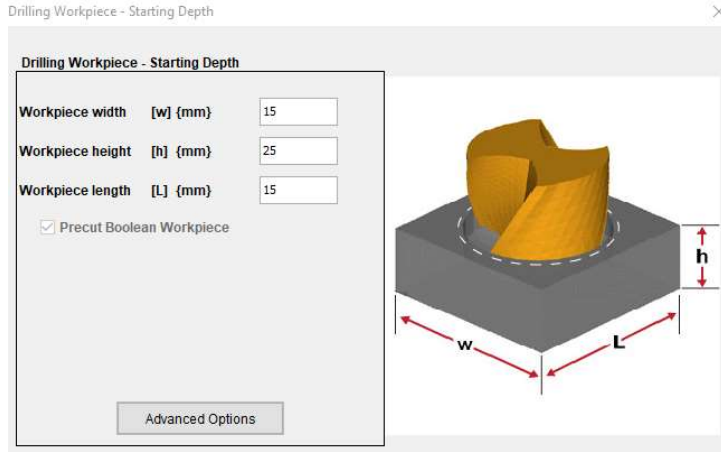


Şekil 4.10. Third Wave AdvantEdge (a) ve (b) çelik, (c) alüminyum malzeme kütüphanesi

Çizelge 4.11. GGG50 Johnson-Cook parametreleri [102]

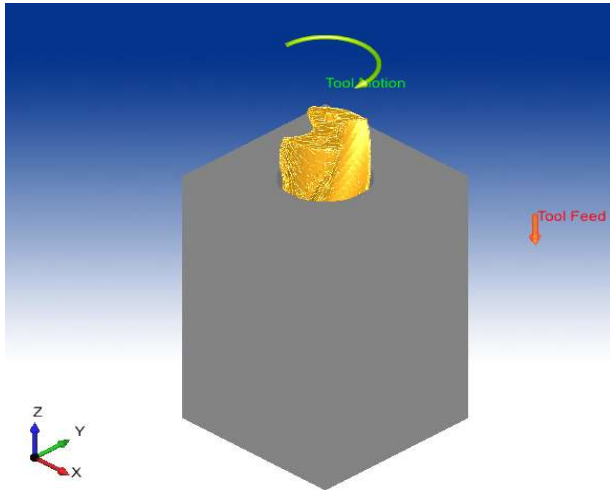
	Simge	Parametre	Birim	Değer
Gerinim sertleşmesi parametreleri	A	Akma dayanımı	MPa	525
	B	Gerinim sertleşmesi	MPa	650
	n	Pekleşme üsteli	-	0,67
	$\dot{\epsilon}_{cut}$	Plastik gerinim oranı	-	1
Termal yumuşama parametreleri	T_{oda}	Oda sıcaklığı	°C	20
	T_{ergime}	Ergime sıcaklığı	°C	1200
	m	Termal yumuşama sabiti	-	1
Gerinim duyarlılığı parametreleri	C	Gerinim hızı sabiti	-	0,0205
	$\dot{\epsilon}_r$	Referans gerinim oranı	-	0,001

Sanal simülasyon çalışmalarında takım 360° döndürülerek talaş kaldırılmıştır. Matkap kesici ağızlarının tamamen yüzeyi taraması için ve delik içindeki talaş sıkışmalarının da itme kuvveti ve momente etkisinin bulunduğu bilindiğinden analizlere 15 mm içeriden başlanmıştır. İş parçası 15 mm genişlik, 15 mm derinlik ve 25 mm yükseklik ölçülerinde tanıtılmıştır. İş parçası ölçülerinin tanıtıldığı ekran Şekil 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Deney numunesi boyutlarının tanıtılması

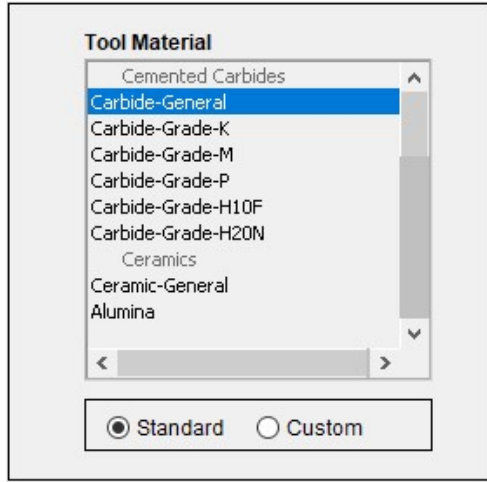
Yazılım geometrik parametre girişiyle takım oluşturmaya izin verirken, aynı zamanda da STL dosyasından da takım çağırılmasına izin vermektedir. Deneysel çalışmada kullanılan takımların katı modelleri üretici firmadan temin edilmiş olup, sanal simülasyon çalışmalarında bu takımlar STL dosyaları kullanılarak tanıtılmıştır. Matkap boyunun uzun olduğu düşünüldüğünde takım üzerinde oluşturulacak minimum eleman ağırlığını çözüm sürecini uzatacağından kesme işleminde kullanılacak kısım kadar takım boyu kısaltılmıştır. Takımın dönüş ve ilerleme yönü Şekil 4.12.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Takım dönüş ve ilerleme yönü

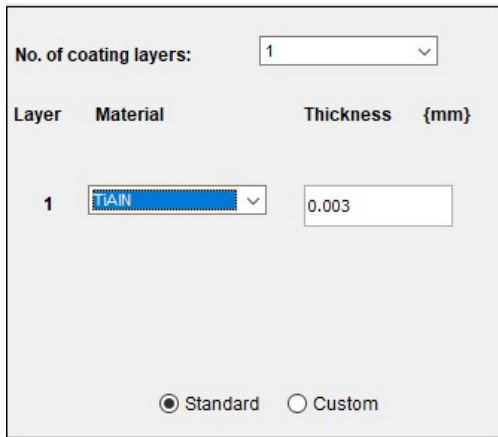
Yazılım kütüphanesinde standart takım malzemeleri bulunmaktadır. Bu malzemeler içerisinde “Carbide-General” malzemesi (Şekil 4.13.) seçilerek analizler yapılmıştır. Bu

takım malzemesinin seçilmesinin nedeni CTS 20D kalitesi sementit karbür takımların üretilmesinde yaygın kullanılmasıdır.



Şekil 4.13. Takım malzemesi tanıtılması

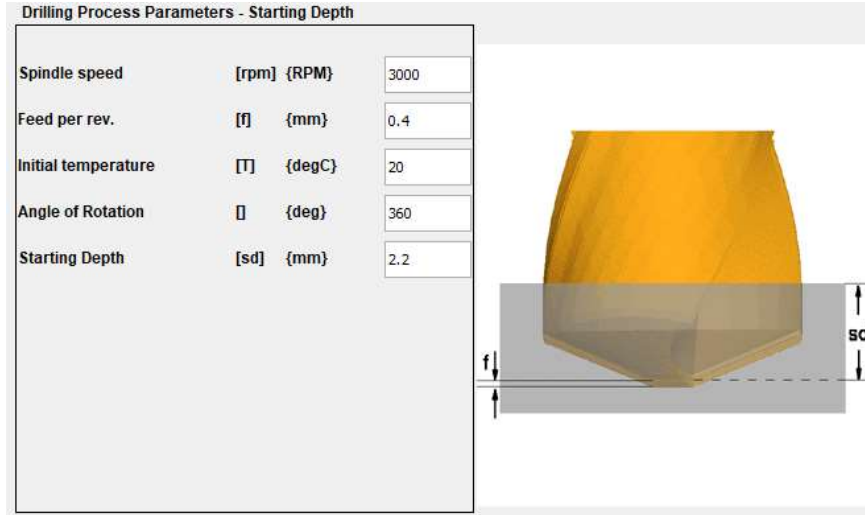
Yazılım kaplama malzemesi, kalınlığı ve katman adedi tanımlamaya izin vermektedir. Buradan tek katmanlı, 3µm kalınlığında ve AlTiN kaplama malzemesi tanıtılmıştır. Şekil 4.14.'te kaplamanın tanıtılması gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Kaplamanın tanıtılması

Deneyisel çalışmalarda kullanılan kesme parametreleri Şekil 4.15.'te gösterilen ekrandan tanıtılmaktadır. Burada kesme hızı seçeneği olmadığından hesaplanan devir sayıları girilmiştir. Deneyisel çalışmanın da oda sıcaklığında başladığı için başlangıç sıcaklığı olarak 20°C kullanılmıştır. 360° dönüşün itme kuvveti ve delme momenti verilerinin hesaplanmasında yeterli olduğundan bu değer kullanılmıştır. Takım deney numunesinin 15

mm içerisinde delmeye başlatılmıştır. Böylece çıkan talaşın delme momenti ve itme kuvvetine etkileri görülebilmektedir.



Şekil 4.15. Kesme parametreleri giriş ekranı

İş parçasının talaş kaldırılan kenarlarındaki minimum mesh elemanı boyutunun doğru seçilmesi sonuçların doğruluğu bakımından çok önemlidir. Buradaki minimum mesh elemanı boyutu, takım ilerleme miktarının en az yarısı kadar olmalıdır. Örnek olarak takım ilerleme hızı 0,15 mm/dev olduğu zaman, iş parçasının minimum mesh elemanı boyutu en fazla 0,075 mm olmalıdır. Böylece, analiz sonucunda talaş yapısı ve kuvvetler doğru bir şekilde elde edilebilir. Bununla birlikte minimum mesh elemanı boyutu ne kadar küçük olursa problemin çözüm süresi de o kadar uzun olmaktadır. Analizlerde hem talaş hacminin hem de kesici kenarın minimum eleman boyutları ilerleme hızlarının 1/3'ü olarak alınmıştır. Şekil 4.16.'da minimum eleman uzunluğu parametre ekranı verilmiştir.

Caution Only experienced users should change the parameters below. Modifying these parameters can significantly affect performance and accuracy

Minimum / maximum element size

Min. elem. edge length (chip bulk)	{mm}	0.0595
Min. elem. edge length (cutter edge)	{mm}	0.0455
Radius of refined region (cutter edge)	{mm}	0.225

Adaptive remeshing

Mesh refinement factor	10	▼
Mesh coarsening factor	4	▼
Chip refinement factor	2	Medium ▼
Grading near cutting edge	6	
Grading radius factor	2	

Depth of mesh refinement for residual stress analysis

Depth in Y axis	{mm}	0.45
Depth in Z axis	{mm}	0.45

Şekil 4.16. Minimum eleman uzunluğu parametre ekranı

Bu işlemlerin ardından analizler yapıp sonuç alma kısmına geçilmiştir. Yazılım kesme kuvvetleri, delme momenti, sıcaklık, gerilmeler gibi birçok bağımlı değişkenin sonucunu hesaplamaktadır. Bu veriler hem grafik şeklinde hem de hesaplanan her adımda elde edilen sonuçları içeren .txt dosyası şeklinde vermektedir. Grafiklerden net sonuçlar okunamadığı için alınan .txt dosyasındaki verilerin Matlab yazılımında ortalamaları alınmıştır.

4.5. Taguchi Deney Tasarımı ile Ara Değer Tahmini ve İstatistiksel Analizler

Kesme parametrelerinin daha verimli bir şekilde seçilmesini sağlamak, harcanan zamanı ve malzemeyi azaltmak için Taguchi metodu alternatif bir yaklaşım olarak devreye girmektedir. Temel olarak Taguchi metodu, yüksek kalite sistemleri için güçlü bir yöntemdir. Maliyet, kalite ve performans tasarımlarını optimize etmek için basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Taguchi son yıllarda çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır.

Taguchi metodu, bir ürün ya da prosesin mühendislik optimizasyonunu; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı gibi üç adımlık bir yaklaşım içerisinde çözebilmeyi amaçlamaktadır [41,42].

Taguchi yönteminde deneysel çalışmada kullanılan faktörlere bağımsız değişken, bu faktörlerin alt değerlerine ise seviye adı verilmektedir. Bu faktörler ve seviyeleri ile yapılan çalışmalar sonucu elde edilen itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü gibi bağımsız değişkenlerin etkileşimi ile değişiklik gösteren çıktı parametrelerine ise bağımlı değişken denilmektedir. Yapılan çalışmada 3 farklı yarık talaş açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarı bağımsız değişken olarak belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda zaman, malzeme, kesici takım sayısını azaltmak maksadı ile Taguchi L9'a göre bir deney tasarımı yapılmıştır. Çizelge 4.12'de kontrol faktörleri ve seviyeler verilmiştir. Kontrol faktörleri ve seviyeler her malzeme için Çizelge 4.13'te de verilen kesme parametrelerine göre belirlenmiştir.

Çizelge 4.12. Kontrol faktörleri ve seviyeler

	Faktörler	Birim	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
1	Yarık talaş açısı	°	Ya ₁	Ya ₂	Ya ₃
2	Kesme hızı	m/dk	V _{c1}	V _{c2}	V _{c3}
3	İlerleme	mm/dev	f _{n1}	f _{n2}	f _{n3}

Çizelge 4.13. Taguchi L9 ortogonal deney tasarımı

	Kesme hızı (m/dk)	Yarık talaş açısı (°)	İlerleme miktarı (mm/dev)
L1	V _{c1}	Ya ₁	f _{n1}
L2	V _{c1}	Ya ₂	f _{n2}
L3	V _{c1}	Ya ₃	f _{n3}
L4	V _{c2}	Ya ₂	f _{n1}
L5	V _{c2}	Ya ₃	f _{n2}
L6	V _{c2}	Ya ₁	f _{n3}
L7	V _{c3}	Ya ₃	f _{n1}
L8	V _{c3}	Ya ₁	f _{n2}
L9	V _{c3}	Ya ₂	f _{n3}

Taguchi L9 ortogonal dizini kullanarak oluşturulan deney tasarımına göre yapılan çalışmadan alınan sonuçların Varyans Analizleri yapıldığında kontrol faktörlerinin bağımlı değişkenler üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görüldüğünden Minitab 18 istatistik yazılımında Taguchi destekli ara değer tahmin ara yüzü kullanılarak tam faktöriyel deney tasarımı için yapılmayan deneylerin sonuçları tahmin edilmiştir. Yapılan bu tahmin işlemine göre kontrol faktörlerinin ve seviyelerinin bağımlı değişkenler üzerindeki etkilerini görmek için Varyans Analizleri yine Minitab 18 istatistik yazılımı kullanılarak “ortalamalar” için yapılmış olup elde edilen P değerleri $\alpha=0,05$ anlamlılık değerine göre değerlendirilmiştir.

Yapılan Varyans Analizlerin kontrol faktörleri ve seviyelerinin anlamlı bir etkisinin görülmediği durumlarda F testi ile değerlendirme yapılmaktadır. Bunun için standart F testi tablosundan payın ve paydanın serbestlik derecesi esas alınarak F_{kritik} değeri belirlenir ve analizden alınan F değeri ile kıyaslanır. Analizden alınan F değeri F_{kritik} değerinden küçük ise kontrol faktörlerinin seviyelerinin anlamlı bir etkiye sahip olduğu söylenir.

5. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

Yapılan deneysel çalışmadan itme kuvveti, delme momenti, giriş bölgesi ortalama yüzey pürüzlülüğü, çıkış bölgesi ortalama yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma ve kesici takım aşınması değerleri ölçülmüştür. SEA destekli TKA'dan ise itme kuvveti ve delme momenti sonuçları alınmıştır. Deneysel çalışma ve SEA destekli TKA'dan elde edilen itme kuvveti ve delme momenti sonuçları karşılaştırılarak analizin gerçek deneysel sonuçlara ne kadar yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen veriler ise Taguchi tabanlı ANOVA kullanarak 0,05 anlamlılık derecesine göre değerlendirilmiştir.

5.1. AISI 4140 Islah Çeliği İçin Bulgular ve Değerlendirme

Deneysel çalışmadan alınan sonuçlar için Taguchi tabanlı ANOVA yapıldığında parametrelerin delme momenti, itme kuvveti, çaptan sapma, giriş ve çıkış bölgesi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bu bağlamda ara değer tahmini ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Oluşturulan Taguchi L9 ortogonal deney tasarımı ile gerçekleştirilen deneysel çalışmadan alınan itme kuvveti sonuçları kullanılarak tam faktöriyel deney tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımda daha önceden yapılmış olan deneyler dışındaki parametreler için tahmin ara yüzü kullanılarak sonuçlar çıkarılmıştır. AISI 4140 ıslah çeliği için yapılan tahmin sonuçları Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Çizelgede yeşil ile boyalı satırlar deneysel çalışmadan elde edilmiş sonuçları ifade etmektedir.

Çizelge 5.1. AISI 4140 için deneysel çalışma ve ara değer tahmin sonuçları

Deney no	V_c (m/dk)	f_n (mm/dev)	Y_a (°)	Delme momenti (Ncm)	İtme kuvveti (N)	Çaptan sapma (mm)	Ortalama yüzey pürüzlülük (μm)
L1	80	0,15	10	256,6	787,6	0,021	0,360
L2	80	0,15	0	264,5	784,7	0,025	0,388
L3	80	0,15	-10	330,5	1264,6	0,033	0,682
L4	80	0,25	10	413,0	996,7	0,032	0,810
L5	80	0,25	0	442,0	990,6	0,027	0,893
L6	80	0,25	-10	463,7	1389,7	0,034	0,967
L7	80	0,3	10	403,6	1136,4	0,031	1,076
L8	80	0,3	0	388,4	1079,5	0,026	0,939
L9	80	0,3	-10	433,3	1532,6	0,038	1,179
L10	100	0,15	10	260,8	896,9	0,031	0,702
L11	100	0,15	0	224,5	813,2	0,031	0,511
L12	100	0,15	-10	311,5	1319,9	0,034	0,758
L13	100	0,25	10	394,0	1022,0	0,033	0,987
L14	100	0,25	0	378,7	965,0	0,028	0,850
L15	100	0,25	-10	421,5	1390,9	0,036	0,978
L16	100	0,3	10	428,9	1272,6	0,035	1,472
L17	100	0,3	0	369,4	1134,8	0,029	1,116
L18	100	0,3	-10	435,4	1614,7	0,036	1,409
L19	120	0,15	10	339,5	1053,3	0,044	0,903
L20	120	0,15	0	324,3	996,4	0,040	0,766
L21	120	0,15	-10	434,5	1557,2	0,049	1,279
L22	120	0,25	10	451,6	1151,6	0,049	1,135
L23	120	0,25	0	457,4	1121,4	0,041	1,051
L24	120	0,25	-10	523,4	1601,4	0,048	1,345
L25	120	0,3	10	463,4	1348,1	0,045	1,454
L26	120	0,3	0	424,9	1237,1	0,033	1,151
L27	120	0,3	-10	514,1	1771,1	0,048	1,610

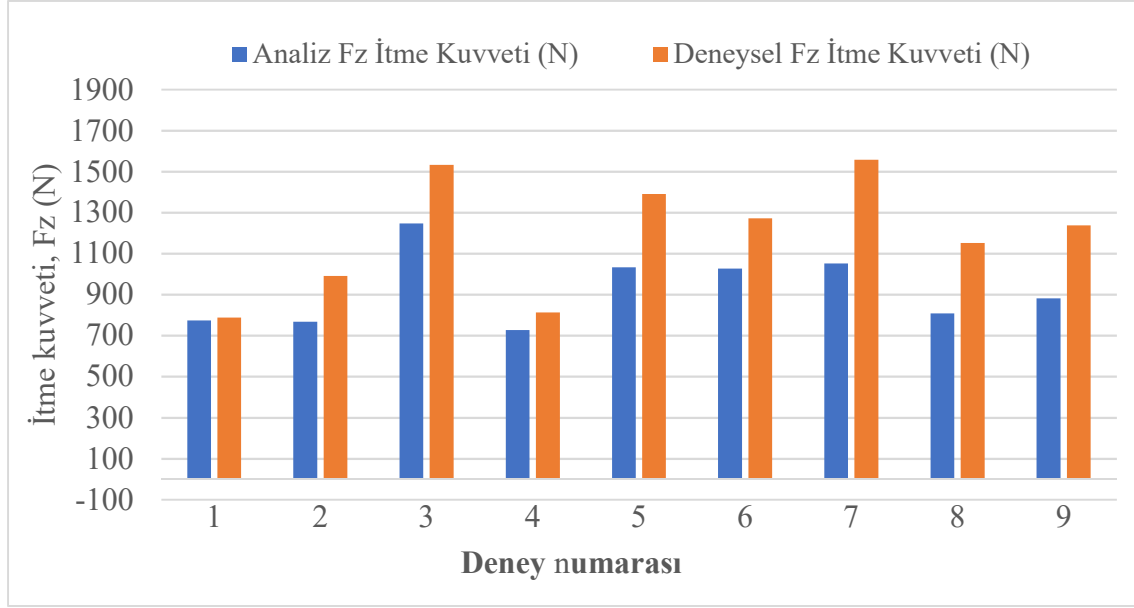
5.1.1. İtme kuvveti

AISI 4140 ıslah çeliğinin deneysel olarak delinmesinden ve SEA destekli TKA'dan elde edilen itme kuvveti sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen itme kuvvetlerine bakıldığında -10° yarık talaş açısına sahip matkaplarla yapılan çalışmalarda daha yüksek çıktığı görülmektedir. Çalışmanın öngörüsünde negatif yarık talaş açısının çıkan talaşın eğrilik yarıçapını küçülteceği dolayısıyla itme kuvvetinin artacağı yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar bu öngörüü doğrulamaktadır. Ayrıca ilerleme kuvvetinin artmasıyla da itme kuvvetinin arttığı literatürde yapılan çalışmalarda belirtilmektedir [38, 103].

Çizelge 5.2. AISI 4140 ıslah çeliği için deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvveti sonuçları

Deney no	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Yarık talaş açısı ($^\circ$)	Analiz Fz itme kuvveti (N)	Deneysel Fz itme kuvveti (N)	Yaklaşım oranı (%)
L1	80	0,15	10	774,63	787,55	98,36
L2	80	0,25	0	767,76	990,62	77,50
L3	80	0,3	-10	1246,75	1532,64	81,35
L4	100	0,15	0	726,79	813,16	89,38
L5	100	0,25	-10	1033,00	1390,91	74,27
L6	100	0,3	10	1026,53	1272,61	80,66
L7	120	0,15	-10	1051,42	1557,20	67,52
L8	120	0,25	10	807,72	1151,60	70,14
L9	120	0,3	0	882,40	1237,07	71,33

Deneysel çalışmadan ve SEA destekli TKA'dan elde edilen itme kuvveti verilerinin karşılaştırılması grafiksel olarak Şekil 5.1.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde deneysel çalışma sonuçları ve SEA destekli TKA sonuçlarının benzer bir eğilim gösterdiği görülmektedir. Burada -10° YTA ile yapılan deneylerden elde edilen itme kuvveti sonuçlarının 0 ve $+10^\circ$ YTA'na göre yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 5.1. AISI 4140 deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvveti sonuçlarının kıyaslaması

ANOVA tablosundaki (Çizelge 5.3) olasılık (P) değerleri 0,05 anlamlılık değerine göre incelendiğinde üç faktörün P değerlerinin 0,05'ten küçük olduğu görülmüş olup bu faktörlerin itme kuvveti üzerinde anlamlı bir etkisi vardır. Hesaplanan etki oranlarına bakıldığında hatanın etkisinin faktörlerin etkisinden daha küçük olduğu görülmüştür. Burada YTA'nın etkisinin %63,78, ilerleme miktarının etkisinin %20,32, kesme hızının etkisinin %11,18 ve hatanın etkisinin %4,72 olduğu görülmektedir. AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesi sırasında itme kuvvetinin oluşumunda en etkili faktörün YTA olduğu görülmektedir.

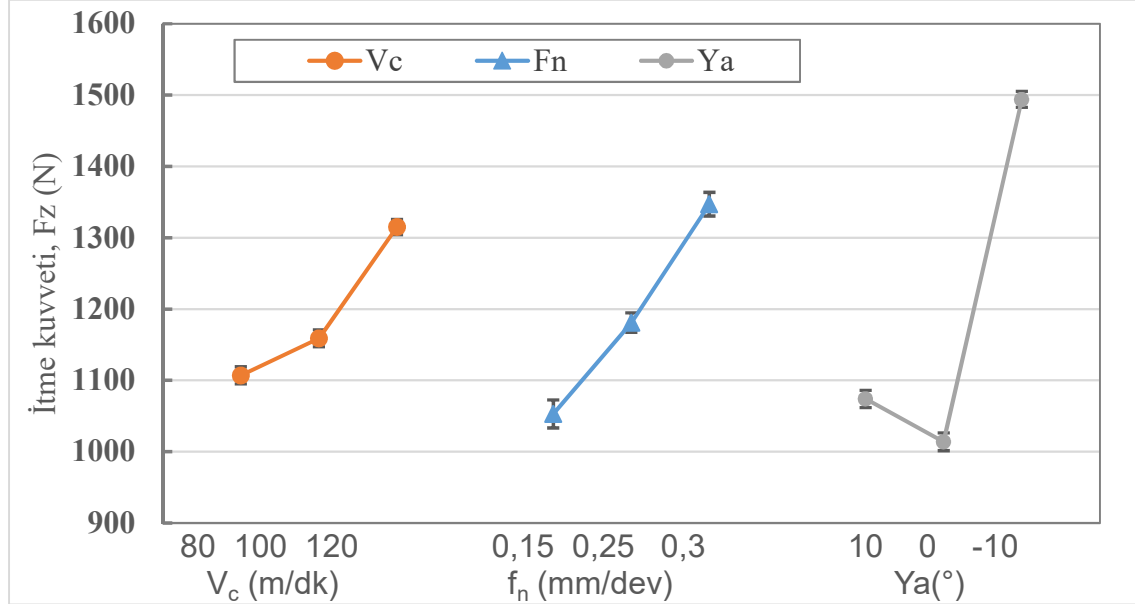
Çizelge 5.3. AISI 4140 ıslah çeliği deneysel itme kuvveti değerleri için ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
V _c	2	211714	105857	67,81	0,00	11,34
f _n	2	393256	196628	125,96	0,00	21,07
Y _a	2	1230346	615173	394,09	0,00	65,92
Hata	20	1220	1561			1,67
Toplam	26	1866536				100

($\alpha = 0,05$; $F_{kritik} = 3,369$)

İtme kuvveti tahmin değerleri için ANOVA sonuçlarından elde edilen etki grafiği (Şekil 5.2.) “En küçük daha iyidir.” yaklaşımıyla incelendiğinde itme kuvveti için optimum sonuçların 80 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 0° yarık talaş açısı olduğu

görülmektedir. ANOVA sonuçlarında faktörlerin anlamlı bir etkisinin olduğu görülmüş olup faktörlerin seviyeleri arasındaki etkinin de anlamlı olduğu açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.2 AISI 4140 ıslah çeliği için itme kuvveti ANOVA sonuçlarının etki grafiği

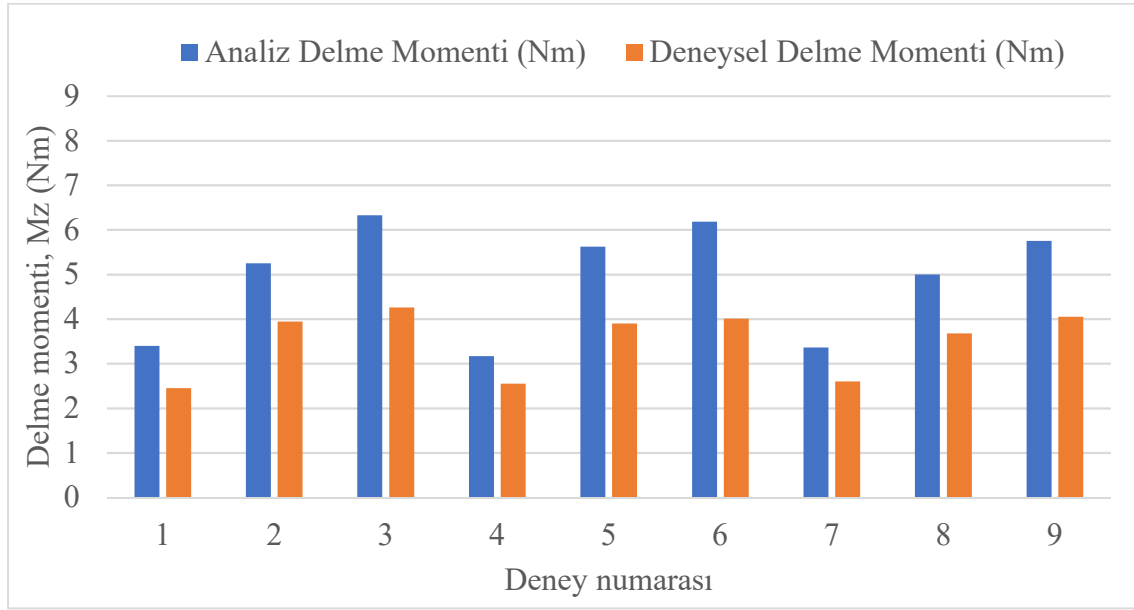
5.1.2. Delme momenti

AISI 4140 ıslah çeliğinin deneysel olarak delinmesinden ve SEA destekli TKA'dan elde edilen delme momenti sonuçları Çizelge 5.4.'te verilmiştir. Burada SEA destekli sanal simülasyon çalışmasından elde edilen sonuçlar deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmış olup deneysel çalışmaya yaklaşım oranları verilmiştir.

Çizelge 5.4. AISI 4140 ıslah çeliği deneysel ve SEA destekli TKA delme momenti sonuçları

Deney no	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Yarık talaş açısı (°)	Analiz delme momenti, Mz (Nm)	Deneysel delme momenti, Mz (Nm)	Yaklaşım oranı (%)
L1	80	0,15	10	3,40	2,57	132,25
L2	80	0,25	0	5,25	4,42	118,74
L3	80	0,3	-10	6,32	4,33	146,04
L4	100	0,15	0	3,17	2,25	140,89
L5	100	0,25	-10	5,63	4,21	133,61
L6	100	0,3	10	6,19	4,29	144,19
L7	120	0,15	-10	3,34	4,35	76,78
L8	120	0,25	10	4,99	4,52	110,51
L9	120	0,3	0	5,75	4,25	135,35

Delme momenti için oluşturulan kıyaslama grafiği (Şekil 5.3.) incelendiğinde itme kuvveti sonuçlarında olduğu gibi deneysel çalışma ve analiz sonuçlarının benzer bir eğilim gösterdiği görülmektedir. SEA destekli sanal simülasyon sonuçlarının deneysel çalışmadan daha yüksek çıkmaktadır. İlerleme miktarının artmasıyla delme momentinin arttığı görülmekte olup literatürde yapılan çalışmalarda da ilerleme miktarının artmasıyla delme momentin de artacağı belirtilmiştir [38, 103].



Şekil 5.3. AISI 4140 deneysel ve SEA destekli TKA delme moment sonuçlarının kıyaslanması

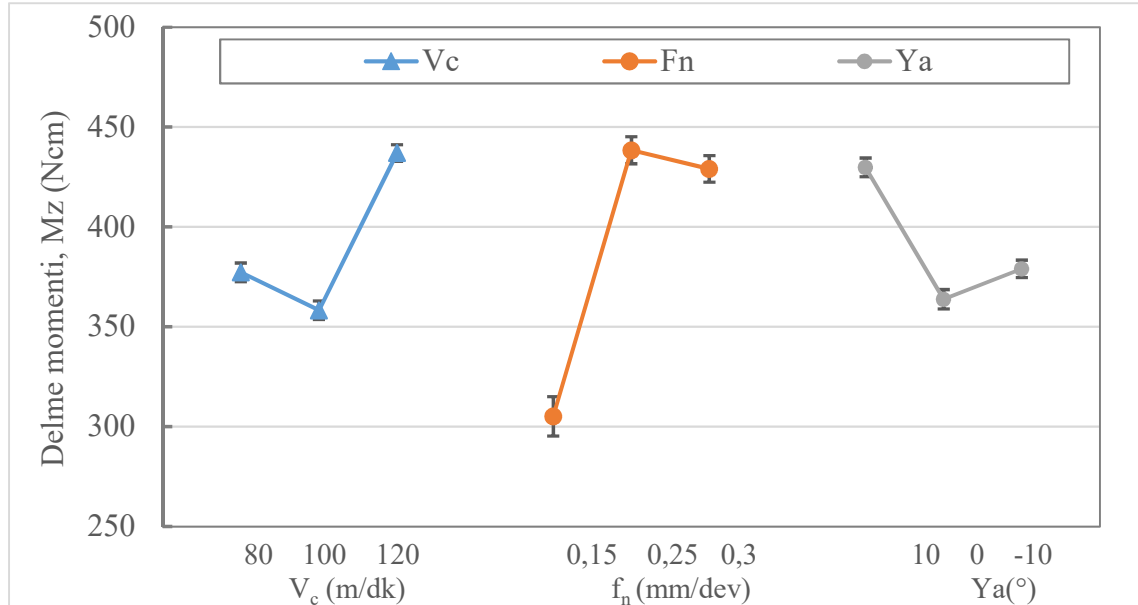
Delme momenti tahmin değerleri için yapılan ANOVA sonuçları Çizelge 5.5.'te verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde elde edilen P değerlerinin %5 (0,05) anlamlılık değerinden küçük ($P < \alpha$) olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmada kullanılan faktörlerin delme momenti üzerinde anlamlı etkisi bulunmaktadır. Bu faktörlerin etki derecesi, hesaplanan etki yüzdelere bakıldığında ilerleme miktarının %62,1, kesme hızının %18,9, YTA'nın %13,5 ve hatanın % 5,5 etkisinin olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.5. AISI 4140 ıslah çeliği deneysel delme momenti değerleri ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
V_c	2	30366	15183	34,36	0,00	18,9
f_n	2	99508	49754	112,61	0,00	62,1
Ya	2	21483	10741,6	24,31	0,00	13,5
Hata	20	8837	441,8			5,5
Toplam	26	160194				100

($\alpha=0,05$; $F_{\text{kritik}}=3,369$)

Delme momenti tahmin değerleri için ANOVA sonuçlarından elde edilen etki grafiği Şekil 5.4.'te verilmiştir. Etki grafiği “en küçük en iyidir.” yaklaşımıyla incelendiğinde AISI 4140 ıslah çeliğinin de en etkili kesme parametrelerinin 100 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 0° yarık talaş açısının olduğu görülmektedir. Kesme hızı seviyeleri için hata çubuklarının birbirleriyle çakışmaması seviyeler arasında anlamlı farkların olduğunu göstermektedir. İlerleme açısından 0,15 mm/dev ilerleme miktarının diğer iki seviyeye göre anlamlı bir etkisi görülürken 0,25 mm/dev ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarı arasında anlamlı bir etki görülmemiştir. YTA için seviyeler arasında anlamlı bir etkinin olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4. AISI 4140 ıslah çeliği için delme momenti ANOVA sonuçlarının etki grafiği

5.1.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğü

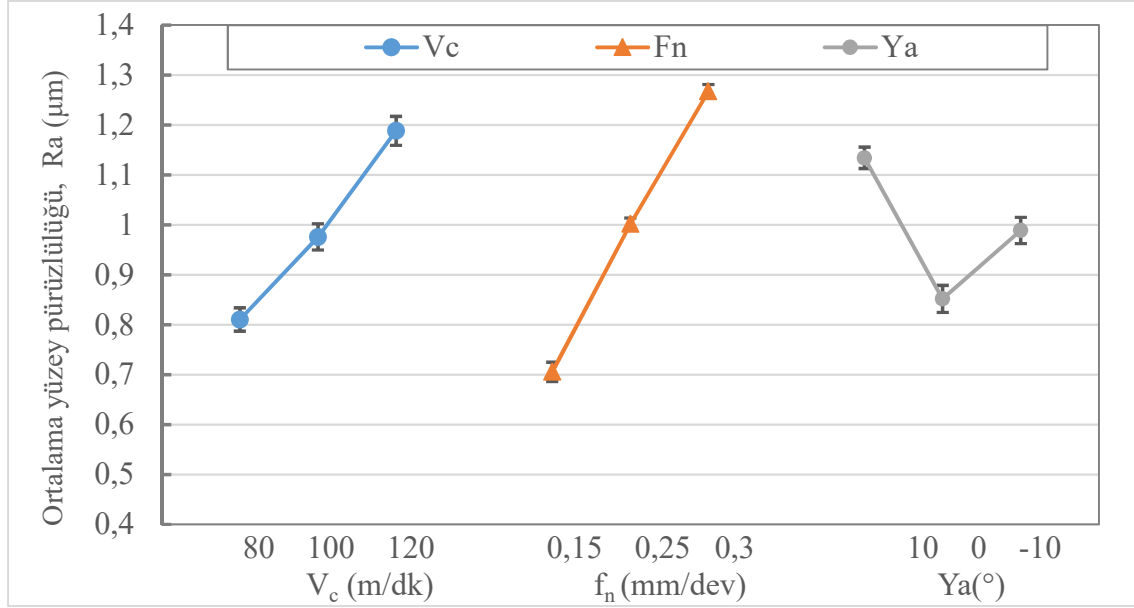
Ortalama yüzey pürüzlülük tahmin değerleri için yapılan ANOVA sonuçları (Çizelge 5.6.) değerlendirildiğinde P değerlerinin anlamlılık değerinden küçük olduğu görülmektedir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için faktörlerin anlamlı bir etkisi vardır. Çizelge 5.1.'de verilen ortalama yüzey pürüzlülük tahmin değerleri incelendiğinde ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı görülmektedir [48, 103, 104]. Ayrıca ANOVA sonuçları için hesaplanan etki yüzdelere göre Ra için en etkili parametre %53,4 ile ilerleme miktarıdır. Bunu sırasıyla %23,8 ile kesme hızı ve %12,6 ile YTA izlemektedir. Hata etkisinin (%10,2) faktörlerin etkisinden düşük olması modelin güvenilir olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.6. AISI 4140 ıslah çeliği Ra değerleri ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
V_c	2	0,17755	0,088777	23,32	0,00	23,8
f_n	2	0,39899	0,199496	52,4	0,00	53,4
Ya	2	0,09376	0,046879	12,31	0,00	12,6
Hata	20	0,07615	0,003807			10,2
Toplam	26	0,74645				100,0

($\alpha=0,05$; $F_{kritik}=3,369$)

Ortalama yüzey pürüzlülüğü tahmin değerleri için elde edilen etki grafiği (Şekil 5.5.) incelendiğinde 80 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 0° matkap yarık talaş açısının “en küçük en iyi” yaklaşımına göre en etkili parametreler olduğu görülmektedir. Kesme hızı için bakıldığında 80 m/dk'nın diğer iki kesme hızı seviyesine göre daha etkili olmakla beraber 100 m/dk ve 120 m/dk kesme hızları arasında önemli bir fark olmadığı görülmektedir. İlerleme miktarı açısından ise seviyeler arasında önemli bir fark olduğu görülmektedir. Yarık talaş açısı bakımından ise 0° ve -10° derece arasında önemli bir farkın olması fakat bu iki değer +10°den daha etkili olduğu söylenebilir.



Şekil 5.5. AISI 4140 ıslah çeliği için Ra ANOVA sonuçlarının etki grafiği

5.1.4. Çaptan sapma

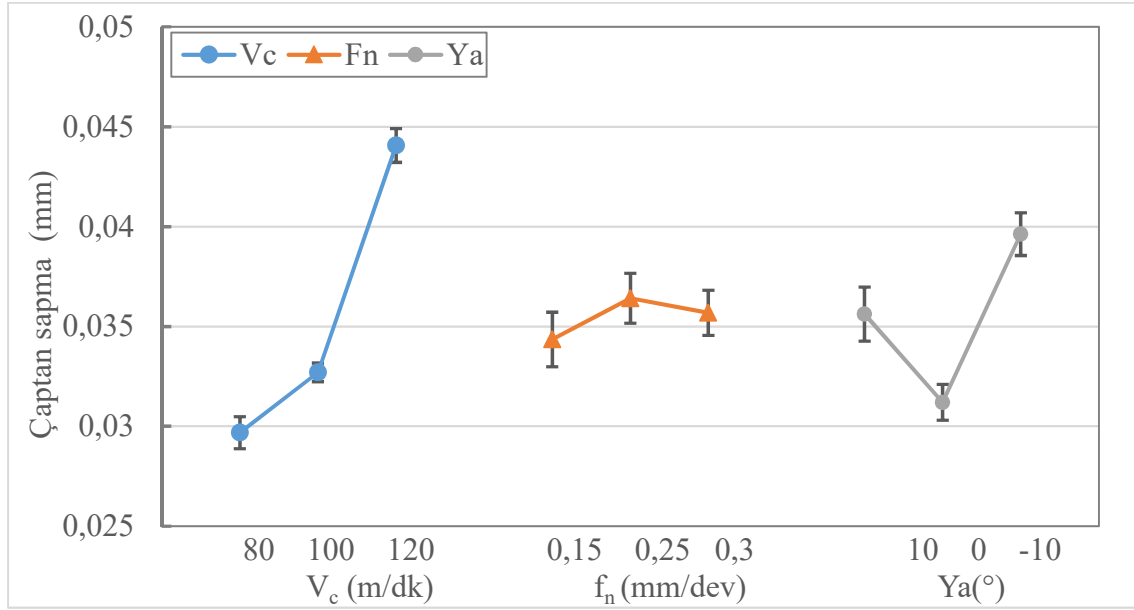
AISI 4140 ıslah çeliği için deneysel çalışma sonuçlarına göre yapılan ara değer tahmin işleminden alınan çaptan sapma tahmin değerleri Çizelge 5.7.'de verilmiştir. Bu değerler ile yapılan ANOVA sonuçlarına göre kesme hızı ve yarık talaş açısı P değerlerinin 0,05 anlamlılık değerinden küçük olduğu görülmektedir. Bu iki faktörün çaptan sapma değerleri için anlamlı bir etkisi vardır. Fakat ilerleme miktarının P değeri 0,05'ten büyük olduğu için anlamlı bir etkisinin olduğu söylenemez. Yapılan analizin modele etki oranları hesaplandığında %67 ile kesme hızı en etkili faktör olurken onu sırasıyla %20,6 ile YTA ve %1,3 ile YTA izlemektedir. Kesme hızının artmasıyla beraber çaptan sapma değerleri de artmıştır [33].

Çizelge 5.7. AISI 4140 ıslah çeliği çaptan sapma değerleri ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
V _c	2	0,001035	0,000518	60,34	0	67,0
f _n	2	0,00002	0,00001	1,14	0,338	1,3
Y _a	2	0,000319	0,000159	18,59	0	20,6
Hata	20	0,000172	0,000009			11,1
Toplam	26	0,001545				100,0

($\alpha = 0,05$; $F_{\text{kritik}} = 3,369$)

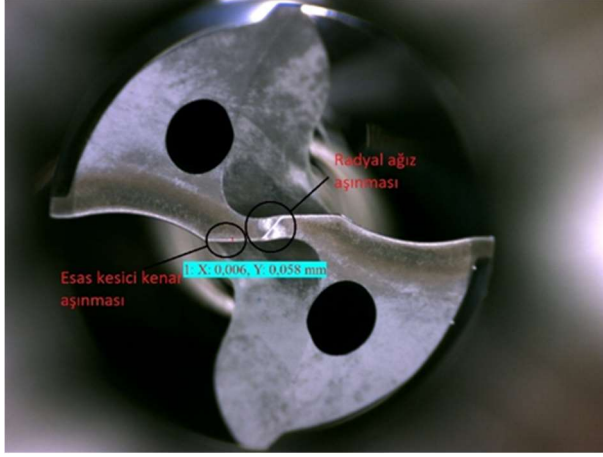
Şekil 5.6.'daki çaptan sapma tahmin değerleri etki grafiği incelendiğinde en etkili parametrelerin 80 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 0° YTA en etkili parametrelerdir. Kesme hızı ve YTA seviyeleri arasında anlamlı fark görülürken ilerleme miktarı seviyeleri arasında anlamlı bir fark görülmemektedir. ANOVA sonuçlarında da ilerlememe miktarının etkisi hatanın etkisinden küçük olması bu durumu desteklemektedir.



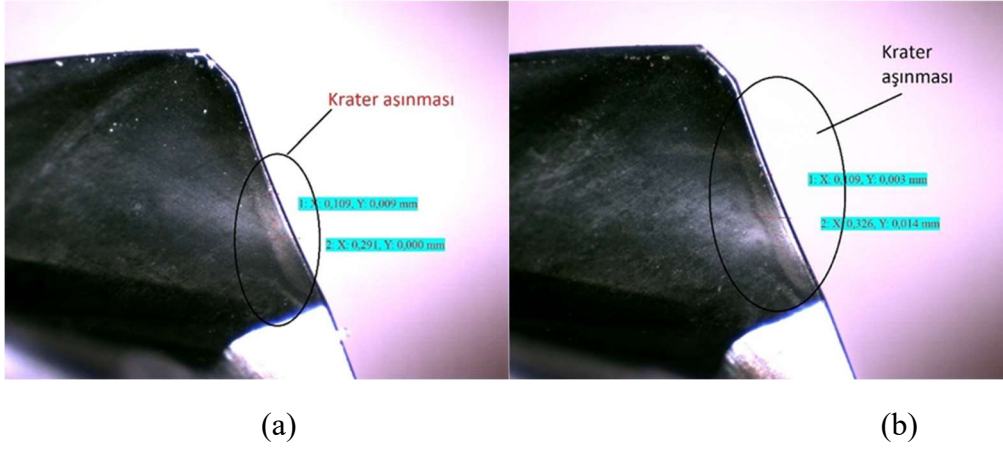
Şekil 5.6. AISI 4140 ıslah çeliği için çaptan sapma ANOVA sonuçlarının etki grafiği

5.1.5. Takım aşınması

Delinen malzeme türüne bağlı olarak matkaplarda farklı aşınma türleri meydana gelmektedir. Delme sırasında matkaplarda genellikle esas kesici kenar aşınması, radyal ağız aşınması, dış köşe aşınması, krater aşınması, serbest yüzey aşınması ve kesici kenarda talaş yığılması aşınmaları meydana gelmektedir. Deneysel çalışmadan her bir deney için 100'er adet delik delinmiştir. Her deneyde ki aşınmaların görülebilmesi için ayrı takımlar kullanılmıştır. AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesi sırasında matkaplarda Resim 5.1.'de gösterilen esas kesici kenar aşınması ve radyal ağız aşınmaları, Resim 5.2. (a) ve (b)'de gösterilen talaş yüzeyinde krater aşınmalarının meydana geldiği görülmektedir. Bu aşınmalar detaylı olarak incelendiğinde kaplama üzerinde meydana geldikleri görülmektedir. Çizelge 5.8.'de AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesi sırasında matkaplarda meydana gelen aşınma ölçüm sonuçları verilmiştir. Ayrıca her bir deneyde kullanılan matkapların aşınma ölçüm resimleri EK-1. ve EK-2.'de verilmiştir



Resim 5.1. Esas kesici kenar ve radyal ağız aşınması (AISI 4140)



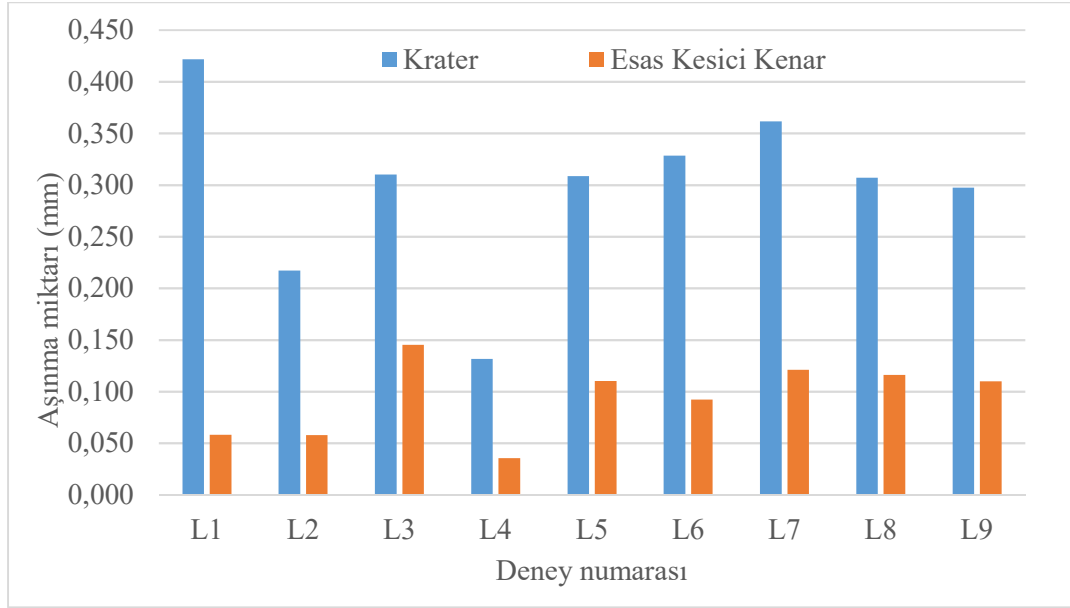
Resim 5.2. Krater aşınması (AISI 4140)

Çizelge 5.8. AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesindeki takım aşınma sonuçları

Deney no	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Yarık talaş açısı (°)	Krater aşınması (mm)	Esas kesici kenar aşınması (mm)
L1	80	0,15	10	0,429	0,058
L2	80	0,25	0	0,243	0,058
L3	80	0,30	-10	0,311	0,145
L4	100	0,15	0	0,149	0,036
L5	100	0,25	-10	0,326	0,110
L6	100	0,30	+10	0,277	0,092
L7	120	0,15	-10	0,34	0,121
L8	120	0,25	+10	0,3	0,116
L9	120	0,3	0	0,309	0,110

Şekil 5.7'deki takım aşınması kıyasla grafiği incelendiğinde krater aşınması için en yüksek sonuç 0,429 mm ile L1 numaralı deneyden esas kesici kenar aşınması için en yüksek sonuç

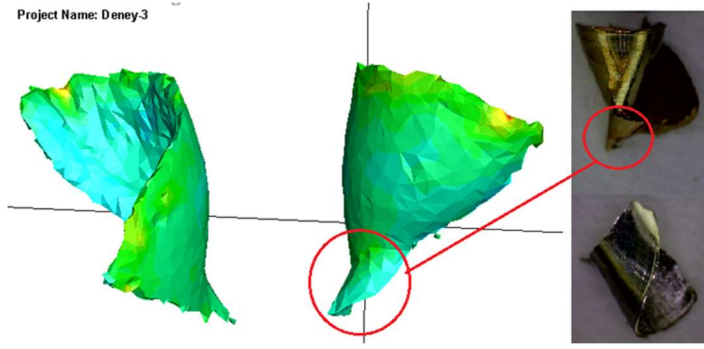
ise 0,145 mm ile L3 numaralı deneyden ölçülmüştür. En düşük krater aşınması (0,149 mm) ve esas kesici kenar aşınması (0,036 mm) L4 numaralı deneyde olduğu görülmektedir. Her 3 kesme hızı değeri ile yapılan deneylerden ölçülen esas kesici kenar aşınmaları incelendiğinde 0° YTA'ya sahip matkaplar ile yapılan deneylerin diğer iki YTA ile yapılan deneylere göre daha düşük sonuçlar verdiği görülmektedir.



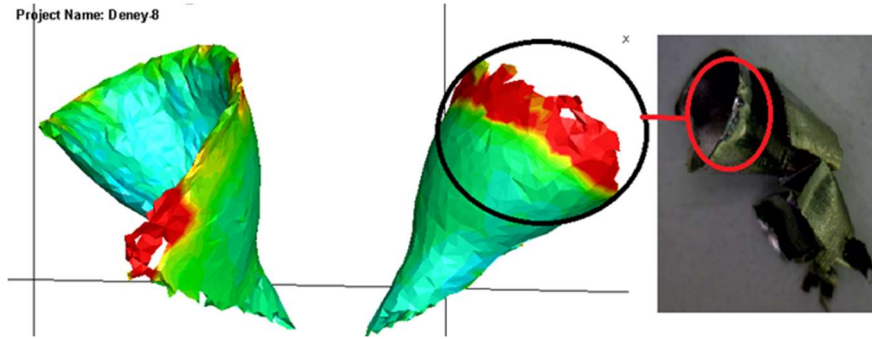
Şekil 5.7. AISI 4140 ıslah çeliği için takım aşınma sonuçlarının kıyaslanması

5.1.6. Talaş formları

AISI 4140 ıslah çeliğinin deneysel olarak delinmesinden ve SEA tabanlı TKA'larından elde edilen talaş geometrileri karşılaştırmalı olarak EK-9'da verilmiştir. Resim 5.3'te L3 numaralı deneyden elde edilen talaş ve SEA tabanlı TKA'dan elde edilen talaş verilmiştir. Burada talaşların alt kısımları ve genel formları incelendiğinde benzer oldukları görülmektedir. Resim 5.4'te L8 numaralı deneyin talaş fotoğrafları verilmiş olup deneysel çalışmadan elde edilen talaşa bakıldığında üst kısmının plastik deformasyon sonucu düzensiz şekil değişimleri olduğu tespit edilmiştir. Analizden alınan talaşta da aynı durum görülmektedir. Analizden alınan talaşlardaki renkler plastik deformasyona uğrama derecesini göstermekte olup kırmızı ile boyalı olan yerler en yoğun plastik deformasyon olan bölgeyi temsil etmektedir.



Resim 5.3. L3 numaralı deneysel çalışma ve TKA'dan elde edilen talaşların kıyaslanması



Resim 5.4. L8 numaralı deneysel çalışma ve TKA'dan elde edilen talaşların kıyaslanması

5.2. Ck 45 İmalat Çeliği İçin Bulgular ve Değerlendirme

Ck45 imalat çeliği için yapılan Taguchi metodu tabanlı ANOVA sonuçlarına göre faktörlerin delme momenti, itme kuvveti, çaptan sapma, ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüş olup bağımsız değişkenlerin birbiriyle olan etkileşimlerinin ve ara değer verilerinin etkilerini görme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Taguchi metodu faktörlerin her seviyesi için ara değerlerin tahmin edilmesi imkânı vermekte olup yapılan tam faktöriyel deney tasarımında L9 deney tasarımı dışında kalan deneyler için bu ara yüz kullanılarak değer tahminleri yapılmıştır. Ck45 imalat çeliği için yapılan tahmin sonuçları Çizelge 5.9.'da verilmiştir. Çizelgede yeşil ile boyalı satırlar deneysel çalışmadan elde edilmiş sonuçları ifade etmektedir.

Çizelge 5.9. Ck45 için ara değer tahmin sonuçları

Deney no	V _c (m/dk)	f _n (mm/dev)	Y _a (°)	Delme moment (Ncm)	İtme kuvveti (N)	Çaptan sapma (mm)	Ortalama yüzey pürüzlülük (μm)
L1	80	0,15	10	244,5	721,4	0,021	1,252
L2	80	0,15	0	267,5	784,7	0,025	1,585
L3	80	0,15	-10	273,1	952,4	0,033	1,999
L4	80	0,25	10	365,5	961,4	0,032	1,545
L5	80	0,25	0	394,4	905,2	0,027	1,690
L6	80	0,25	-10	394,2	1168,1	0,034	1,961
L7	80	0,3	10	399,1	1080,3	0,031	1,519
L8	80	0,3	0	422,2	1095,4	0,026	1,522
L9	80	0,3	-10	426,0	1396,1	0,038	2,316
L10	100	0,15	10	239,2	832,8	0,031	2,180
L11	100	0,15	0	254,6	953,2	0,031	2,743
L12	100	0,15	-10	268,0	1039,5	0,034	2,596
L13	100	0,25	10	360,4	1048,5	0,033	2,142
L14	100	0,25	0	383,4	1063,6	0,028	2,146
L15	100	0,25	-10	390,1	1241,5	0,036	2,191
L16	100	0,3	10	400,8	1092,9	0,035	2,205
L17	100	0,3	0	417,0	1182,5	0,029	2,120
L18	100	0,3	-10	422,7	1374,0	0,036	2,534
L19	120	0,15	10	228,1	812,9	0,044	2,021
L20	120	0,15	0	251,2	828,0	0,04	2,024
L21	120	0,15	-10	260,2	964,3	0,049	2,423
L22	120	0,25	10	368,3	1135,6	0,049	2,305
L23	120	0,25	0	372,3	1043,6	0,041	1,986
L24	120	0,25	-10	378,0	1235,2	0,048	2,400
L25	120	0,3	10	382,8	1147,4	0,045	1,958
L26	120	0,3	0	405,3	1142,8	0,033	1,600
L27	120	0,3	-10	411,6	1354,1	0,048	2,375

5.2.1. İtme kuvveti

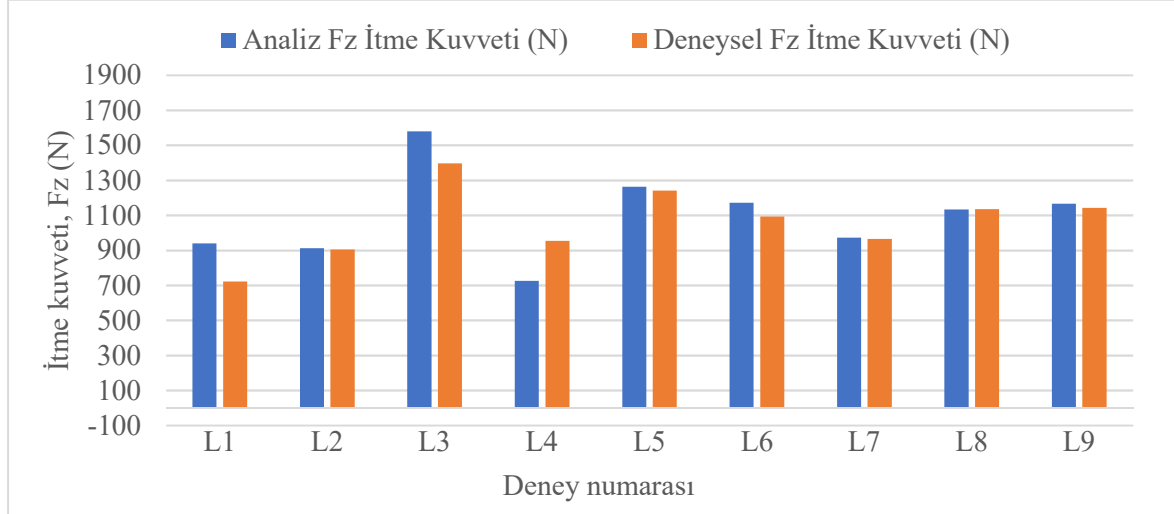
Ck45 imalat çeliği için yapılan deneysel çalışma ve SEA destekli TKA'dan elde edilen itme kuvveti değerleri Çizelge 5.10.'da verilmiştir. Çizelgede SEA destekli TKA sonuçlarının deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara yaklaşım oranı yüzde olarak hesaplanarak eklenmiştir. Ayrıca Çizelge 5.1.'de itme kuvveti ara değer tahmin sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.10. Ck45 imalat çeliği için deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvveti sonuçları

Deney no	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Yarık talaş açısı (°)	Analiz itme kuvveti, Fz (N)	Deneysel itme kuvveti, Fz (N)	Yaklaşım oranı (%)
L1	80	0,15	10	939,40	721,36	130,23
L2	80	0,25	0	912,86	905,25	100,84
L3	80	0,3	-10	1579,49	1396,15	113,13
L4	100	0,15	0	725,82	953,24	76,14
L5	100	0,25	-10	1263,29	1241,55	101,75
L6	100	0,3	10	1172,34	1092,94	107,26
L7	120	0,15	-10	971,46	964,26	100,75
L8	120	0,25	10	1133,13	1135,57	99,78
L9	120	0,3	0	1166,47	1142,79	102,07

Deneysel çalışmadan alınan itme kuvveti sonuçları incelendiğinde ilerleme miktarının artmasıyla oluşan itme kuvvetlerinin de arttığı görülmektedir. Bununla beraber -10° YTA çalışmanın öngörüsünde olduğu gibi itme kuvvetlerinin artmasına neden olmuştur. Şekil 5.8.'de deneysel çalışmadan ve SEA destekli TKA'dan elde edilen itme kuvveti sonuçları grafiksel olarak kıyaslanmıştır. Grafik incelendiğinde SEA destekli TKA ile deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların benzer bir eğilim gösterdiği görülmektedir. En yüksek itme kuvveti 80 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ve -10° YTA açısı ile yapılan L3 numaralı deneyden elde edilmiştir. En düşük itme kuvveti ise 80 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile +10° YTA ile yapılan L1 numaralı deneyden elde edilmiştir. İlerleme miktarının artmasıyla bu yönde matkap üzerinde oluşan itme kuvvetinin de arttığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda farklı malzemeler için ilerleme miktarının artmasıyla beraber itme kuvvetinin de arttığı belirtilmiştir [41,43,48]. Ayrıca deneysel çalışmadan alınan itme kuvveti değerleri incelendiğinde 80 m/dk ve 100 m/dk kesme hızlarında -10° YTA'nın diğer takımlara göre daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu durum negatif

yarık talaş açısının çıkan talaşı daha çok eğmeye çalışması dolayısıyla ikinci deformasyon bölgesinden takıma daha çok yük gelmesine neden olmuştur.



Şekil 5.8. Ck45 çeliği için deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvvetleri kıyaslaması

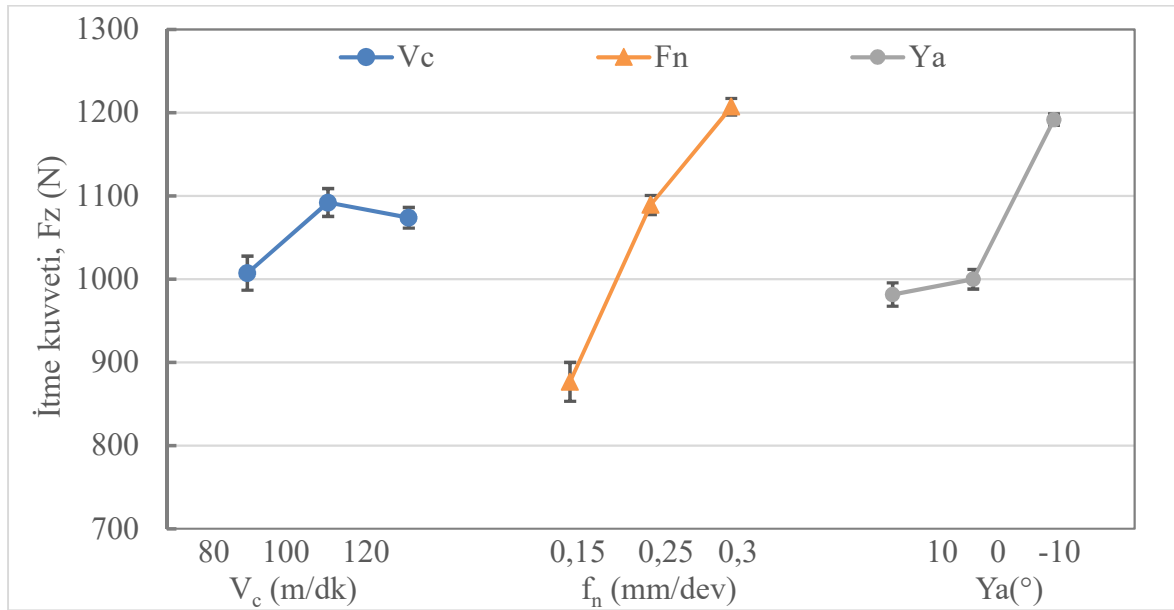
Çizelge 5.11’de itme kuvveti ara değer tahmin değerleri için yapılan ANOVA sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar 0,05 güven aralığına göre incelenmiştir. Faktörlerin P değerlerinin güven aralığından küçük çıkması faktörlerin itme kuvveti üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğunu göstermektedir. ANOVA sonuçlarından hesaplanan etki oranları hatanın etkisinin %5,92 olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının etkisi %60,56 ve YTA’nın etkisi %29,22 ile hatadan yüksektir. Kesme hızının etkisi ise %4,30 ile hatanın etkisinden düşüktür. Etki oranlarına bakıldığında itme kuvveti üzerinde ilerleme miktarı en etkili parametre olurken sırasıyla YTA ve kesme hızı takip etmektedir. Delik delme işlemlerinde itme kuvvetinin ilerleme yönünde oluştuğu düşünüldüğünde ilerle miktarının bu kuvvetin oluşumunda büyük bir etkiye sahip olduğu yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir.

Çizelge 5.11. Ck 45 imalat çeliği deneysel itme kuvveti değerleri için ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
V _c	2	35868	17934	7,26	0,004	4,30
f _n	2	505592	252796	102,28	0	60,56
Y _a	2	243963	121981	49,35	0	29,22
Hata	20	49434	2472			5,92
Toplam	26	834857				100

($\alpha = 0,05$; $F_{\text{kritik}} = 3,369$)

Şekil 5.9.'da itme kuvveti için etki grafiği verilmiştir. İtme kuvveti için etki grafiği “en küçük en iyi” yaklaşımıyla incelendiğinde, itme kuvveti için optimum parametrelerin 80 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve -10° YTA olduğu görülmektedir. Burada 80 m/dk kesme hızının diğer seviyelere göre anlamlı etkisi görülürken 100 m/dk ve 120 m/dk arasında anlamlı bir farkın olmadığı görülmektedir. İlerleme miktarı açısından bütün seviyeler arasında anlamlı bir etki olduğu görülmektedir. YTA'nın $+10^\circ$ ve 0° arasında anlamlı bir fark görülmezken bu iki seviyenin -10° 'den anlamlı bir farkının olduğu görülmüştür.



Şekil 5.9. Ck 45 imalat çeliği için itme kuvveti ANOVA sonuçlarının etki grafiği

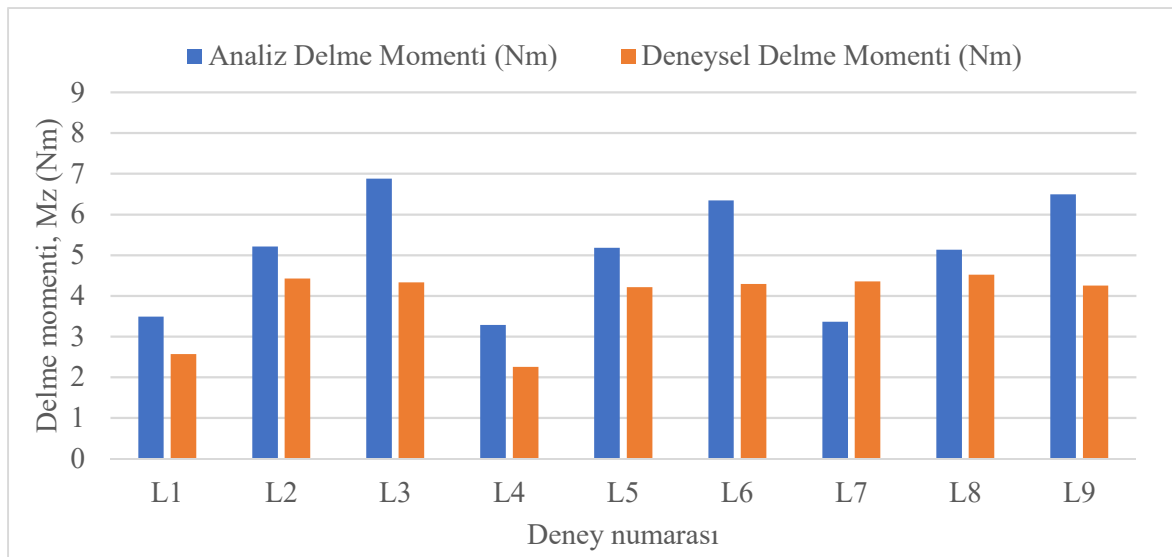
5.2.2. Delme momenti

Ck45 imalat çeliğinin deneysel olarak delinmesinden ve SEA destekli TKA'dan elde edilen delme moment sonuçları Çizelge 5.12'de verilmiştir. Delme sırasında dinamometre ile delme moment sonuçları Ncm cinsinden ölçülmüştür. Analiz sonuçlarında ise Nm cinsinden alınmıştır. Kıyaslamaların yapılabilmesi için deneysel çalışmadan alınan sonuçlar Nm cinsine çevrilmiştir. Analizden alınan sonuçların deneysel çalışmadan alınan verilere göre kıyaslaması yaklaşım oranları hesaplanarak verilmiştir.

Çizelge 5.12. CK45 imalat çeliği için deneysel ve SEA destekli TKA delme momenti sonuçları

Deney no	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Yarık talaş açısı (°)	Analiz delme momenti, M_z (Nm)	Deneysel delme momenti, M_z (Nm)	Yaklaşım oranı (%)
L1	80	0,15	10	3,49	2,44	183,49
L2	80	0,25	0	5,21	3,94	182,85
L3	80	0,3	-10	6,88	4,26	208,36
L4	100	0,15	0	3,28	2,55	168,01
L5	100	0,25	-10	5,18	3,90	184,12
L6	100	0,3	10	6,34	4,01	193,14
L7	120	0,15	-10	3,36	2,60	167,39
L8	120	0,25	10	5,13	3,68	193,74
L9	120	0,3	0	6,49	4,05	209,36

Şekil 5.10.'da analiz ve deneysel çalışmadan elde edilen delme moment sonuçları grafiksel olarak kıyaslanmıştır. Deneysel çalışmada en düşük delme moment sonuçları L4 numaralı deneyden elde edilmiştir. En yüksek delme momenti ise L3 numaralı deneyden elde edilmiştir. L1 ve L4 numaralı deneyler haricinde diğer deneylerden edilen sonuçlar arasında büyük bir fark olmadığı görülmektedir. Delme momenti açısından da itme kuvvetinde olduğu gibi ilerleme miktarının artmasına bağlı olarak bir artış görülmektedir. Kesme hızı açısından bakıldığında ilerleme miktarı kadar bir etkinin olmadığı Çizelge 5.12'deki deneysel çalışmadan ölçülen delme moment sonuçlarından görülmektedir [41].



Şekil 5.10. Ck 45 deneysel ve SEA destekli TKA delme moment sonuçlarının kıyaslanması

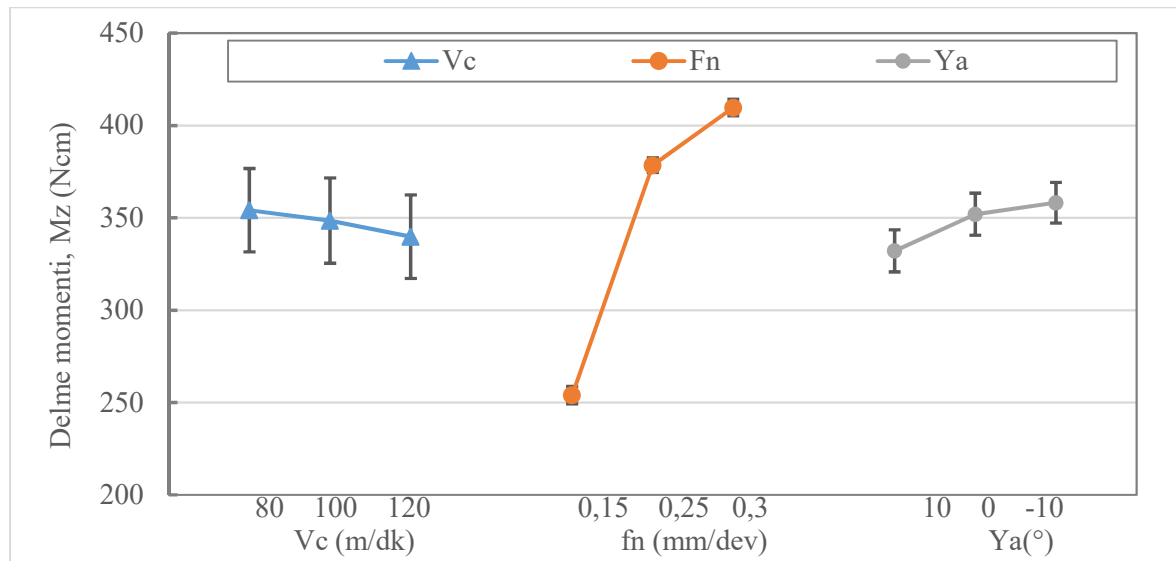
Delme momenti tahmin değerleri için yapılan ANOVA sonuçlarına (Çizelge 5.13) göre parametrelerin delme momenti üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu görülmektedir. Etki oranları incelendiğinde hatanın etkisinin YTA'dan yüksek ilerleme miktarı ve kesme hızından düşük olduğu görülmektedir. Delme momenti açısından ilerleme miktarı %96,3; YTA %2,7; kesme hızı %0,7 ve hata %0,3 oranında bir etkiye sahiptir.

Çizelge 5.13. Ck 45 imalat çeliği deneysel delme momenti değerleri ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
V _c	2	935	467,5	25,98	0,00	0,7
f _n	2	122115	61057,4	3393	0,00	96,3
Y _a	2	3355	1677,3	93,21	0,00	2,7
Hata	20	360	18			0,3
Toplam	26	126764				100

($\alpha = 0,05$; $F_{\text{kritik}} = 3,369$)

Ck 45 imalat çeliği delme momenti deneysel çalışma sonuçları için yapılan Varyans Analizine göre elde edilen etki grafiği Şekil 5.11'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde kesme hızı seviyeleri arasında anlamlı farklar olmadığı, hata çubuklarının geniş bir yayılım izlemesi ve birbiri ile çakışması sonucu görülmüştür. İlerleme miktarı seviyeleri arasında anlamlı fark olduğu ve en etkili değerin 0,15 mm/dev olduğu tespit edilmiştir. YTA bakımından incelendiğinde +10° ile 0° arasında ve 0° ile de -10° arasında anlamlı bir fark yok olup +10° YTA'nın diğer iki değere göre daha etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 5.11. Ck 45 imalat çeliği için delme momenti ANOVA sonuçlarının etki grafiği

5.2.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğü

Ck45 imalat çeliğinin delinmesinden elde edilen deliklerin ortalama yüzey pürüzlülükleri giriş ve çıkış bölgesinden 4'er ölçüm alınarak bu ölçümlerin aritmetik ortalamaları alınarak belirlenmiştir. Çizelge 5.1.'de ortalama yüzey pürüzlülük tahmin değerleri ve deneysel çalışmadan alınan değerler verilmiştir. -10° YTA'na sahip matkaplar ile yapılan deneylerde ortalama pürüzlülük değerlerinin diğer seviyeler ile kıyaslandığında yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir.

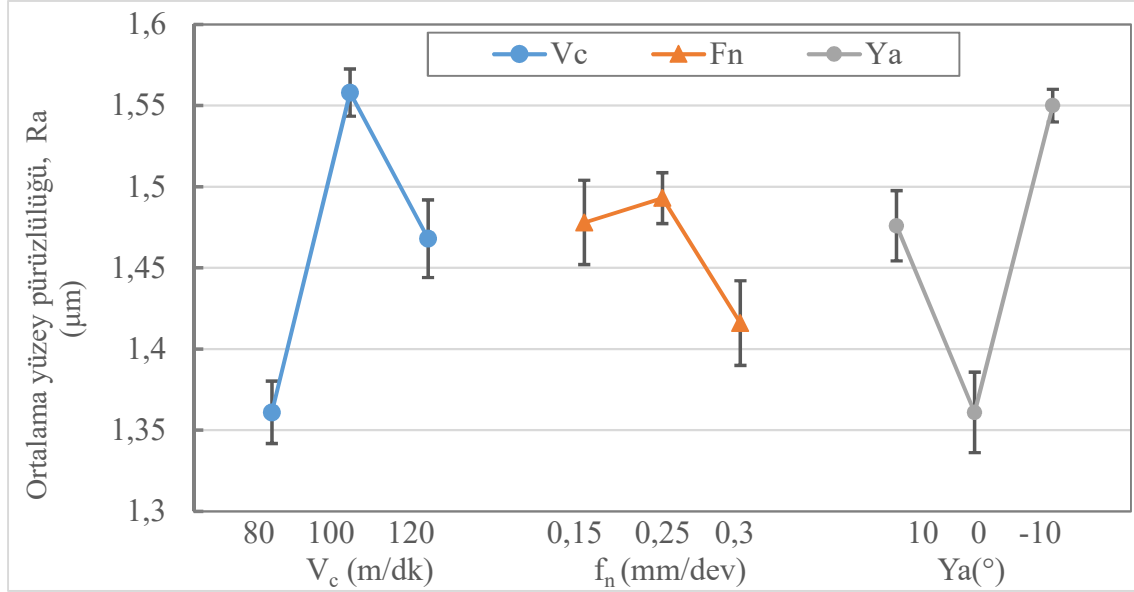
Ortalama yüzey pürüzlülüğü tahmin değerleri için yapılan ANOVA sonuçları (Çizelge 5.14.) incelendiğinde kesme hızı ve YTA'nın P değerlerinin anlamlılık değerinden küçük olması nedeniyle faktörlerin ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. İlerleme miktarının P değerinin anlamlılık değerinden düşük çıkması ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından anlamlı bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Yapılan analizde hatanın etkisi (%32,6) kontrol faktörlerinin etkisinden yüksek çıkmaktadır. Bu da yapılan analizin güvenilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.14. Ck 45 imalat çeliği Ra değerleri ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
V _c	2	0,17499	0,087495	9,79	0,001	31,9
f _n	2	0,02999	0,014997	1,68	0,212	5,5
Y _a	2	0,16454	0,08227	9,21	0,001	30,0
Hata	20	0,1787	0,008935			32,6
Toplam	26	0,54823				100,0

($\alpha = 0,05$; $F_{kritik} = 3,369$)

Ortalama yüzey pürüzlülük tahmin değerleri ANOVA sonuçlarından alınan etki grafiği (Şekil 5.11.) “en küçük en iyi” yaklaşımıyla incelendiğinde ortalama yüzey pürüzlülüğü için en anlamlı parametrelerin 80 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dk ilerleme miktarı ve 0° YTA en anlamlı parametrelerdir. Faktörlerin seviyeleri kendi aralarında değerlendirildiğinde kesme hızı ve ilerleme miktarının seviyelerinin aralarında anlamlı farklar vardır. İlerleme miktarı incelendiğinde 0,3 mm/dev ilerleme miktarının diğer iki seviyeden anlamlı bir farkı varken 0,15 mm/dev ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarının arasında anlamlı bir fark görülmemektedir.



Şekil 5.12. Ck 45 imalat çeliği için Ra ANOVA sonuçlarının etki grafiği

5.2.4. Çaptan sapma

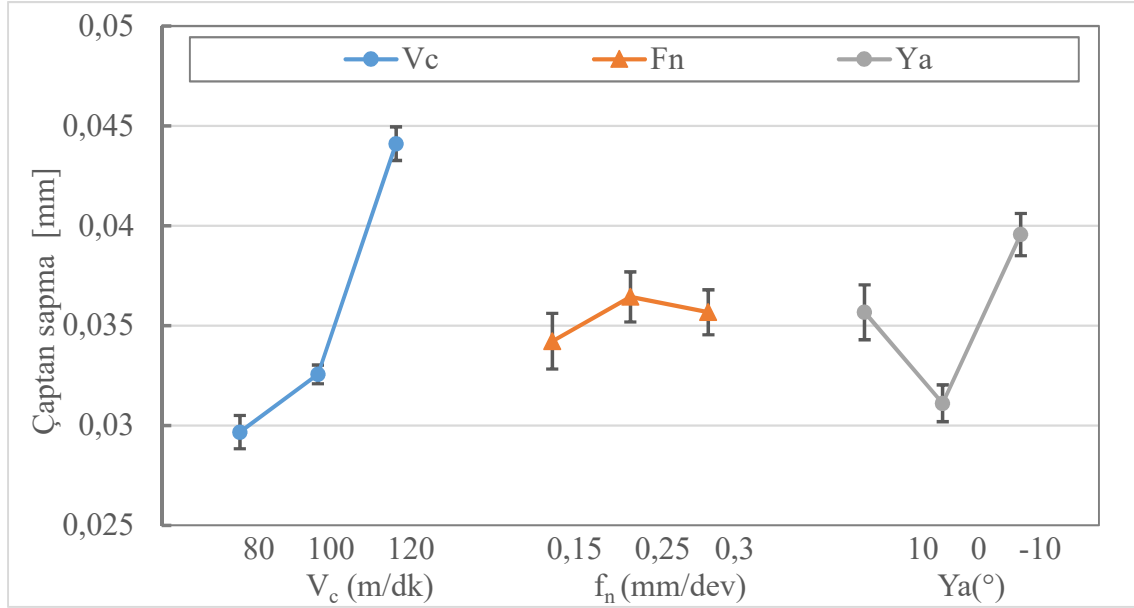
AISI 4140 ıslah çeliği yapılan deneysel çalışma sonucu delinmiş deliklerden ölçülen çaptan sapma değerleri ve bu değerler kullanılarak çıkartılan ara değerleri Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve YTA faktörlerinin etkilerini görmek amacıyla ANOVA yapılmış olup sonuçlar Çizelge 5.15'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Kesme hızı ve YTA açısının P değerleri 0,05 anlamlılık değerinden küçük olduğundan bu iki faktöründe çaptan sapma üzerinde anlamlı etkisi vardır. Fakat ilerleme miktarının P değeri anlamlılık değerinden büyük çıkmıştır. Bu yüzden ilerleme miktarının çaptan sapma üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Hesaplanan etki oranlarına göre en anlamlı parametrenin %66,8 ile kesme hızı olduğu, bu faktörü %20,4 ile YTA ve %1,4 ile ilerleme miktarı izlemektedir.

Çizelge 5.15. Ck 45 imalat çeliği çaptan sapma değerleri ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
V _c	2	0,001052	0,000526	58,86	0,00	66,8
f _n	2	0,000023	0,000011	1,28	0,30	1,4
Y _a	2	0,000322	0,000161	18	0,00	20,4
Hata	20	0,000179	0,000009			11,4
Toplam	26	0,001575				100

($\alpha = 0,05$; $F_{\text{kritik}} = 3,369$)

Çaptan sapma değerleri için yapılan ANOVA sonuçları doğrultusunda oluşturulan etki grafiğinde (Şekil 5.13.) kesme hızı ve YTA faktörlerinin seviyeleri arasında da anlamlı bir fark görülürken ilerleme miktarının seviyeleri arasında anlamlı bir fark görülmemektedir. Ck45 imalat çeliğinin delinmesinde 80 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 0° YTA seviyelerinin kullanılması ile en uygun çaptan sapma değerinin elde edileceği görülmektedir.



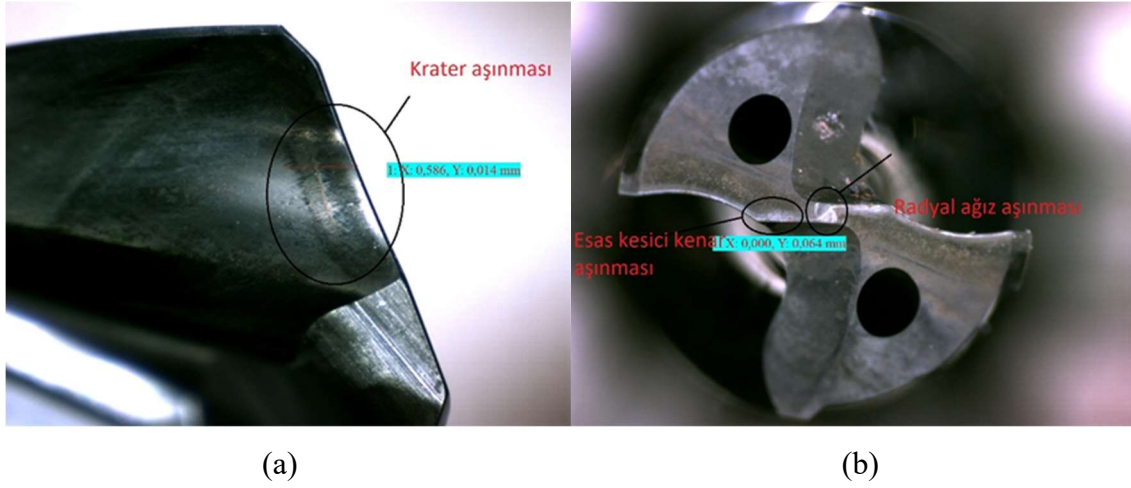
Şekil 5.13. Ck 45 imalat çeliği için çaptan sapma ANOVA sonuçlarının etki grafiği

5.2.5. Takım aşınması

Ck45 imalat çeliğinin delinmesi sonucu matkaplarda genellikle esas kesici kenar aşınması, krater aşınması (Resim 5.5) gözlemlenmiştir. L4 ve L9 numaralı deneylerde zırhta kırılmalar meydana gelmiştir. Ayrıca L7 numaralı deneyde 100 delik delemekten matkap 78. delikte kırılmıştır. Matkaplarda meydana gelen aşınma ölçüm sonuçları Çizelge 5.16'da verilmiştir. Burada L7 numaralı deneyde matkabın kırılması sebebiyle aşınma miktarı diğer deneylerde ölçülen en yüksek aşınma miktarından büyük bir değer seçilerek Çizelge 5.16 ve Şekil 5.14 gösterilmiştir. Resim 5.5. (a) ve (b)'de aşınma türleri gösterilmiştir.

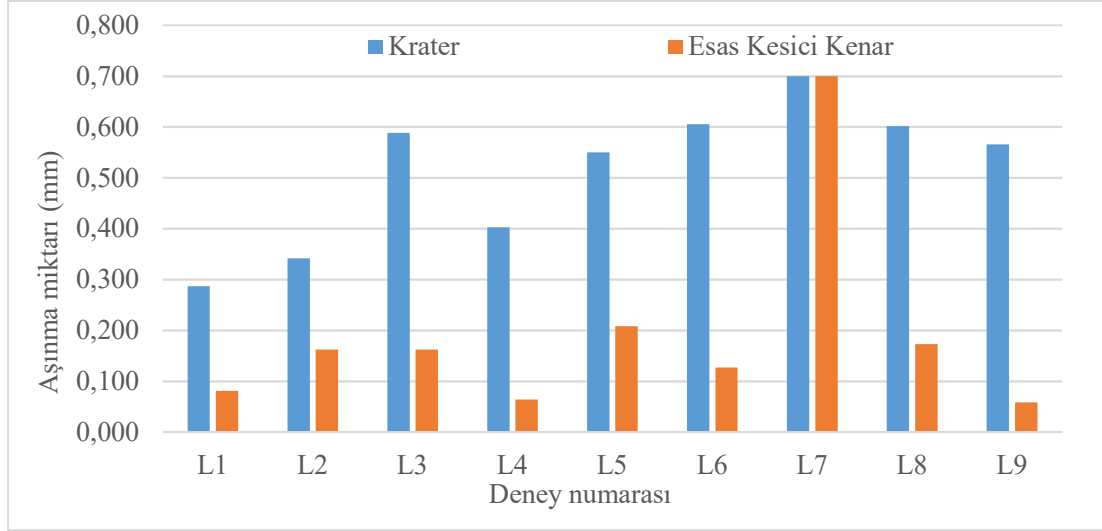
Çizelge 5.16. Ck 45 imalat çeliğinin delinmesindeki takım aşınma sonuçları

Deney no	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Yarık talaş açısı (°)	Krater aşınması (mm)	Esas kesici kenar aşınması (mm)
L1	80	0,15	+10	0,287	0,081
L2	80	0,25	0	0,3415	0,162
L3	80	0,30	-10	0,5885	0,162
L4	100	0,15	0	0,4025	0,064
L5	100	0,25	-10	0,55	0,208
L6	100	0,30	+10	0,6055	0,127
L7	120	0,15	-10	0,7	0,7
L8	120	0,25	+10	0,6015	0,173
L9	120	0,3	0	0,5655	0,058



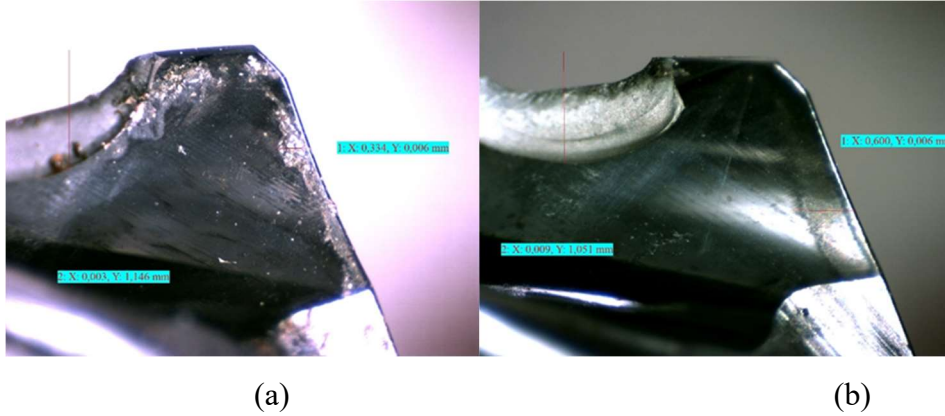
Resim 5.5. Aşınma türleri (Ck 45)

Şekil 5.14.'te Ck45 imalat çeliğinin delinmesinde meydana gelen krater aşınması ve esas kesici kenar aşınma miktarlarının kıyaslanması grafiksel olarak gösterilmiştir. L7 numaralı deneyde matkabin 78. delikte kırılması 120 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve -10° YTA'nın Ck 45 imalat çeliği için takım ömrü açısından olumsuz bir sonuç vermiştir. Aşınma grafiği incelendiğinde 80 m/dk ve 100 m/dk kesme hızlarında ilerleme miktarının artmasıyla takım aşınma miktarının arttığı görülmektedir. 120 m/dk kesme hızında bu olay ters yöne dönmüş olup ilerleme miktarının artmasıyla takımda meydana gelen aşınma miktarlarında azalma meydana gelmiştir. Ayrıca -10° YTA ile yapılan deneylerde takım aşınmasında bir artış olduğu görülmektedir.



Şekil 5.14. Ck45 için takım aşınma miktarı kıyaslaması

Resim 5.6. (a) ve (b) incelendiğinde L4 ile L9 numaralı deneyler zırhta meydana gelen kırılma görülmektedir. L4 numaralı deneyde meydana gelen kırılmanın genişliği 1,146 mm olarak, L9 numaralı deneyde ise 1,051 mm olarak ölçülmüştür. Zırhın kırılmasına çıkan talaşın zırh ile delik arasında girmesi neden olmaktadır. Matkap uç kısmında aşınma ölçümleri ve talaş yüzeyinde meydana gelen aşınma ölçüm fotoğrafları EK-3 ve EK-4’te verilmiştir.



Resim 5.6. L4 (a) ve L9 (b) numaralı deneylerde zırhta meydana gelen kırılma

5.3. GGG50 Küresel Grafitli Dökme Demir İçin Bulgular

GGG50 KGDD’in delinmesinden ölçülen itme kuvveti, delme momenti, ortalama yüzey pürüzlülük ve çapma sapma değerleri ile yapılan Taguchi metodu tabanlı ANOVA sonuçlarında parametrelerin anlamlı etkileri görülmemiştir. Bu sebeple faktörlerin ve seviyelerinin etkilerin daha iyi görülebilmesi için ara değer tahmin ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Tam faktöriyel deney tasarımı yapılmış olup Taguchi metodu ara değer tahmin yöntemi kullanılarak yapılmamış olan deneylerin sonuçlarının tahmini yapılmıştır. Çizelge 5.17.'de ara değer tahmin sonuçları verilmiştir. Bu çizelgede yeşil ile boyalı satırlar deneysel çalışmadan elde edilen verileri göstermektedir.

Çizelge 5.17. GGG50 KGDD için ara değer tahmin sonuçları

Deney no	V _c (m/dk)	f _n (mm/dev)	Y _a (°)	Delme moment (Ncm)	İtme kuvveti (N)	Çaptan sapma (mm)	Ortalama yüzey pürüzlülük (µm)
L1	100	0,3	10	283,28	931,24	0,014	1,787
L2	100	0,3	0	285,39	788,78	0,014	1,589
L3	100	0,3	-10	298,02	1186,28	0,017	1,524
L4	100	0,4	10	361,95	1162,83	0,023	1,878
L5	100	0,4	0	360,68	956,07	0,024	1,755
L6	100	0,4	-10	370,26	1362,25	0,024	1,749
L7	100	0,5	10	446,85	1577,95	0,030	1,978
L8	100	0,5	0	442,52	1379,87	0,029	1,914
L9	100	0,5	-10	458,53	1841,63	0,031	1,774
L10	120	0,3	10	286,15	1018,14	0,025	1,620
L11	120	0,3	0	285,21	884,36	0,023	1,480
L12	120	0,3	-10	294,45	1217,57	0,027	1,491
L13	120	0,4	10	358,38	1194,11	0,033	1,844
L14	120	0,4	0	354,06	996,04	0,032	1,780
L15	120	0,4	-10	360,26	1337,91	0,033	1,848
L16	120	0,5	10	446,34	1600,55	0,044	1,887
L17	120	0,5	0	438,95	1411,15	0,039	1,881
L18	120	0,5	-10	451,59	1808,66	0,043	1,816
L19	140	0,3	10	282,26	663,96	0,027	1,552
L20	140	0,3	0	277,94	828,00	0,026	1,487
L21	140	0,3	-10	293,62	1052,78	0,033	1,364
L22	140	0,4	10	357,88	1102,30	0,034	1,701
L23	140	0,4	0	350,17	839,92	0,034	1,712
L24	140	0,4	-10	362,80	1237,42	0,037	1,647
L25	140	0,5	10	439,39	1453,12	0,043	1,877
L26	140	0,5	0	428,64	1199,42	0,040	1,946
L27	140	0,5	-10	447,69	1652,55	0,045	1,748

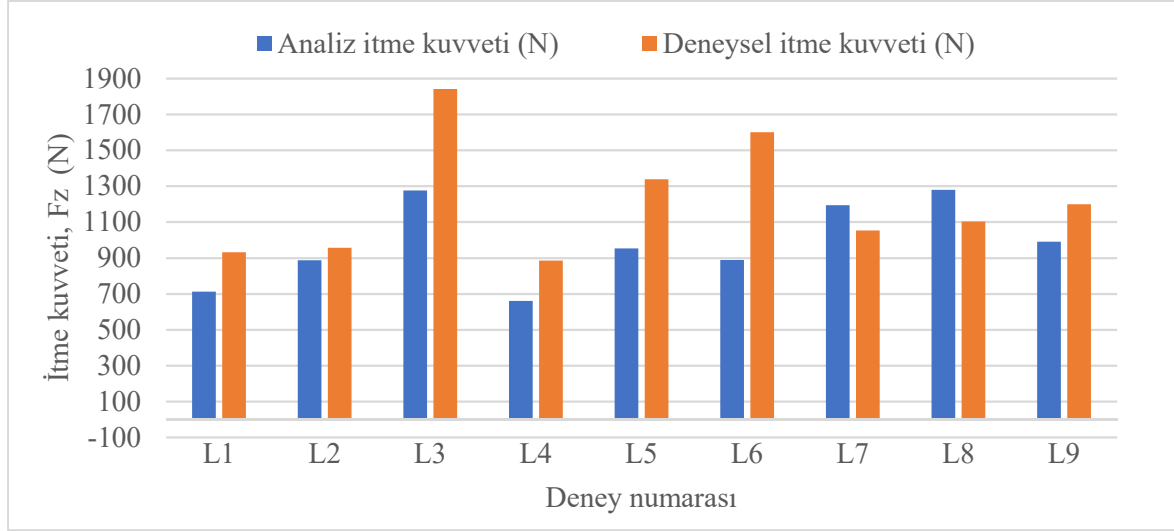
5.3.1. İtme kuvveti

GGG50 KGDD için deneysel çalışma sırasında ölçülen itme kuvveti değerleri ve SEA destekli TKA'dan ölçülen itme kuvveti değerleri Çizelge 5.18'de verilmiştir. Deneysel çalışmadan ölçülen itme kuvveti değerinin analizden ölçülen itme kuvvetine oranı % yaklaşım oranı olarak verilmiştir. Analizlerde deneysel çalışmaya en yakın sonucu %92,79 yaklaşımla L2 numaralı deneyden elde edilmiştir. En uzak sonucu ise %55,53 ile L6 numaralı deney vermiştir.

Çizelge 5.18. GGG50 KGDD deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvveti sonuçları

Deney no	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Yarık talaş açısı (°)	Analiz Fz itme kuvveti (N)	Deneysel Fz itme kuvveti (N)	Yaklaşım oranı (%)
L1	100	0,3	10	712,12	931,24	76,47
L2	100	0,4	0	887,16	956,07	92,79
L3	100	0,5	-10	1275,90	1841,63	69,28
L4	120	0,3	0	660,58	884,36	74,70
L5	120	0,4	-10	952,63	1337,91	71,20
L6	120	0,5	10	888,84	1600,55	55,53
L7	140	0,3	-10	1193,90	1052,78	113,40
L8	140	0,4	10	1269,57	1102,30	116,08
L9	140	0,5	0	990,68	1199,42	82,60

Şekil 5.15'teki deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvveti sonuçlarının kıyaslanması grafiği incelendiğinde en yüksek delme momenti sonucunun -10° YTA, 0,5mm/dev ilerleme miktarı ve 100 m/dk kesme hızı ile yapılan L3 numaralı deneyden elde edilmiştir. Deneysel çalışmadan alınan itme kuvveti sonuçları incelendiğinde 3 kesme hızı değerinde de farklı YTA'ya sahip matkaplar kullanılsa da ilerleme miktarının artmasıyla itme kuvvetinin arttığı görülmektedir [103]. Hem deneysel çalışmadan hem de analizden en düşük itme kuvveti sonuçları 0° YTA, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ve 120 m/dk kesme hızı kullanılarak yapılan L3 numaralı deneyden elde edilmiştir.



Şekil 5.15. GGG50 KGDD için deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvvetleri kıyaslaması

GGG50 KGDD için elde edilen itme kuvvetleri ANOVA ile 0,05 anlamlılık değeri baz alınarak değerlendirilmiş olup sonuçlar Çizelge 5.19.'da verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre her üç faktörün P değerleri 0,05 anlamlılık değerinden küçük olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak ilerleme miktarı, kesme hızı ve YTA'nın GGG50 KGDD'in delinmesinde anlamlı bir etkisinin olduğu görülmektedir. Yapılan analizde hatanın etki oranı (%3,2) faktörlerin etki oranlarından daha düşük olduğu için modelin güvenilirliği yüksektir. Etki oranları incelendiğinde en anlamlı faktör %66 ile ilerleme miktarı iken %25,7 ile YTA takip etmektedir. Kesme hızının etki oranı ise %5,1 ile en düşük etkiye sahiptir.

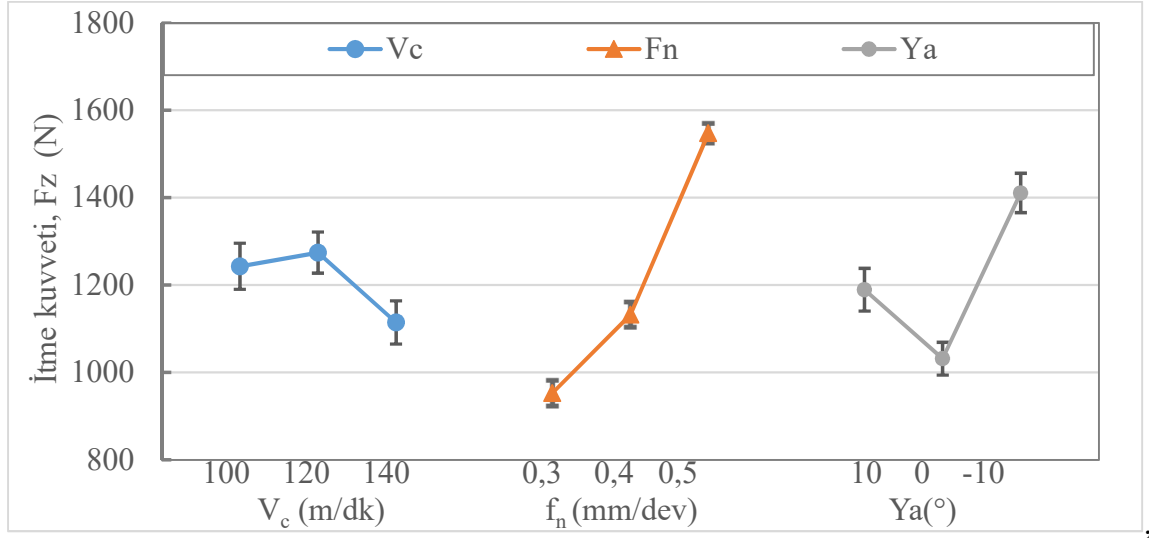
Çizelge 5.19. GGG50 KGDD deneysel itme kuvveti değerleri için ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
V _c	2	129250	64625	16,05	0,000	5,1
f _n	2	1675500	837750	208,06	0,000	66,0
Y _a	2	653373	326686	81,13	0,000	25,7
Hata	20	80530	4026			3,2
Toplam	26	2538653				100,0

($\alpha = 0,05$; $F_{\text{kritik}} = 3,369$)

İtme kuvveti tahmin değerleri ile yapılan ANOVA sonuçlarına göre alına etki grafiği (Şekil 5.16) incelendiğinde ilerleme miktarı ve YTA faktörlerinin seviyeleri arasında anlamlı farkların olduğu görülmektedir. Kesme hızı seviyelerinden 140 m/dk kesme hızının diğer iki seviyeden anlamlı bir farkı varken 100 m/dk ve 120 m/dk kesme hızları arasında anlamlı

fark görülmemektedir. “en küçük en iyi” yaklaşımıyla en uygun itme kuvveti için 140 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ve 0° YTA’nın kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 5.16. GGG50 KGDD için itme kuvveti ANOVA sonuçlarının etki grafiği

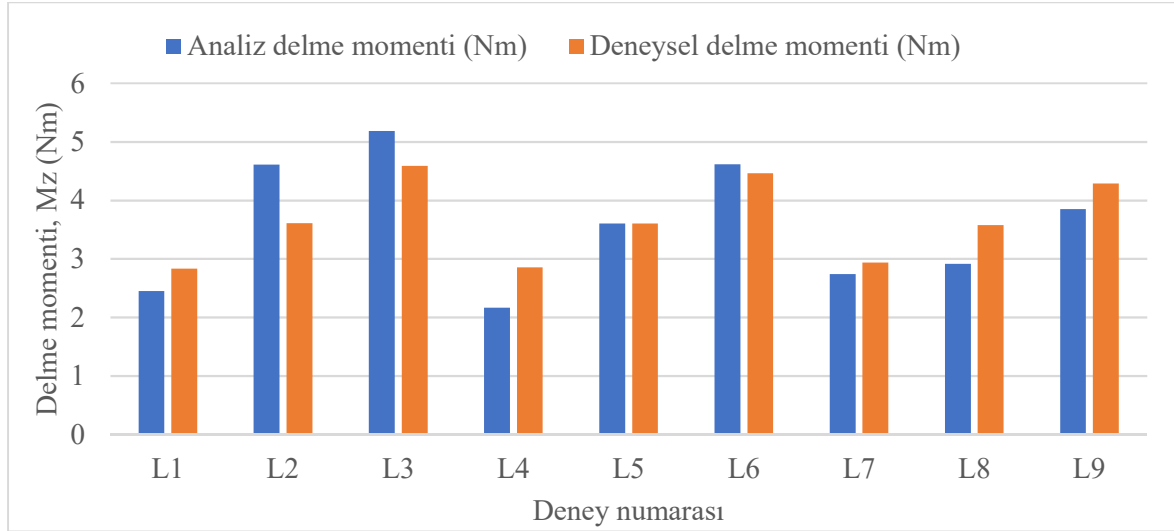
5.3.2. Delme momenti

GGG50 KGDD’in deneysel çalışma sırasında ölçülen delme momenti ve SEA destekli TKA’lardan ölçülen delme momenti sonuçları Çizelge 5.20’de verilmiştir. Analizden alınan delme momenti sonuçlarının deneysel çalışmaya oranı % yaklaşım oranı olarak verilmiştir. Analizlerde delme momenti açısından en yakın sonucu %93,29 ile L7 numaralı deney verirken %127,86 ile en uzak sonuç L2 numaralı deneyden ölçülmüştür.

Çizelge 5.20. GGG50 KGDD için deneysel ve SEA destekli TKA delme momenti sonuçları

Deney no	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Yarık talaş açısı (°)	Analiz delme momenti, Mz (Nm)	Deneysel delme momenti, Mz (Nm)	Yaklaşım oranı (%)
L1	100	0,3	10	2,45	2,83	86,56
L2	100	0,4	0	4,61	3,61	127,86
L3	100	0,5	-10	5,18	4,59	113,04
L4	120	0,3	0	2,17	2,85	76,02
L5	120	0,4	-10	3,60	3,60	89,10
L6	120	0,5	10	4,62	4,46	103,46
L7	140	0,3	-10	2,74	2,94	93,29
L8	140	0,4	10	2,92	3,58	81,51
L9	140	0,5	0	3,85	4,29	89,80

Deneysel çalışmadan alınan sonuçlar ile SEA destekli TKA'dan alınan delme momenti sonuçları kıyaslandığında sonuçların benzer bir eğilim gösterdiği görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla delme momenti artmaktadır. Yarık talaş açısı için bakıldığında elde edilen sonuçlar açısından önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Fakat kesme hızının artmasıyla beraber delme momentinde azalmalar meydana gelmektedir [103].



Şekil 5.17. GGG50 KGDD için deneysel ve SEA destekli TKA delme moment sonuçlarının kıyaslanması

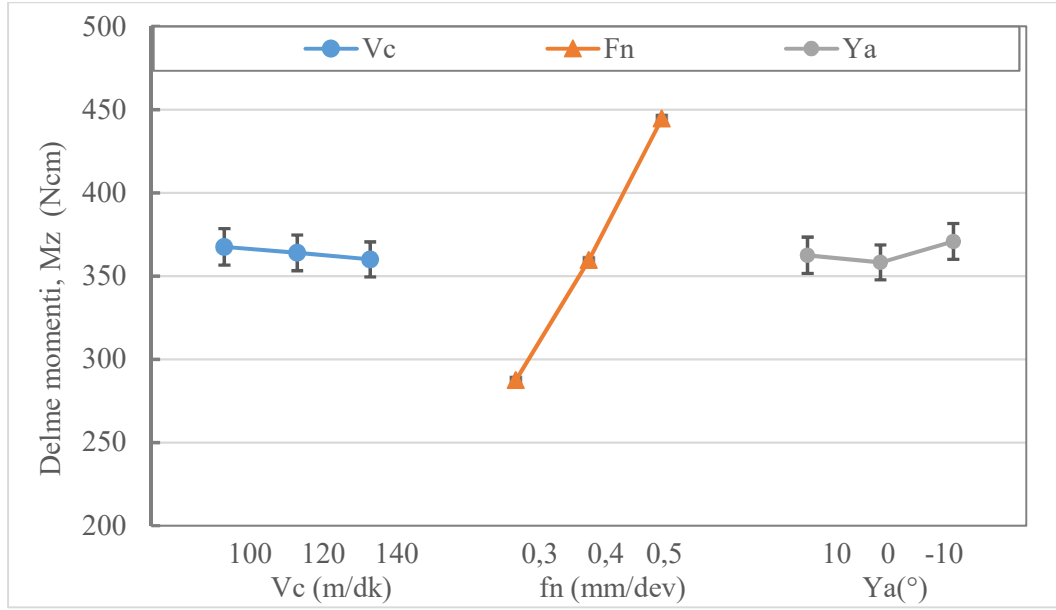
GGG50 KGDD'in delme moment sonuçları için yapılan ANOVA sonuçları Çizelge 5.21'de verilmiştir. Faktörlerin P değerleri 0,05 anlamlılık değerine göre incelendiğinde ilerleme miktarı, kesme hızı ve YTA'nın delme momenti üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu görülmektedir. Etki oranlarına bakıldığında delme momenti açısından %98,9 ile ilerleme miktarı en anlamlı parametre iken sırasıyla 0,7 ile YTA %0,2 kesme hızı takip etmektedir. Hata etki oranının diğer faktörlerin etkisinden düşük olması modelin güvenilirliğinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.21. GGG50 KGDD deneysel delme momenti değerleri ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
V_c	2	250	125,1	13,43	0,000	0,2
f_n	2	111344	55672	5974,58	0,000	98,9
Ya	2	741	370,6	39,77	0,000	0,7
Hata	20	186	9,3			0,2
Toplam	26	112522				100,0

($\alpha = 0,05$; Fkritik = 3,369)

Şekil 5.18.'de GGG50 KGDD'in delme moment sonuçları için yapılan ANOVA'dan alınan etki grafiği verilmiştir. Grafik “en küçük en iyi” yaklaşımıyla incelendiğinde kesme hızı ve YTA açısı değerlerinin etkilerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Fakat ilerleme miktarı değerlerinin etkileri birbirinden farklıdır ve anlamlıdır. Burada en etkili ilerleme miktarı 0,3 mm/dev'dir.



Şekil 5.18. GGG50 KGDD için delme momenti ANOVA sonuçlarının etki grafiği

5.3.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğü

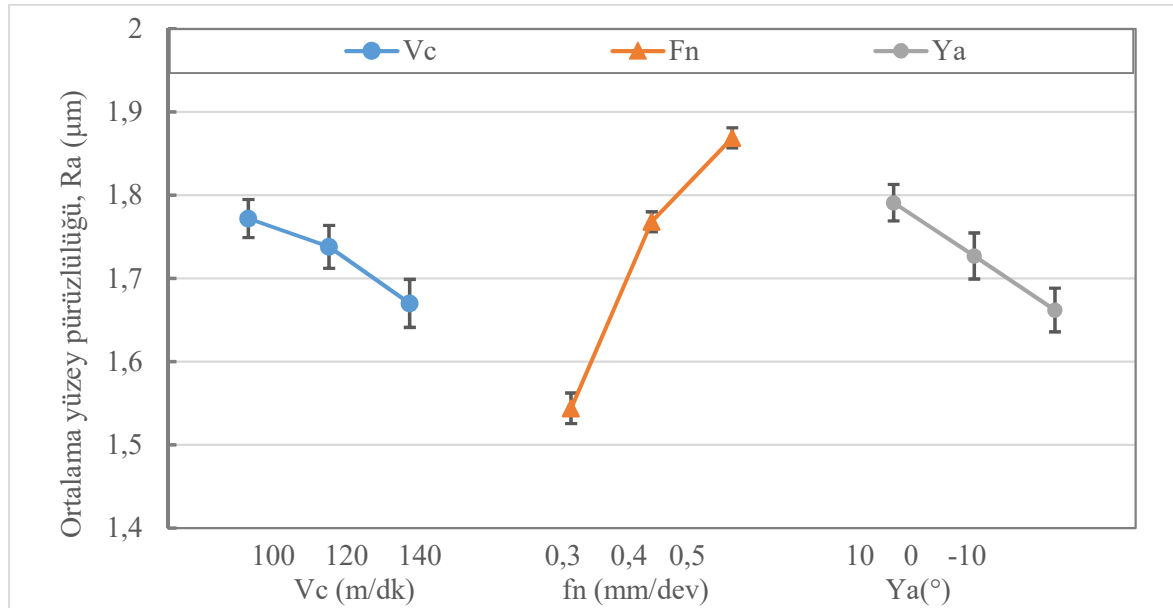
Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri için yapılan ANOVA sonuçları (Çizelge 5.22) 0,05 güven aralığında incelendiğinde kesme hızı, ilerleme miktarı ve YTA P değerlerinin güven aralığından küçük olduğu görülmekte olup bu faktörlerin GGG50 KGDD'in delinmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değeri üzerinde anlamlı etkilerinin olduğu söylenebilir. Etki oranları hesaplandığında ilerleme miktarı %71,0 ile en anlamlı etkiye sahipken onu sırasıyla %10,7 ile YTA ve %6,9 ile kesme hızı takip etmektedir.

Çizelge 5.22. GGG50 KGDD Ra değerleri ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
V _c	2	0,04841	0,02421	6,02	0,009	6,9
f _n	2	0,49879	0,2494	62	0,000	71,0
Y _a	2	0,07506	0,03753	9,33	0,001	10,7
Hata	20	0,08045	0,00402			11,4
Toplam	26	0,70272				100,0

($\alpha = 0,05$; F_{kritik} = 3,369)

Ortalama yüzey pürüzlülüğü tahmin değerleri ANOVA sonuçlarından alınan etki grafiği (Şekil 5.19.) incelendiğinde ilerleme miktarı seviyeleri arasında anlamlı farklar görülmekte olup kesme hızı ve YTA seviyeleri arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Grafik “en küçük en iyi” yaklaşımı ile incelendiğinde giriş bölgesi için en etkili kesme parametrelerinin 140m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ve -10° YTA olduğu görülmektedir.



Şekil 5.19. GGG50 KGDD için Ra ANOVA sonuçlarının etki grafiği

5.3.4. Çaptan sapma

GGG50 KGDD çaptan sapma için deneysel çalışma değerleri ve ara değer tahmin değerleri ile yapılan ANOVA sonuçları Çizelge 5.23.’te verilmiştir. Burada faktörlerin P değerleri incelendiğinde anlamlılık değerinden küçük çıktıkları görülmektedir. GGG50 KGDD’in

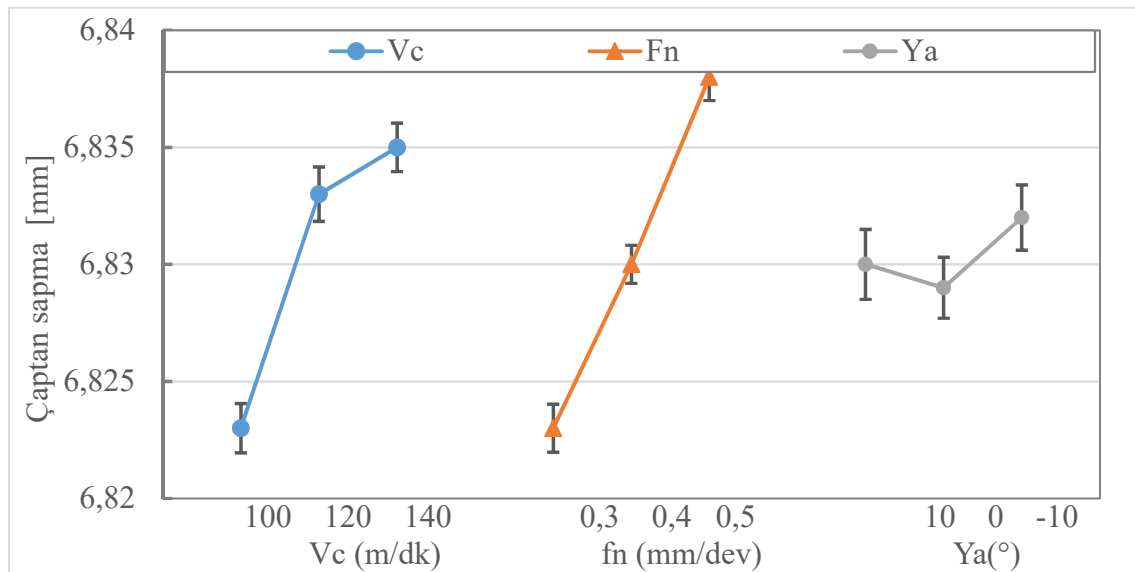
delinmesinden kesme hızı, ilerleme miktarı ve YTA'nın çaptan sapma miktarı üzerinde anlamlı bir etkisi vardır. Faktörlerin etki oranları incelendiğinde %54,9 ile ilerleme miktarının en etkili parametre olmuştur. Diğer parametrelerin etkisi sırasıyla %40,9 ile kesme hızı ve %2,8 ile YTA ve %1,4 ile hata takip etmektedir. Hatanın etki oranının diğer parametrelerden düşük çıkması oluşturulan modelin güvenilirliğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.23. GGG50 KGDD çaptan sapma değerleri ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
V_c	2	0,000029	0,000015	203,24	0,000	40,9
f_n	2	0,000039	0,000019	270,59	0,000	54,9
Y_a	2	0,000002	0,000001	10,94	0,001	2,8
Hata	20	0,000001	0			1,4
Toplam	26	0,000071				100,0

($\alpha = 0,05$; $F_{kritik} = 3,369$)

Şekil 5.20.'de çaptan sapma ANOVA sonuçlarına göre verilen etki grafiği incelendiğinde kesme hızı ve ilerleme miktarı seviyeleri arasında anlamlı farklar görülürken YTA seviyeleri arasında anlamlı bir fark görülmemektedir. Burada çaptan sapma miktarı için optimum kesme parametrelerinin 100 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ve 0° YTA olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.20. GGG50 KGDD için çaptan sapma ANOVA sonuçlarının etki grafiği

5.3.5. Takım aşınması

GGG50 KGDD'in delinmesinde matkaplarda meydana gelen aşınma ölçüm sonuçları Çizelge 5.24'te verilmiştir. AISI 4140 ıslah çeliği ve Ck45 imalat çeliği ile kıyaslandığında GGG50 KGDD'in delinmesinde radyal ağız aşınması ve krater aşınması daha belirgin görülmektedir. Matkaplarda meydana gelen aşınma türleri Resim 5.7'de gösterilmiştir.

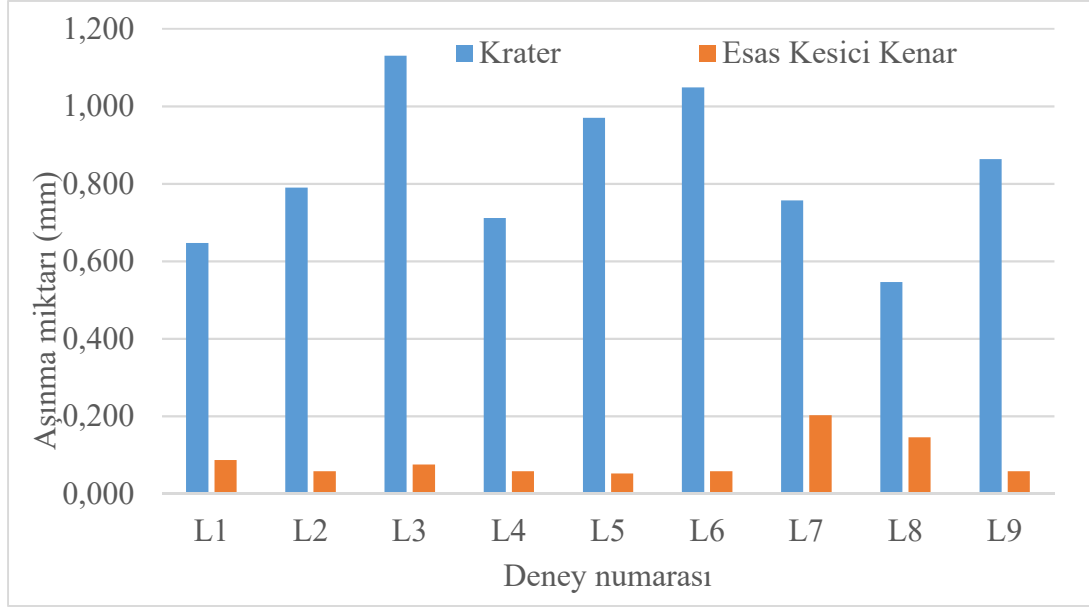


Resim 5.7. Aşınma türleri (GGG50)

Çizelge 5.24. GGG50 KGDD'in delinmesinde takım aşınma sonuçları

Deney no	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Yarık talaş açısı (°)	Krater aşınması (mm)	Esas kesici kenar aşınması (mm)
L1	100	0,3	+10	0,66	0,087
L2	100	0,4	0	0,79	0,058
L3	100	0,5	-10	1,13	0,075
L4	120	0,3	0	0,71	0,058
L5	120	0,4	-10	0,97	0,052
L6	120	0,5	+10	1,05	0,058
L7	140	0,3	-10	0,76	0,202
L8	140	0,4	+10	0,55	0,145
L9	140	0,5	0	0,86	0,058

Şekil 5.21.'daki esas kesici kenar ve krater aşınma miktarları kıyaslama grafiği incelendiğinde ilerleme miktarının artmasıyla matkapta meydana gelen aşınma miktarının arttığı görülmektedir. 100m/dk kesme hızı, 0,5 mm/dev ilerleme miktarı ve -10° YTA ile yapılan L3 numaralı deneyde 1,13 mm ile en yüksek krater aşınması ölçülmüştür. 0,5 mm/dev ilerleme ile yapılan deneylerde kesme hızının artmasıyla beraber krater aşınmasında azalma meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 5.21. Ck45 için takım aşınma miktarı kıyaslaması

5.4. Aa 7075 T6 Alaşımı İçin Bulgular ve Değerlendirme

Aa 7075 T6 alaşımı için belirlenen parametreler ile yapılan pilot çalışmalarda çıkan talaşın helis kanallarına yapışması nedeniyle daha ikinci delikte itme kuvveti ve delme momentinde düzensiz artışlar, yapışan bu talaşın kopmasına bağlı olarak ise azalmalar oluşmuştur. 400 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme ve 0° YTA ile 500 m/dk kesme hızı, 0,5 mm/dev ilerleme ve -10° YTA ile yapılan deneylerde matkaplar sırasıyla 6. ve 9. Deliklerde kırılmıştır. Buna bağlı olarak kesme hızı değerinin sabit 200 m/dk olarak kalmasına ilerleme miktarının ise 0,15; 0,20; 0,25 mm/dev olarak seçilmesine karar verilmiştir.

5.4.1. İtme kuvveti

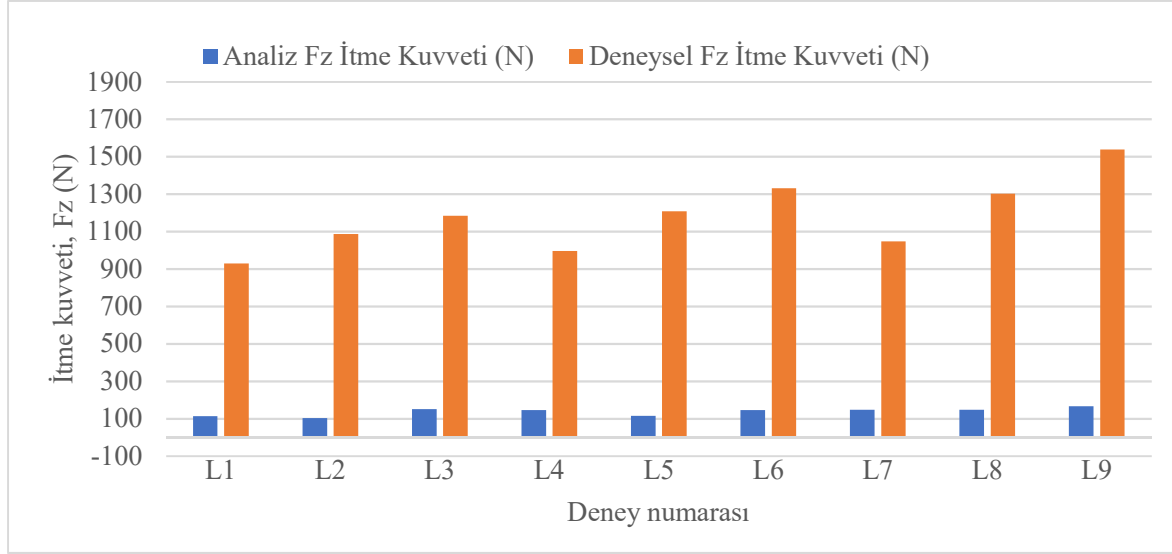
Aa 7075 T6 alaşımının deneysel olarak delinmesi sırasında ölçülen itme kuvvetlerine ait veriler Çizelge 5.25'te verilmiştir. Yapılan çalışmada her bir kesme parametresi kombinasyonu ile 10'ar adet delik delinmiştir. Sabit kesme hızı şartları altında yapılan çalışmada ilerleme miktarının artmasıyla itme kuvvetinin arttığı görülmektedir [24, 27, 29, 32]. Ayrıca negatif YTA ile yapılan deneylerde itme kuvvetinin diğer YTA'lara göre yüksek çıktığı görülmektedir. Bu durum çalışmanın öngörüsünde belirtildiği gibi "sünek malzemelerin delinmesinde negatif YTA batmayı zorlaştıracığından itme kuvvetlerinde artış meydana gelecektir" ifadesini desteklemektedir.

Çizelge 5.25. Aa 7075 T6 alaşımı deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvveti sonuçları

Deney no	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Yarık talaş açısı (°)	Analiz itme kuvveti, Fz (N)	Deneysel itme kuvveti, Fz (N)	Yaklaşım oranı (%)
L1	200	0,15	+10	112,72	929,393	12,13
L2	200	0,20	+10	101,97	1085,957	9,39
L3	200	0,25	+10	149,82	1184,661	12,65
L4	200	0,15	0	146,09	996,528	14,66
L5	200	0,20	0	114,15	1207,643	9,45
L6	200	0,25	0	145,45	1331,557	10,92
L7	200	0,15	-10	147,11	1047,128	14,05
L8	200	0,20	-10	147,18	1301,964	11,30
L9	200	0,25	-10	165,21	1538,768	10,74

Deneysel çalışma ve SEA destekli TKA sonuçları karşılaştırıldığında SEA destekli TKA'lerinden elde edilen sonuçların deneysel çalışmaya %9,39-14,66 oranında yaklaştığı görülmektedir. Bu yapılan TKA'ların güvenilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir. Deneysel çalışma sırasında daha il delikten itibaren helis kanallarında yığıntı talaş oluşmaya başladığı görülmüştür. Delik delmeye devam ettikçe yapışma artmış ve belli bir süre sonra kendiliğinden koparak helis kanalından çıkmıştır. Bu durum Aa 7075 T6 alaşımı ile yapılan bütün deneysel çalışmada görülmüştür. SEA destekli TKA'larda itme kuvvetinin düşük çıkmasının sebebi takımın 230° dönüşü sırasında oluşan itme kuvveti değerlerinin ölçülmüş olmasıdır. Bu durumda matkap helis kanalında meydana gelen yapışmalar oluşmadığından itme kuvvetleri deneysel çalışmaya göre yaklaşık olarak %90 oranında düşük çıkmaktadır.

Şekil 5.22 incelendiğinde itme kuvveti sonuçlarının ilerleme miktarının artmasına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Bunun sebebi yapılan deneylerin kuru kesme şartlarında yapılması ve ilerleme miktarının artmasıyla sürtünmenin de arttığı düşünüldüğünde meydana gelen ısıya bağlı çıkan talaşın helis kanallarından atılamayarak yapışmasıdır. Ayrıca YTA için bakıldığında itme kuvveti ve delme momenti açısından en düşük sonuçların L1 numaralı deneyden elde edildiği görülmektedir.



Şekil 5.22. Aa 7075 T6 için deneysel ve SEA destekli TKA itme kuvvetleri kıyaslaması

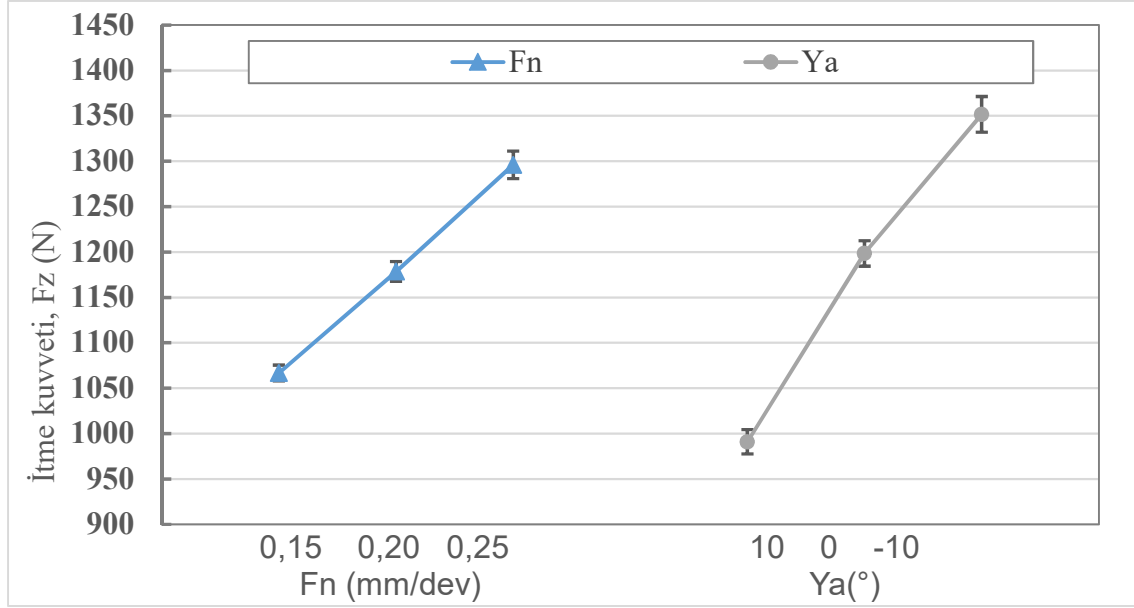
Aa 7075 T6 alaşımının delinmesi sırasında alınan itme kuvveti değerleri doğrultusunda yapılan ANOVA sonuçları Çizelge 5.26’da verilmiştir. Elde edilen P değerleri 0,05 anlamlılık değeri ile kıyaslandığında ilerleme miktarı ve YTA’nın Aa 7075 T6 alaşımının delinmesinde anlamlı sonuçlar verdiği görülmektedir. Etki oranları hesaplandığında YTA’nın etkisi %69,47’dir. İlerleme miktarının etkisi ise %26,71 olarak hesaplanmıştır. Hata oranının etkisi %3,82 ile faktörlerin etkisinden düşük olması yapılan analizin güvenilirliğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.26. Aa 7075 T6 alaşımı deneysel itme kuvveti değerleri için ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
f_n	2	16,041	8,0207	14	0,016	26,71
Ya	2	41,714	20,8568	36,4	0,003	69,47
Hata	4	2,292	0,5729			3,82
Total	8	60,047				100,00

($\alpha = 0,05$; Fkritik= 4,459)

Şekil 5.23’te Aa 7075 T6 alaşımı için yapılan ANOVA için etki grafiği verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde itme kuvveti açısından 0,15 mm/den ilerleme miktarının ve +10° YTA’nın en etkili parametreler olduğu tespit edilmiştir. İlerleme miktarı ve YTA seviyeleri arasındaki etkiye bakıldığında seviyeler arasında anlamlı bir etki olduğu görülmektedir.



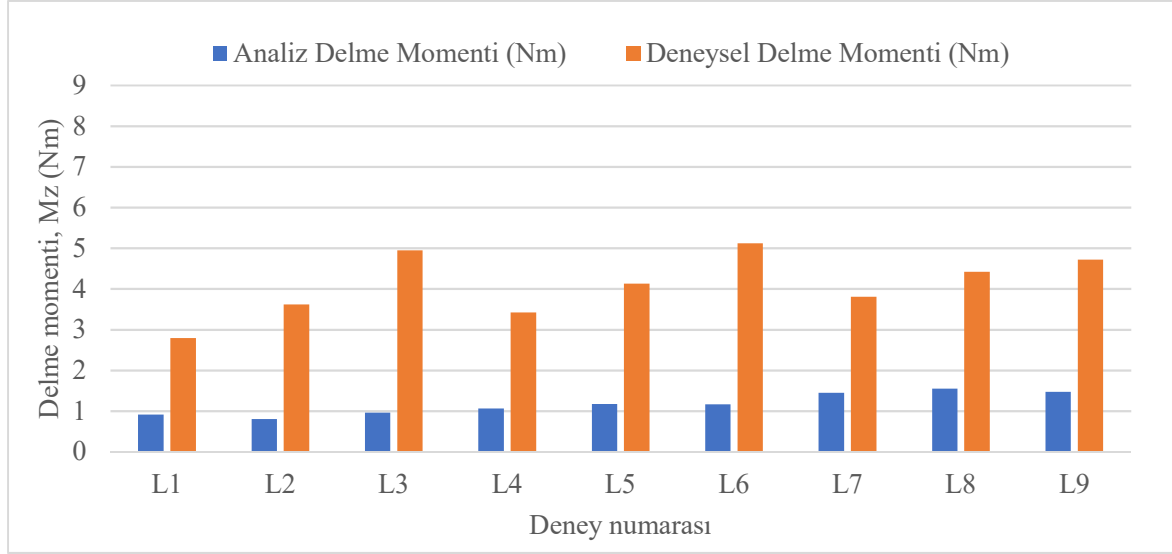
Şekil 5.23. Deneysel çalışma için itme kuvveti etki grafiği

5.4.2. Delme momenti

Aa 7075 T6 alaşımının deneysel olarak delinmesi ve SEA destekli TKA'lardan ölçülen delme momenti sonuçları Çizelge 5.27'de verilmiştir. Deneysel olarak ölçülen delme momenti değerleri incelendiğinde ilerleme miktarının artmasıyla beraber delme momentinin de arttığı görülmektedir [24, 32]. Delme momenti sonuçları ile itme kuvveti sonuçlarının benzer bir eğilim gösterdiği söylenebilir. SEA destekli TKA'lardan ölçülen delme momenti sonuçlarının itme kuvvetinde olduğu çok düşük çıktığı görülmektedir. Deneysel çalışmaya %19,29-37,96 değerleri arasında bir yaklaşım söz konusudur.

Çizelge 5.27. Aa 7075 T6 alaşımı için deneysel ve SEA destekli TKA delme momenti sonuçları

Deney no	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Yarık talaş açısı (°)	Analiz delme momenti, Mz (Nm)	Deneysel delme momenti, Mz (Nm)	Yaklaşım oranı (%)
L1	200	0,15	10	0,91	2,79	32,43
L2	200	0,20	10	0,80	3,62	22,00
L3	200	0,25	10	0,96	4,95	19,29
L4	200	0,15	0	1,06	3,42	31,06
L5	200	0,20	0	1,17	4,13	28,27
L6	200	0,25	0	1,16	5,12	22,60
L7	200	0,15	-10	1,45	3,81	37,96
L8	200	0,20	-10	1,55	4,42	35,10
L9	200	0,25	-10	1,47	4,72	31,16



Şekil 5.24. Aa 7075 T6 için sanal simülasyon ve deneysel çalışmadan elde edilen delme momenti sonuçlarının kıyaslanması

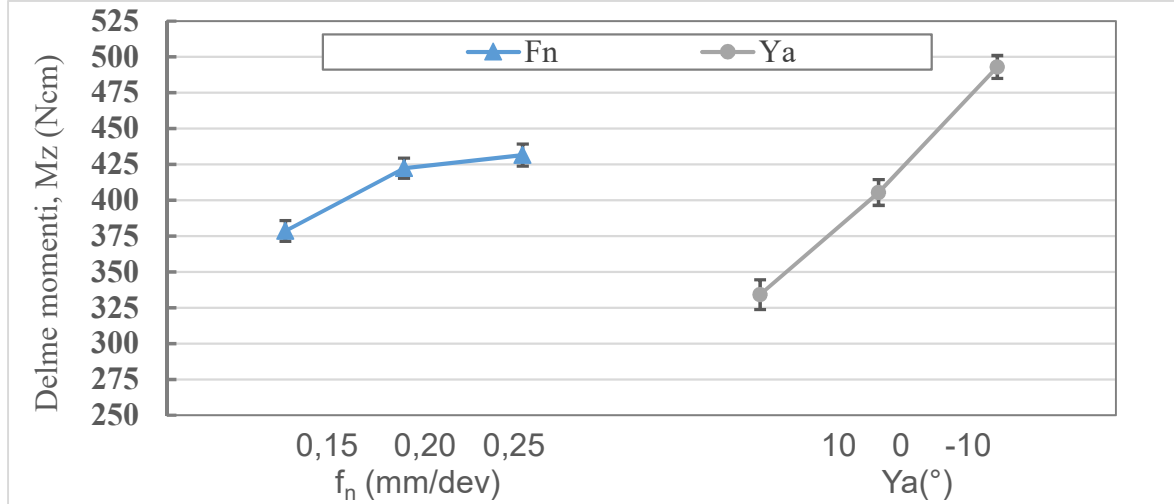
Deneysel çalışmadan elde edilen delme momenti sonuçları ANOVA ile incelendiğinde Çizelge 5.28’deki YTA açısının P değeri 0,05 anlamlılık değerinden küçük olduğu için delme momenti açısından anlamlı bir etkisinin olduğu söylenirken, ilerleme miktarının P değerinin 0,05’ten büyük olması sebebiyle anlamlı bir etkisinin olduğu söylenemez. Hesaplanan etki oranlarına bakıldığında YTA’nın etkisinin %78,2 olduğu, ilerleme miktarının etkisinin %11,5 ve hatanın etkisinin ise %10,3 olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.28. Aa 7075 T6 alaşımı deneysel delme momenti değerleri ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
f_n	2	3,45	1,725	2,24	0,223	11,5
Ya	2	23,552	11,7758	15,26	0,013	78,2
Hata	4	3,086	0,7715			10,3
Total	8	30,087				100,00

($\alpha = 0,05$; $F_{kritik} = 4,459$)

Şekil 5.25’deki etki grafiği incelendiğinde delme momenti açısından en etkili parametrelerin 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve $+10^\circ$ YTA olduğu tespit edilmiştir. Seviyeler arasındaki farklara bakıldığında YTA’nın seviyeleri arasında da anlamlı bir etki görülmektedir. 0,15 mm/dev ilerleme miktarının diğer iki seviyeden anlamlı bir farkı varken bu iki parametrenin hata çubuklarının örtüşmesi sebebiyle aralarında anlamlı bir fark yoktur.



Şekil 5.25. Deneysel çalışma için delme momenti etki grafiği

5.4.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğü

Aa 7075 T6 alaşımının delinmesinden elde edilen deliklere ait ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ölçüm sonuçları Çizelge 5.29'da verilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 200 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve +10° YTA ile yapılan L1 numaralı deneyden elde edilmiştir. En yüksek Ra ise 0,25 mm/dev ilerleme miktarı ve -10° YTA ile yapılan L9 numaralı deneyden ölçülmüştür.

Çizelge 5.29. Aa 7075 T6 alaşımı için ortalama yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları

No	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Yarık talaş açısı (°)	Ortalama yüzey pürüzlülük (μ m)
L1	200	10	0,15	0,833
L2	200	10	0,20	1,297
L3	200	10	0,25	1,125
L4	200	0	0,15	1,383
L5	200	0	0,20	1,515
L6	200	0	0,25	1,479
L7	200	-10	0,15	1,409
L8	200	-10	0,20	1,281
L9	200	-10	0,25	1,834

Aa 7075 T6 alaşımının delinmesi sonucu elde edilen deliklerden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri için yapılan ANOVA sonucu Çizelge 5.30'da verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada kesme hızı sabit tutulduğundan ilerleme miktarı ve YTA'nın ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde P değerlerinin 0,05'ten büyük çıktığı görülmektedir. P değerlerinin anlamlı sonuç vermediği için F

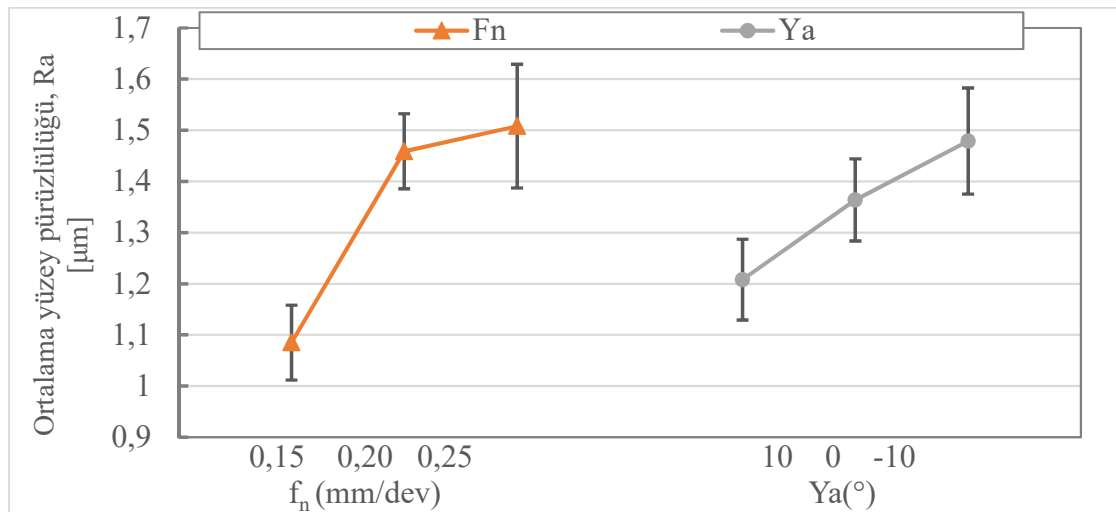
değerleri F_{kritik} değerine göre kıyaslanmalıdır. Bu durumda tablodan 8 ve 2 serbestlik derecesine göre F kritik değeri 4,459 olarak alınmıştır. ANOVA tablosunda faktörlerin F değerleri F_{kritik} değerinden küçük olduğundan faktörlerin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkisi vardır. Etki oranları incelendiğinde %53,9 ile ilerleme miktarı en etkili faktör olurken YTA %18,1'lik bir etkiye sahiptir. Hatanın etkisi ise %28,0 olarak hesaplanmıştır. Hata oranının yüksek olması yapılan analizin güvenilirliğini düşürmektedir. Fakat bu durumun nedeni Aa 7075 T6 alaşımının delinmesinde meydana gelen talaş yapışmalarının neden olduğu düzensizlikler olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.30. Aa 7075 T6 alaşımı Ra değerleri ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
f_n	2	0,06422	0,032111	3,86	0,116	53,9
Ya	2	0,02156	0,01078	1,3	0,368	18,1
Hata	4	0,03327	0,008318			28,0
Toplam	8	0,11905				100,0

($\alpha = 0,05$; $F_{\text{kritik}} = 4,459$)

Şekil 5.23'teki etki grafiği incelendiğinde ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından en etkili ilerleme miktarının 0,15 mm/dev olduğu görülmektedir. YTA açısından +10° en etkili parametre olurken hata çubuklarına bakıldığında 0,20 mm /dev ile 0,25 mm/dev ilerleme miktarı arasında anlamlı bir fark görülmemektedir. YTA açısı açısından +10° ve 0° arasında anlamlı fark yoktur. Fakat +10° ile -10° arasında anlamlı bir fark görülmüştür.



Şekil 5.26. Aa 7075 T6 alaşımı için Ra ANOVA sonuçlarının etki grafiği

5.4.4. Çaptan sapma

Aa 7075 T6 alaşımı için nominal çapa göre ölçülen çaptan sapma değerleri Çizelge 5.31’de verilmiştir. Çaptan sapma değerlerinin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ile benzer bir eğilim gösterdiği görülmektedir. Çaptan sapma için en düşük sonucun (0,027 mm) ile 200 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve +10° YTA ile yapılan L1 numaralı deneyden elde edilmiştir. +10° YTA ve üç farklı ilerleme miktarı ile yapılan deneylerden en düşük çaptan sapma değerleri ölçülmüştür. 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile yapılan deneylerden +10° YTA ile yapılan deneyden 0,027 mm sapma ölçülmüş olup 0° ve -10 YTA ile yapılan deneyde +10° YTA’ya göre sırasıyla %22,85 ve %15,63’lük bir artış olduğu tespit edilmiştir. -10° YTA ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarı ile yapılan L9 numaralı deneyden ise 0,040mm ile en yüksek çaptan sapma değeri ölçülmüştür. Artan ilerleme miktarıyla meydana gelen çaptan sapma da artmaktadır [29].

Çizelge 5.31. Aa 7075 T6 alaşımı çaptan sapma sonuçları

No	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme miktarı (mm/dev)	Yarık talaş açısı (°)	Çaptan sapma (mm)
L1	200	10	0,15	0,027
L2	200	10	0,2	0,031
L3	200	10	0,25	0,028
L4	200	0	0,15	0,035
L5	200	0	0,2	0,038
L6	200	0	0,25	0,036
L7	200	-10	0,15	0,032
L8	200	-10	0,2	0,031
L9	200	-10	0,25	0,040

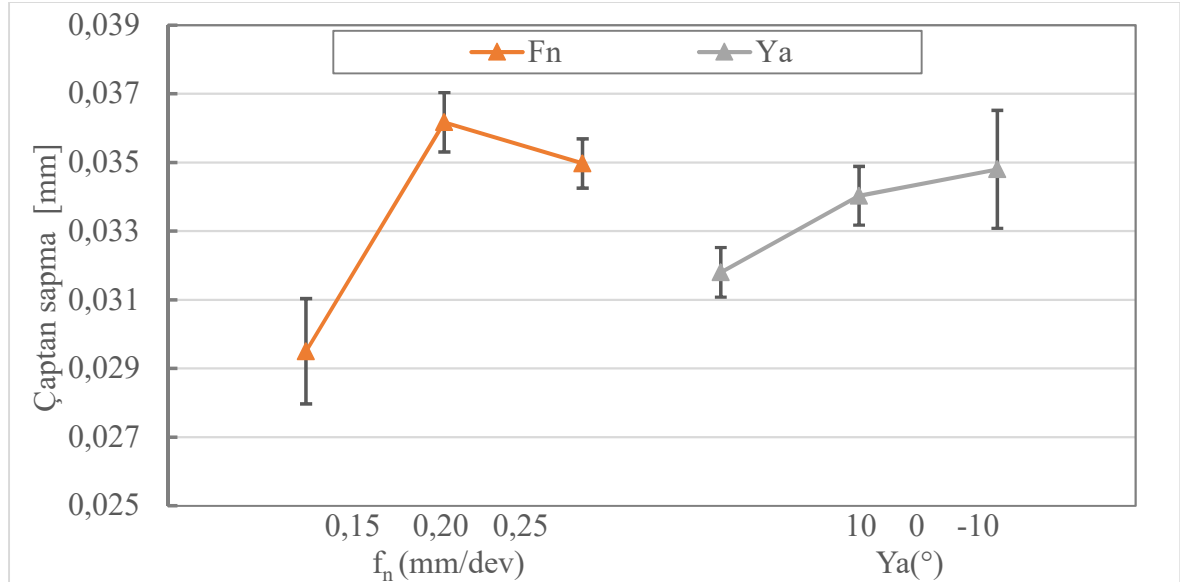
Aa 7075 T6 alaşımının delinmesinden elde edilen deliklerden ölçülen çaptan sapma değerleri doğrultusunda yapılan ANOVA sonuçları Çizelge 5.32’de verilmiştir. P değerleri 0,05 anlamlılık değerine göre değerlendirildiğinde faktörlerin çaptan sapma üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmekle beraber F değerleri F_{kritik} (19,371) değerine göre kıyaslandığında iki faktöründe F değerlerinin bu değerden küçük olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu faktörlerin çaptan sapma üzerinde anlamlı bir etkisi vardır. Etki oranları incelendiğinde ilerleme miktarı %57,2’lık bir etkiye sahipken, YTA ise %10,5 bir etkiye sahiptir. Hata oranının (%32,3) yüksek olması modelin güvenilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.32. Aa 7075 T6 alaşıımı çaptan sapma değerleri ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	Etki
f_n	2	0,000579	0,000289	3,53	0,131	57,2
Ya	2	0,000106	0,000053	0,65	0,571	10,5
Hata	4	0,000328	0,000082			32,3
Toplam	8	0,001013				100,0

($\alpha = 0,05$; F_{kritik} = 4,459)

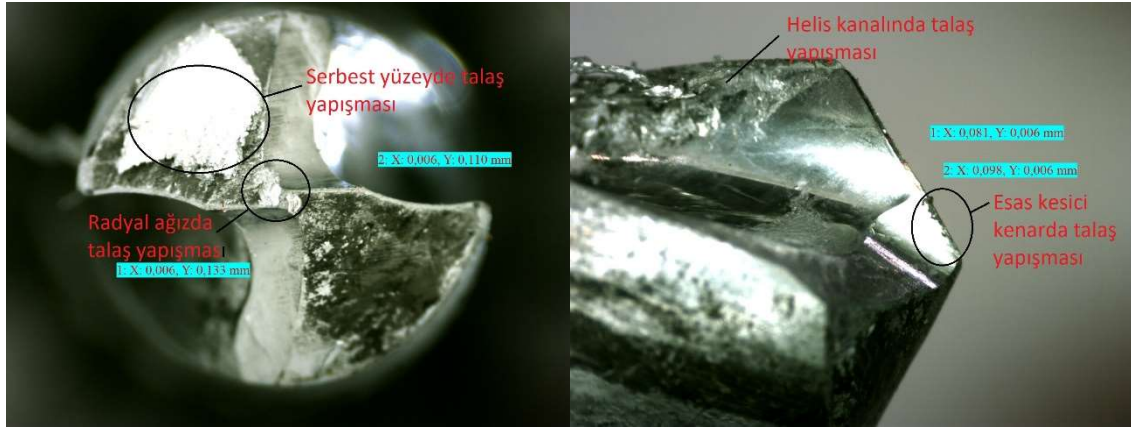
Şekil 5.27’de verilen etki grafiğinde Aa 7075 T6 alaışımının 200 m/dk kesme hızında delinmesinde çaptan sapma için optimum kesme parametreleri 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve +10° YTA’dır. İlerleme miktarı açısından değerlendirildiğinde 0,15 mm/dev ilerleme miktarının 0,20mm/dev ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarından anlamlı bir farkının olduğu görülmektedir. Hata çubuklarının birbiri ile kesişmesi nedeniyle 0,20 mm/dev ve 0,25 mm/dev arasında anlamlı bir fark görülmemektedir. YTA açısından incelendiğinde değerlerin etkisinin birbirine yakın olduğu görülmekte olup +10° YTA’nın hata çubuklarının diğer iki seviye ile çakışmaması nedeniyle anlamlı bir farkının olduğu söylenebilir. Fakat 0° ve -10° YTA’ların hata çubuklarının birbiriyle kesişmesi nedeniyle aralarında anlamlı bir yoktur.



Şekil 5.27. Aa 7075 T6 alaşıımı çaptan sapma için ANOVA sonuçları için etki grafiği

5.4.5. Takım aşınması

Aa 7075 T6 alaşımının 200 m/dk sabit kesme hızı 0,15 mm/dev; 0,20 mm/dev ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarı ile $+10^\circ$; 0° ; -10° YTA değerlerinde delinmesi sırasında matkaplarda daha ilk delikten itibaren talaş yapışmalarının olduğu görülmüştür. Her bir kesme parametresi kombinasyonu ile 10'ar adet delik delinmiştir. Yapışan talaşların delmeye devam ettikçe koparak helis kanalından atıldığı fakat yapışmanın tekrar tekrar meydana geldiği deneysel çalışma sırasında görülmüştür. 10 delik sonrasında matkaplarda meydana gelen aşınmaların ölçülmesi için fotoğraflar çekilmiştir. Bütün matkaplarda esas kesici kenarda, radyal ağızda, serbest yüzeyde ve helis kanallarında talaş yapışmaları görülmüştür. Resim 5.8'de L5 numaralı deneyde kullanılan matkabın uç ve helis kanallarında meydana gelen aşınmalar gösterilmiştir. EK-7 Aa 7075 T6 alaşımının delinmesinde kullanılan matkapların aşınma görüntüleri toplu bir şekilde verilmiştir. Yapılan bu çalışmadan alınan takım aşınması sonuçlarına göre kullanılan geometrideki matkaplar ve kullanılan kesme parametreleri ile kuru kesme şartlarında Aa 7075 T6 alaşımının delinmesinin uygun olmadığı görülmüştür.



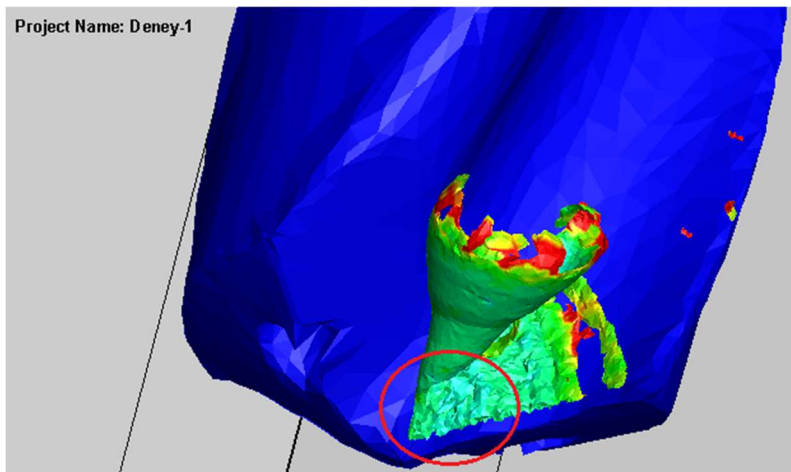
Resim 5.8. Aşınma türleri (Aa 7075)

5.5. Yarık Talaş Açısının Delinebilirliğe Etkilerinin Genel Değerlendirilmesi

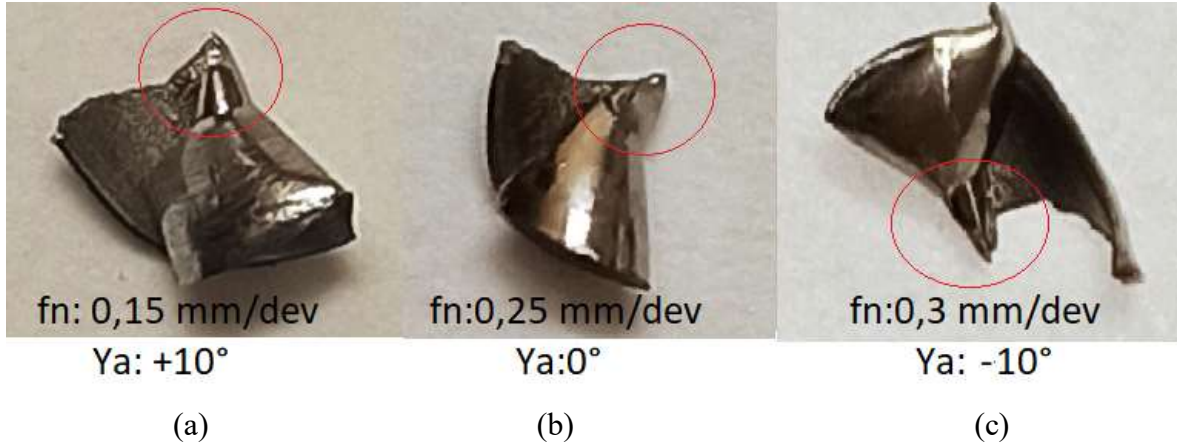
Yapılan deneysel çalışma sonuçlarının ANOVA ile incelenmesinden itme kuvveti, delme momenti, ortalama yüzey pürüzlülüğü, çaptan sapma ve takım aşınmasına etkileri incelendiğinde etkin parametrenin ilerleme miktarı olduğu görülmüştür. Fakat analiz sonuçlarına bakıldığında YTA'nın da önemli bir etkisinin olduğu görülmektedir.

Elde edilen itme kuvveti sonuçlarında AISI 4140 ıslah çeliği, Ck45 imalat çeliği ve GGG50 KGDD için nötr (0°) YTA etkin parametre olarak karşımıza çıkmıştır. Aa 7075 T6 alaşımı için ise $+10^\circ$ YTA etkin parametredir. Üretilen takımların teknik detayları incelendiğinde (Çizelge 4.6) radyal ağız uzunluklarının $+10^\circ$ ve -10° YTA'na sahip matkaplarda 0,264 mm ile eşit olduğu görülürken 0° YTA'na sahip matkapta bu değerin 0,212 mm olduğu görülmektedir. Radyal ağızın görevinin matkabın iş parçasına ilk batmayı sağlaması nedeniyle büyük radyal ağız uzunluğuna sahip matkapların iş parçasına batmasını zorlaştırmaktadır. Bu da oluşan itme kuvvetinin önemli bir bölümünün bu bölgede meydana gelmesine neden olur.

Çalışmada; yarık talaş açısının Resim 5.9'da gösterin bölgede ilk kaldırılan talaşın eğrilik yarıçapını değiştireceği ve buna bağlı olarak oluşan itme kuvvetini ve delme momentini etkileyeceği öngörüsü yer almaktadır. YTA, oluşturmuş olduğu kesici ağızın kama açısını belirleyen bir faktör olduğundan, radyal ağız ile birlikte batmanın kolaylaşmasını ve ilk kesmenin kolaylaştırmasını sağlamaktadır [106]. Resim 5.10'da Ck45 çeliğinin 80 m/dk kesme hızında, farklı ilerleme miktarları kullanılarak ve farklı YTA'na sahip matkaplar ile delinmesi sırasında alınmış talaş fotoğrafları verilmiştir. Resim 5.10'da verilen işaretlenmiş kısımlara bakıldığında çalışmadaki öngörünün doğrulandığı görülmektedir. Burada Resim 5.10.(a)'da verilen talaşın işaretlenmiş kısmının koni açısının diğer iki talaştan daha büyük olduğu görülmektedir. $+10^\circ$ YTA pozitif bir talaş yüzeyi oluşturduğundan çıkan talaşın eğrilik yarıçapı daha büyük çıkmıştır. -10° YTA ise negatif bir talaş yüzeyi oluşturduğundan ve çıkan talaş daha erken deforme edilmeye çalışıldığından daha küçük bir eğrilik yarıçapına sahiptir.

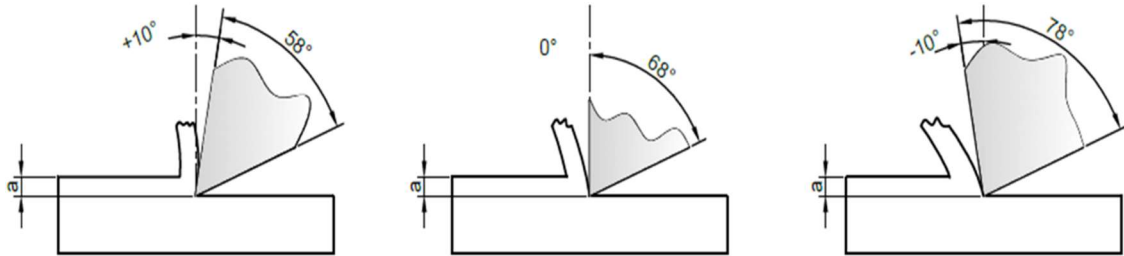


Resim 5.9. Yarık talaş açısına bağlı oluşan talaş deformasyonu



Resim 5.10. Ck 45 çeliğinin delme testlerinden alınan talaşların görüntüsü

Sünek malzemelerin işlenmesinde genellikle batmayı ve kesmeyi kolaylaştırmak için küçük kama açısına sahip takımlar tercih edilmektedir [106]. +10° YTA takıma bu özelliği kazandırmaktadır. Bu yüzden Aa 7075 T6 alaşımının delinmesi sırasında meydana gelen itme kuvveti ve delme momenti diğer iki YTA'ya sahip takımlarda meydana gelen itme kuvvetlerine ve delme momentlerine göre daha düşük çıkmıştır.



Şekil 5.28. Yarık talaş açısının kama açısına etkisi

AISI 4140 ıslah çeliği, Ck45 imalat çeliği ve GGG50 KGDD de ise nötr YTA'nın etkin çıkmasının asıl sebebi radyal ağız uzunluğunun +10° ve -10° YTA'ya sahip matkapların radyal ağız uzunluğundan kısa olmasıdır. -10° YTA'ya sahip matkaplarda oluşan talaşın eğrilik yarıçapı ise +10° YTA'ya sahip matkaptan daha küçük olmasına rağmen bu takım ile yapılan delme işlemlerinde de çıkan talaşın 2. deformasyon bölgesinde şekillendirilmesi sırasında daha büyük kuvvetler oluşmaktadır. Buna bağlı olarak itme kuvveti değerleri de artmaktadır.

Yarık talaş açısının delme momenti üzerindeki etkileri incelendiğinde AISI 4140 ıslah çeliği ve GGG50 KGDD için en etkin YTA nötrdür. Ck45 imalat çeliği ve Aa 7075 T6 alaşımı için ise en etkin YTA $+10^\circ$ dir. Yarık talaş açısının delme momenti açısından farklı işlenebilirlik özelliklerine sahip malzemelerin delinmesinde ilerleme miktarından sonra önemli bir etkisinin olduğu yapılan Varyans analizlerinden görülmektedir. Delme momentinin oluşmasında kesme sırasında matkap uç kısmında meydana gelen kuvvetlerin etkisinin büyük olmasının yanında delik delme işlemlerinde çıkan talaşın helis kanalından rahat bir şekilde atılamaması da talaşın sıkışmasına ve delme momentinin artmasına neden olmaktadır.

AISI 4140 ıslah çeliği ve Ck45 imalat çeliği için yüzey pürüzlülük değerleri Varyans analizleri ile değerlendirildiğinde bu iki malzeme içinde 0° YTA etkin parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. GGG50 KGDD için -10° YTA ve Aa 7075 T6 alaşımı için ise $+10^\circ$ YTA etkin parametrelerdir. Bu durum, yarık talaş açısının farklı işlenebilirlik özelliklerine sahip malzemelerin delinmesinde farklı değerlere sahip olması gerektiğine işaret etmektedir.

Deneyssel çalışmalar sonrası elde edilen deliklerdeki çaptan sapma değerleri incelendiğinde AISI 4140 ıslah çeliği, Ck45 imalat çeliği ve GGG50 KGDD için 0° YTA'nın, Aa 7075 T6 alaşımı için ise $+10^\circ$ YTA etkin parametre olduğu görülmektedir. Ortalama yüzey pürüzlülüğünde belirtildiği gibi, çaptan sapma değerlerinin de kabul edilebilir sınırlar içinde tutulması için, farklı işlenebilirlik özelliğine sahip malzemelerde farklı YTA değerlerinin etkili olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Taguchi L9 ortogonal dizinine göre oluşturulan deney tasarımı doğrultusunda yapılan deneysel çalışmada matkap yarık talaş açısının itme kuvveti, delme momenti, giriş ve çıkış bölgesi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen verilerin Varyans analizi ile değerlendirilmesinde itme kuvveti için en etkili parametrenin yarık talaş açısı, delme momenti, ortalama yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin ilerleme miktarının olduğu görülmektedir. Varyans analizinden elde edilen etki grafikleri “en küçük en iyidir” yaklaşımıyla değerlendirildiğinde, farklı malzemeler için elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

AISI 4140 ıslah çeliği için

ANOVA sonuçları;

- İtme kuvveti açısından en anlamlı parametrenin %65,92 ile YTA,
- Delme momenti açısından en anlamlı parametrenin %62,12 ile ilerleme miktarı,
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından en anlamlı parametrenin %53,45 ile ilerleme miktarı,
- Çaptan sapma açısından en anlamlı parametrenin %66,99 ile kesme hızı olduğunu göstermektedir. En iyi sonuçları veren parametreler;

- İtme kuvveti için 80 m/dk keme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile 0° YTA,
- Delme momenti için 100 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile +10° YTA,
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü için 140 m/dk keme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ile -10° YTA,
- Çaptan sapma için 80 m/dk keme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile 0° YTA’dır.

Bu bulgular ışığında; AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde “80 m/dk keme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 0° YTA” parametrelerinin kullanılması önerilebilir. Ayrıca AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde “takım aşınması” için ilerleme miktarının artmasıyla takım aşınmasının arttığı ve 0° YTA’nın en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Ck45 imalat çeliği için

ANOVA sonuçlarında;

- İtme kuvveti açısından en anlamlı parametrenin %60,56 ile ilerleme miktarı,
- Delme momenti açısından en anlamlı parametrenin %96,33 ile ilerleme miktarıdır.
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından en anlamlı parametrenin %31,92 ile kesme hızı,
- Çaptan sapma açısından en anlamlı parametrenin %66,79 ile kesme hızı,

olduğunu göstermektedir. En iyi sonuçları veren parametreler;

- İtme kuvveti için 80 m/dk keme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile +10° YTA,
- Delme momenti için 120 m/dk kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile +10° YTA,
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü için 80 m/dk keme hızı, 0,30 mm/dev ilerleme miktarı ile 0° YTA,
- Çaptan sapma için 80 m/dk keme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile 0° YTA'dır.

Bu bulgular ışığında; Ck45 imalat çeliğinin delinmesinde “80 m/dk keme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve +10° YTA” parametrelerinin kullanılması önerilebilir. Ayrıca 0° YTA takım aşınması açısından en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

GGG50 küresel grafitli dökme demir için

ANOVA sonuçlarında;

- İtme kuvveti açısından en anlamlı parametre %66 ile ilerleme miktarı olmuştur.
- Delme momenti açısından en anlamlı parametre %98,95 ile ilerleme miktarıdır.
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından en anlamlı parametre %70,98 ile ilerleme miktarı olmuştur.
- Çaptan sapma için %54,93 ile ilerleme miktarıdır.

olduğunu göstermektedir. En iyi sonuçları veren parametreler;

- İtme kuvveti için 140 m/dk keme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ile 0° YTA,
- Delme momenti için 140 m/dk kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ile 0° yarık talaş açısı,

- Ortalama yüzey pürüzlülüğü için 140 m/dk keme hızı, 0,30 mm/dev ilerleme miktarı ile -10° yarık talaş açısı,
- Çaptan sapma için 100 m/dk keme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ile 0° YTA'dır.

Bu bulgular ışığında; GGG5 KGDD delinmesinde “140 m/dk keme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ile 0° YTA” parametrelerinin kullanılması önerilebilir. Ayrıca 0° YTA takım aşınması açısından en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Aa 7075 T6 alaşımı için

ANOVA sonuçları;

- İtme kuvveti açısından en anlamlı parametrenin %69,47 ile YTA,
 - Delme momenti açısından en anlamlı parametrenin %78,28 ile YTA,
 - Ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından en anlamlı parametrenin %53,94 ile ilerleme miktarı,
 - Çaptan sapma açısından en anlamlı parametrenin %57,16 ile ilerleme miktarı,
- olduğunu göstermektedir. 200 m/dk sabit kesme hızı ile yapılan deneysel çalışmalarda en iyi sonuçları veren parametreler;

- İtme kuvveti için 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile $+10^\circ$ YTA,
- Delme momenti için 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile $+10^\circ$ YTA,
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü için 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile $+10^\circ$ YTA,
- Çaptan sapma için 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ile $+10^\circ$ YTA'dır.

Bu bulgular ışığında; AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde “200 m/dk keme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve $+10^\circ$ YTA” parametrelerinin kullanılması önerilebilir.

Farklı yarık talaş açlarına sahip yekpare sementit karbür matkaplar ile yapılan SEA destekli TKA'lardan;

- AISI 4140 ıslah çeliği, Ck45 imalat çeliği ve GGG50 KGDD için SEA destekli TKA ve deneysel çalışmadan elde edilen itme kuvveti ve delme momenti verileri benzer bir

eğilim gösterirken Al7075 T6 alaşımı için SEA destekli TKA analizlerinden alınan verilerin deneysel çalışmadan elde edilen verilerden çok uzak olduğu tespit edilmiştir.

- Aa 7075 alaşımı için yapılan deneysel çalışmada daha ilk delikten itibaren matkap uç bölgesinde ve helis kanallarında talaş yapışması meydana gelmeye başlamıştır. Bu durum nedeniyle itme kuvveti, delme momenti, ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ve çaptan sapma değerlerinde düzensizlikler oluşmaktadır. Yapılan SEA destekli TKA çalışmasında matkaptaki talaş yapışması modellenemediğinden itme kuvveti ve delme momenti değerleri deneysel çalışmaya göre yaklaşık 10 kat daha düşük çıkmaktadır. Bu da oluşturulan modelin Al alaşımları gibi BUE oluşturma eğilimi yüksek olan malzemelerde güvenilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir.

Yapılan sanal simülasyon çalışmalarının % yaklaşım oranlarına bakıldığında, farklı yarık talaş açısına sahip matkaplar ile yapılacak sanal simülasyon çalışmalarının, BUE oluşturma eğilimi düşük olan malzemeler için, deneysel çalışma öncesi yol gösterici olduğu, ancak BUE oluşturma eğilimi yüksek malzemeler için yeterli güvenilirliği sağlamadığı söylenebilir.

Bu çalışmayı daha ileri taşımak için;

- Bu çalışmada Taguchi yöntemi kullanılarak deney tasarımı yapılmıştır. Fakat Taguchi yöntemi kullanarak yapılan çalışmalarda her ne kadar gerçek sonuçlara yakın bir optimizasyon yapılsa da tam faktöriyel çalışma ile bir çalışmanın sonuçları daha net ortaya konulmaktadır. Bu yüzden deney yapılmayan ara değerler için de deneysel çalışma yapılarak sonuçların incelenmesi ile YTA'nın etkisinin daha net ortaya konulması sağlanabilir.
- YTA'nın bu tez çalışmasında kullanılmayan farklı malzemeler üzerindeki etkilerinin araştırılarak, YTA'nın diğer malzemeler üzerindeki etkileri belirlenebilir.
- Tam faktöriyel bir çalışma ile delmede gerek kesme kuvvetleri, delme momenti ve delik kalitesine etki eden sıcaklık ölçümü yapılarak, YTA'nın talaş kaldırma sırasında oluşan sıcaklık üzerindeki etkileri görülebilir.
- Bu çalışmada ardışık/sürekli delik delmede YTA'nın etkileri araştırılmış olup, talaşlı imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan gagalayarak delik delme ve delik sonunda beklemeli ardışık delik delme deneyleri yapılarak, bu şartlarda YTA'nın delik kalitesine ve takım ömrüne etkileri araştırılabilir.

- Çalışmada split yüzeyleri matkaplar kullanılmış olup, YTA'nın etkileri araştırılmış olup kullanılan matkapların standart split yüzeyi olmayan matkaplar ile yapılan deneysel çalışma sonuçları kıyaslanarak YTA'nın etkileri daha net ortaya konulabilir.
- Yapılan SEA destekli TKAlardan elde edilen sonuçların, özellikle BUE oluşturma eğilim olmayan malzemelerde, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara yakın olduğu görülmektedir. SEA destekli TKA çalışmalarında genellikle yazılımların malzeme kütüphanesinde bulunan malzeme modelleri kullanılarak analizler yapılmaktadır. Fakat deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ile yazılım kütüphanesinde bulunan malzeme özellikleri yetersiz kalabilmektedir. Bu gibi durumlarda o malzeme için literatürdeki farklı Johnson-Cook parametreleri ve farklı sürtünme modelleri kullanarak analizlerin yapılması ve deneysel çalışma ile karşılaştırması, oluşturulan modelin güvenilirliğini daha da güçlendirecektir.

KAYNAKLAR

1. Bayraktar, Ş., Siyambaş, Y., ve Turgut, Y. (2017). Delik delme prosesi: bir araştırma. *Sakarya University Journal of Science*, 21(2), 120-130.
2. Ferreiro, S., Sierra, B., Irigoien, I., and Gorritxategi, E. (2011). Data mining for quality control: Burr detection in the drilling process. *Computers and Industrial Engineering*, 60(4), 801-810.
3. Wu, J., Wen, J., and Wang, Z. (2016). Study on the predicted model and experiment of drilling forces in drilling Ti6Al4V. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 38(2), 465-472.
4. Merchant, M. E. (1945). Mechanics of the metal cutting process. I. Orthogonal cutting and a type 2 chip. *Journal of Applied Physics*, 16(5), 267-275.
5. Fincham, B. M., and Jaeblo, T. (2011). The effect of drill bit, pin, and wire tip design on drilling. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 19(9), 574-579.
6. Yağmur, S., Acır A., Şeker, U., ve Günay, M. (2013). Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme bölgesindeki sıcaklığa etkisinin deneysel incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), 1-6.
7. Soylu, A. (2007). *Bir delme dinamometresi tasarım ve imalatı ile HSS-1040 malzeme çiftinde ilerleme kuvveti ve döndürme momentinin analizi*. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
8. Demir, Z., ve Yakut, R. (2018). An Investigation of the Effect of Parameters and Chip Slenderness Ratio on Drilling Process Quality of AISI 1050 Steel. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018, 1-9.
9. Feng, P., Wang, J., Zhang, J., and Zheng, J. (2017). Drilling induced tearing defects in rotary ultrasonic machining of C/SiC composites. *Ceramics International*, 43(1), 791-799.
10. Wang, J., Feng, P., Zheng, J., and Zhang, J. (2016). Improving hole exit quality in rotary ultrasonic machining of ceramic matrix composites using a compound step-taper drill. *Ceramics International*, 42(12), 13387-13394.
11. Davim, J. P., and Reis, P. (2003). Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments. *Composite Structures*, 59(4), 481-487.
12. Zheng, H., and Liu, K. (2013). Machinability of engineering materials. *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*, 1-34.
13. Kim, D., and Ramulu, M., (2005, October). *Cutting and drilling characteristics of hybrid titanium composite laminate (HTCL)*. In Proceedings of Materials and Processing Technologies for Revolutionary Applications Fall Technical Conference. Seattle, Washington, 1-8.

14. Kıvak, T., Habalı, K., ve Şeker, U., (2010). Inconel 718'in Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Talaş Oluşumu Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(2), 293-298.
15. Yavuz, M., Gökçe, H., Çiftçi, İ., Gökçe, H., Yavaş, Ç., ve Şeker, U. (2020). Investigation of the effects of drill geometry on drilling performance and hole quality. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106(9), 4623-4633.
16. Yavuz, M., Gökçe, H., ve Şeker, U. (2017). Matkap geometrisinin takım aşınması ve talaş oluşumu üzerine etkisinin araştırılması. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(1), 11-19.
17. Yazman, Ş., Akdemir, A., ve Uyaner, M. (2013, Kasım). *Küresel Grafitli dökme demirlerde mikro yapı ve kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerine etkisi*, 4. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, İzmir.
18. Öztürk, A. R. G. (2017). *GGG50 küresel grafitli dökme demirin delinebilirliğinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
19. Tusset, F., Consalter, L. A., and Durán, O. (2016). The effects of microgeometries in carbide twist drill on dry drilling of cast iron. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87(9), 3123-3135.
20. Ertuğrul, O., Güzelipek, O., Soyusınmez, T., Akdoğan, A. T., ve Güneş, A. B. (2020). Dökme Demir Malzemelerin Karbür Uçlarla Delme İşleminde Proses Parametrelerinin Optimizasyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(1), 251-262
21. Yaşar, N., Boy, M., ve Günay, M. (2017, July). *The effect of drilling parameters for surface roughness in drilling of AA7075 alloy*, In MATEC web of conferences, 112, 01018. EDP Sciences.
22. Ucu, İ. (2016). 3D finite element modelling of drilling process of Al7075-T6 alloy and experimental validation. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 30(4), 1843-1850.
23. Kilickap, E. (2010). Modeling and optimization of burr height in drilling of Al-7075 using Taguchi method and response surface methodology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(9), 911-923.
24. Yarar, E., Erturk, A. T., Koç, F. G., and Vatansever, F. (2022). Comparative Analysis in Drilling Performance of AA7075 in Different Temper Conditions. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 1-16.
25. Luo, H., Fu, J., Wu, T., Chen, N., and Li, H. (2021). Numerical Simulation and Experimental Study on the Drilling Process of 7075-t6 Aerospace Aluminum Alloy. *Materials*, 14(3), 553.

26. 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(4), 1909-1919.
27. Çaydaş, U., ve Çelik, M. (2017). AA 7075-T6 alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, takım sıcaklığı ve ilerleme kuvvetine etkilerinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 20(2), 419-425.
28. Erkan, Ö. (2022). Evaluation of surface roughness in drilling of AA 7075 t6 plate with different cutting tool geometries with experimental, statistical and Deform 3D simulation. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 6(2), 314-321.
29. Patel, G. C. (2021). Experimental modeling and optimization of surface quality and thrust forces in drilling of high-strength Al 7075 alloy: CRITIC and meta-heuristic algorithms. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43(5), 1-21.
30. Şencan, A. Ç., Duran, A., and Şeker, U. (2020). The effect of different cooling methods to hole quality and tool life in the drilling of AA7075 and AA2024 aluminum alloys. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 1(2), 1-13.
31. 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(10), 4771-4781.
32. Günay, M., Yaşar, N., ve Korkmaz, M. E. (2016, May). *Optimization of drilling parameters for thrust force in drilling of AA7075 Alloy*. In Proceedings of the International Conference on Engineering and Natural Sciences, Saraybosna, Bosna Hersek, 24-28.
33. Habib, N., Sharif, A., Hussain, A., Aamir, M., Giasin, K., Pimenov, D. Y., and Ali, U. (2021). Analysis of hole quality and chips formation in the dry drilling process of Al7075-T6. *Metals*, 11(6), 891.
34. Meral, G., Sarıkaya, M., Mia, M., Dilipak, H., and Şeker, U. (2019). Optimization of hole quality produced by novel drill geometries using the Taguchi S/N approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 101(1), 339-355.
35. Yalçın, B., ve Yılmaz, N. (2004). Arc PVD yüzey kaplama metoduyla titanyum nitrür (TiAlN) kaplanmış matkap takımlarında takım aşınmasının deneysel olarak incelenmesi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 531, 11-17.
36. Beköz Üllen, N., and Önenç, T. (10-12 Haziran 2021). *The Influence of Change in Microstructure by Heat Treatment on Drill Quality of Hot Forged AISI 4140 Steel*. 20. International Metallurgy and Materials Congress. 590-593
37. Krivokapić, Z., Vučurević, R., Kramar, D., and Šaković Jovanović, J. (2020). Modelling surface roughness in the function of torque when drilling. *Metals*, 10(3), 337.

38. Aay S., Kola, M., ve Atak, A.A. (2020). AISI 4140 eliğinin Delinmesinde Kesme Kenar Radyüsü ve Kesme Parametrelerinin Optimizasyonu. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 1(3), 33-40.
39. Lotfi, M., Amini, S., and Al-Awady, I. Y. (2018). 3D numerical analysis of drilling process: heat, wear, and built-up edge. *Advances in Manufacturing*, 6(2), 204-214.
40. Hariharan, G., Moorthi, N. S. V., and Senthilkumar, N. (2015). *A numerical simulation study on drill bit point angle and helix angle during drilling AISI 1045 steel*. Proceedings of ICAME-2015, UCEV, Villupuram, Tamil Nadu, 15-16.
41. Nan, X., Xie, L., and Zhao, W. (2016). On the application of 3D finite element modeling for small-diameter hole drilling of AISI 1045 steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(9), 1927-1939.
42. Amini, S., Alinaghian, I., Lotfi, M., Teimouri, R., and Alinaghian, M. (2017). Modified drilling process of AISI 1045 steel: a hybrid optimization. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(6), 1653-1661.
43. Govindaraju, N., Shakeel Ahmed, L., and Pradeep Kumar, M. (2014). Experimental investigations on cryogenic cooling in the drilling of AISI 1045 steel. *Materials and Manufacturing Processes*, 29(11-12), 1417-1421.
44. Khan, S. A., Nazir, A., Mughal, M. P., Saleem, M. Q., Hussain, A., and Ghulam, Z. (2017). Deep hole drilling of AISI 1045 via high-speed steel twist drills: evaluation of tool wear and hole quality. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93(1), 1115-1125.
45. Arunkumar, N., Thanikasalam, A., Sankaranarayanan, V., and Senthilkumar, E. (2018). Parametric optimization of deep-hole drilling on AISI 1045 steel and online tool condition monitoring using an accelerometer. *Materials and Manufacturing Processes*, 33(16), 1751-1764.
46. Zhang, H., Zhao, S., Wang, L., Li, C., and Hou, S. (2019). Micro-drilling of AISI 1045 steel using a centering micro-drill. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(9), 4189-4203.
47. Sakuma, K., Kiyota, H., and Morita, H. (1983). Positional Accuracy of Hole in Drilling: Effect of Rigidity and Point Geometry of Drill. *Bulletin of The Japan Society of Mechanical Engineers*, 26(214), 659-666.
48. Meral, G., Sarıkaya, M., ve Dilipak, H. (2011). Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 27(4), 332-338
49. Selvam, S. M., and Sujatha, C. (1995). Twist drill deformation and optimum drill geometry. *Computers & Structures*, 57(5), 903-914.
50. Paul, A., Kapoor, S. G., and DeVor, R. E. (2005). Chisel edge and cutting lip shape optimization for improved twist drill point design. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(4-5), 421-431.

51. Chen, W. C., Fuh, K. H., Wu, C. F., and Chang, B. R. (1996). Design optimization of a split-point drill by force analysis. *Journal of Materials Processing Technology*, 58(2-3), 314-322.
52. Han-Min, S., Hua-Shu, Z., and Liang-Shan, X. (1994). A study on curved edge drills. *Journal of Engineering for Industry*. 116(1), 267-273.
53. Isbilir, O., and Ghassemieh, E. (2013). Numerical investigation of the effects of drill geometry on drilling induced delamination of carbon fiber reinforced composites. *Composite Structures*, 105, 126-133.
54. Feito, N., Diaz-Álvarez, J., López-Puente, J., and Miguelez, M. H. (2016). Numerical analysis of the influence of tool wear and special cutting geometry when drilling woven CFRPs. *Composite Structures*, 138, 285-294.
55. Çakır, M. C. (2010). *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*. Vipaş AŞ, Bursa.
56. İnternet: SCTools. URL: <https://sctools.online/pages/drill-terminology>, Son erişim tarihi:09.03.2023
57. Lazar, M.B. (2012). *Cutting force modelling for drilling of fiber-reinforced composites*, in à la faculté des sciences et techniques de l'ingénieur. PhD. Thesis, École Polytechnique Fédérale De Lausanne, Swiss.
58. Mendi, F. (1996). *Takım Tezgâhları Teori ve Hesapları*. Ankara: Gazi Kitabevi.
59. Ekmen, F. H. (2021). Kriyojenik işlem uygulanmış Inconel 718 alaşımlarında delik delme işlemlerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
60. Williams, R. A. (1970). A study of the basic mechanics of the chisel edge of a twist drill. *The International Journal of Production Research*, 8(4), 325-343.
61. Kaplan, Y. (2010). Delik delmede farklı parametrelerin kesme kuvveti, moment, titreşim, yüzey pürüzlülüğü, aşınma ve çapak oluşumuna etkileri. Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-108.
62. Akkurt M. (1998). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*, Birsen Yayınevi, Ankara.
63. Kıvak, T., Samtaş, G., ve Çiçek, A. (2012). Taguchi method based optimisation of drilling parameters in drilling of AISI 316 steel with PVD monolayer and multilayer coated HSS drills. *Measurement*, 45(6), 1547-1557.
64. Thangaraj, A., Wright, P., and Nissle, M. (1984). New experiments on the temperature distribution in drilling. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 106(3), 242-247.
65. Çakır, A. (2009). Al 7075 ve Al 6013 Alüminyum Malzemelerin Delme Operasyonları Esnasındaki Kesme Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

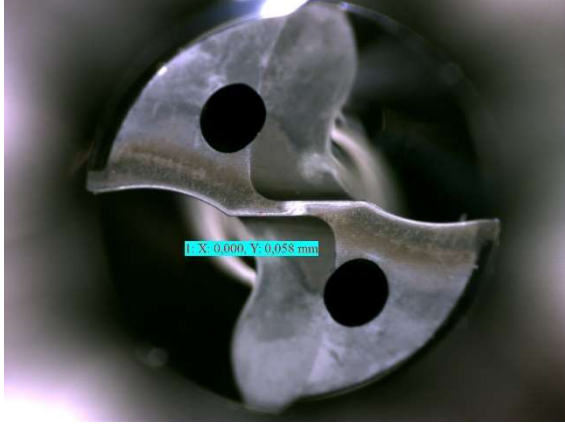
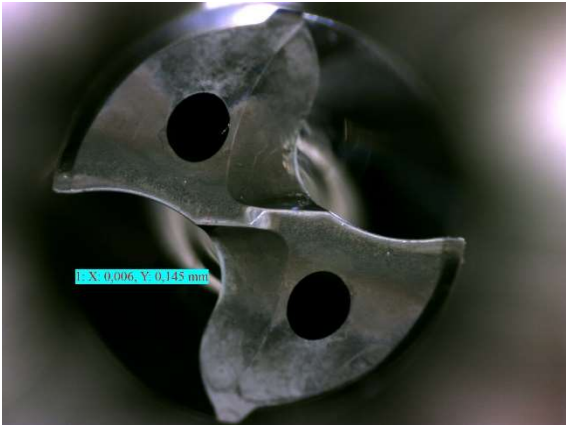
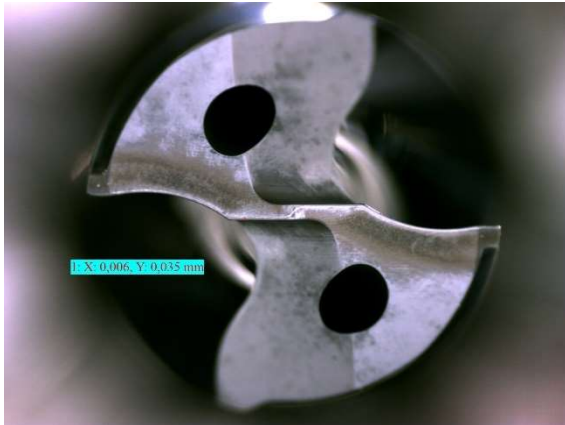
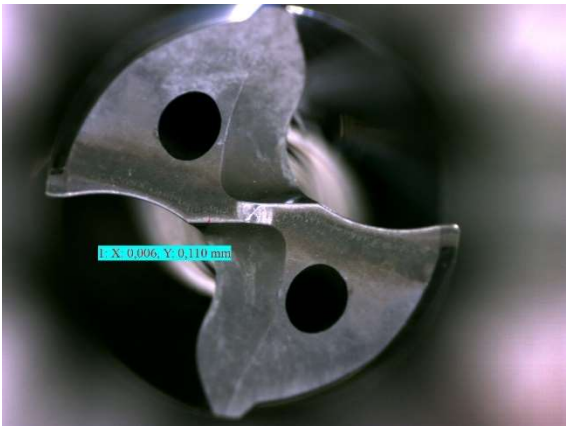
66. Eggleston, D. M., Herzog, R., and Thomsen, E. G. (1959). Observations on the angle relationships in metal cutting. *ASME Journal of Engineering for Industry*, 81, 263-279.
67. Kaynak, Y. (2006). *Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
68. Davim, J. P. (Ed.). (2011). *Modern Machining Technology: A Practical Guide*. Elsevier.
69. İnternet: *Mitsubishi Material Metal working Solutions Company*. URL: http://www.mmuscarbide.com/technical_information/tec_rotating_tools/drills/tec_drills_technical_top/tec_drilling_terminology, Son erişim tarihi:09.03.2023
70. Kaynak, Y. (2006). *Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak incelenmesi*, Doktora tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
71. Öztürk, S. (2001). *Spiral matkap uç geometrileri ve talaş kaldırmaya etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
72. İnternet: *Tungaloy Kesici Takımlar İmalat San. ve Tic. A.Ş.* URL: <https://tungaloy.com/tr/product/hole-making/soliddrill/>, Son erişim tarihi:09.03.2023
73. Hsieh, J. F., and Lin, P. D. (2002). Mathematical model of multiflute drill point. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42(10), 1181-1193.
74. Ertunç, H. M., ve Sevim, I. (2001). Kesici takımların aşınmasını gözlemleme üzerine yapılan çalışmalar. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14, 55-62.
75. Abu-Mahfouz, I. (2003). Drilling wear detection and classification using vibration signals and artificial neural network. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(7), 707-720.
76. İnternet: *Ceratizit group*. URL: <https://cuttingtools.ceratizit.com/de/de/services/nachschleifen/verschleissarten-hss-vhm-bohrer.html>, Son erişim tarihi:09.03.2023
77. İnternet: *Sandvik Coromant*. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/drilling/drilling-wear-and-troubleshooting>, Son erişim tarihi:09.03.2023
78. Korucu, S., (1996). *Hidrolik Kopya Aparatı Yardımı ile Elde Edilen Parçalarda Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 23.
79. Çoğun, C., ve Özses, B. (2002). Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(1), 59-75
80. Ekmen, F. H. (2021). *Kriyojenik işlem uygulanmış Inconel 718 alaşımlarında delik delme işlemlerinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

81. Güllü, A., Özdemir, A., ve Demir, H. (2003). Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri ve mukayesesi. *Teknoloji*, 6, 79-92.
82. Stephenson, D. A., and Agapiou, J. S. (2018). Metal cutting theory and practice. *CRC Press*. 579-617.
83. Batman, Ö. (2019). *2011-T6 alüminyum alaşımının delik delme işleminde kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
84. Nagaraj, A., Uysal, A., and Jawahir, I. S. (2020). An Investigation of process performance when drilling carbon fiber reinforced polymer (CFRP) composite under dry, cryogenic and MQL environments. *Procedia Manufacturing*, 43, 551-558.
85. Reason, R. E. (1960). *The Measurement of Surface Texture*, In Modern Workshop Technology, Cleaver-Hume Press Ltd.
86. Chiles, V., Black, S., Lissaman, A., and Martin, S. (1996). Principles of engineering manufacture. *Butterworth-Heinemann*. 480-490
87. Poustie, A. S. (2012). *Drilling Process and Hole Quality Relationship*. Master's Thesis, University of Johannesburg, South Africa.
88. Souza, C. C., Arencibia, R. V., Costa, H. L., and Piratelli Filho, A. (2012). *A contribution to the measurement of circularity and cylindricity deviations*. In ABCM symposium series in Mechatronics, 5, 791.
89. Sheth, S., and George, P. M. (2016). Experimental investigation, prediction and optimization of cylindricity and perpendicularity during drilling of WCB material using grey relational analysis. *Precision Engineering*, 45, 33-43.
90. Sun, Z., Feng, P., Zeng, L., Zhang, S., and Cheng, X. (2022). Adaptive machining scheme for a multi-hole part with multi-position accuracy tolerances. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-10.
91. İnternet: *GD&T basics*. URL: <https://www.gdandtbasics.com/perpendicularity>, Son erişim tarihi: 09.03.2023.
92. Çakıroğlu, R., and Acır, A. 2013. Optimization of cutting parameters on drill bit temperature in drilling by Taguchi method. *Measurement*, 46(9), 3525-3531.
93. Şirvancı, M. (1997). *Kalite İçin Deney Tasarımı-Taguchi Yaklaşımı*, Literatür Yayınları, İstanbul, 107-129.
94. Davim, J. P. (2001). A note on the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments. *Journal of Materials Processing Technology*, 116(2-3), 305-308.
95. Bayraktar, O. M. (2009). *Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Taguchi Metodu'nun Bonfiglioli AŞ'de Ortak Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

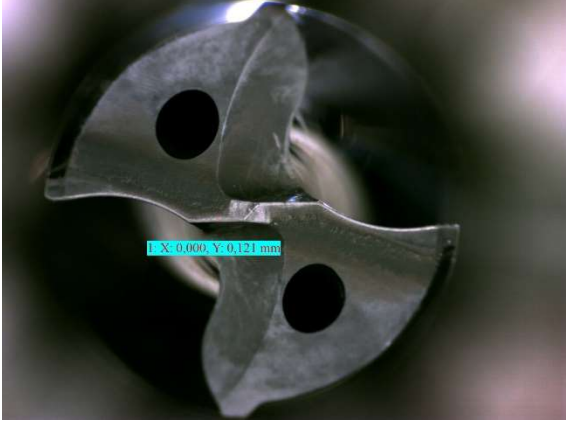
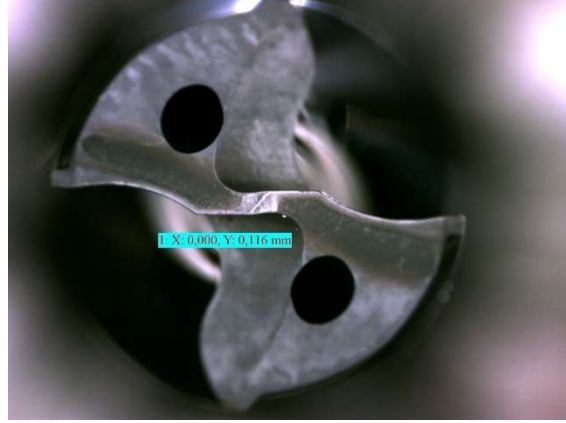
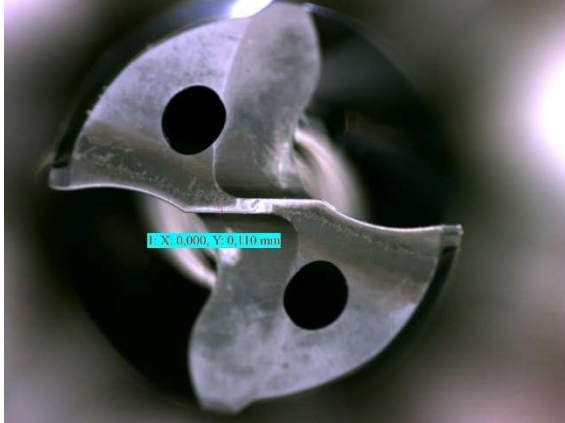
96. Antony, J. (2014). Design of experiments for engineers and scientists. *Elsevier*. 7-16.
97. Marusich, T. D., Usui, S., Aphale, R., Saini, N., Li, R., and Shih, A. J. (2006, January). *Three-dimensional finite element modeling of drilling processes*. In International Manufacturing Science and Engineering Conference, 47624, 471-478.
98. Açıkgöz, A. (2019). *Bending stress analysis and fatigue life estimation of involute spur gears by finite element method (fem)*, Master's thesis, Gaziantep University Graduate School of Natural & Applied Sciences, Gaziantep.
99. Menze, C., Wegert, R., Reeber, T., Erhardt, F., Moehring, H. C., and Stegmann, J. (2021). Numerical methods for the simulation of segmented chips and experimental validation in machining of Ti-6al-4v. *MM Science Journal*, 5052-5060.
100. Opoz, T. T., and Chen, X. (2016). Chip formation mechanism using finite element simulation. *Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 62(11).
101. Jomaa, W., Mechri, O., Lévesque, J., Songmene, V., Bocher, P., and Gakwaya, A. (2017). Finite element simulation and analysis of serrated chip formation during high-speed machining of AA7075-T651 alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 26, 446-458.
102. Özcan, B., Korkut, İ., Yağmur, S., Şeker, U., ve Akkurt, A. (November 2018). *Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemenin Kesme Parametrelerinin Sonlu Elamanlar Yöntemi ile Analizi*. 3'xxrd International Symposium on Industrial Design Engineering.
103. Meral, G. (2016). *Matkap Uç Ve Kanal Geometrisi Tasarımı Ve Delme Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 79-119.
104. 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.
105. Yavuz, M. (2017). *Delme işlemlerinde takım geometrisinin etkilerinin deneysel ve teorik olarak araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 58-100.
106. Çakır, A., Kavak, N., ve Duran, A. (2014). *Kesici Takım Geometrisinin Delik Delme Performansı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi*. 5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTİS 2014), Bursa.

EKLER

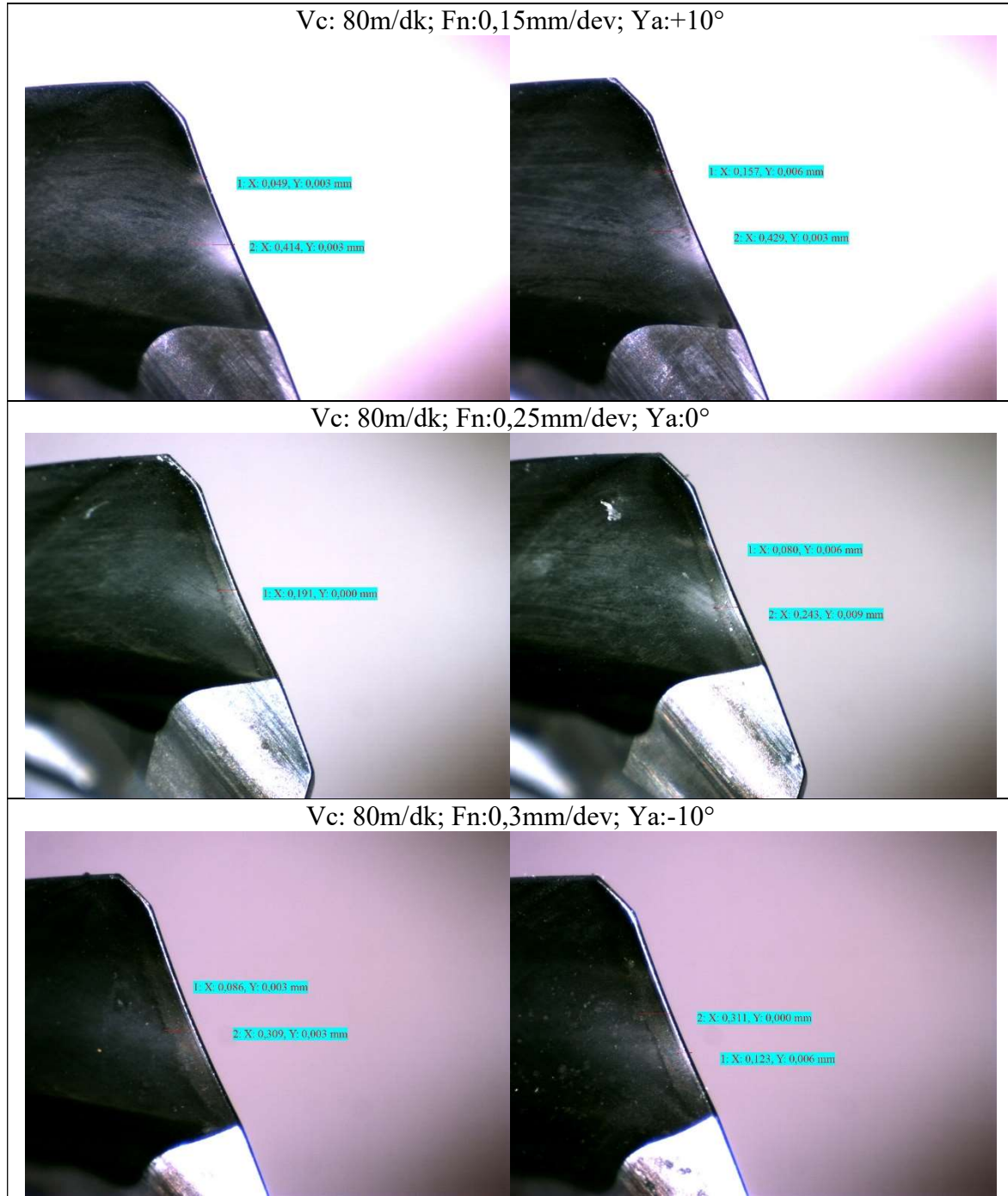
EK- 1. AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde matkap ucunda meydana gelen aşınma görüntüleri

Vc: 80m/dk; Fn:0,15mm/dev; Ya:+10° 	Vc: 80m/dk; Fn:0,25mm/dev; Ya:0° 
Vc: 80m/dk; Fn:0,3mm/dev; Ya:-10° 	Vc: 100m/dk; Fn:0,15mm/dev; Ya:0° 
Vc: 100m/dk; Fn:0,25mm/dev; Ya:-10° 	Vc: 100m/dk; Fn:0,3mm/dev; Ya:+10° 

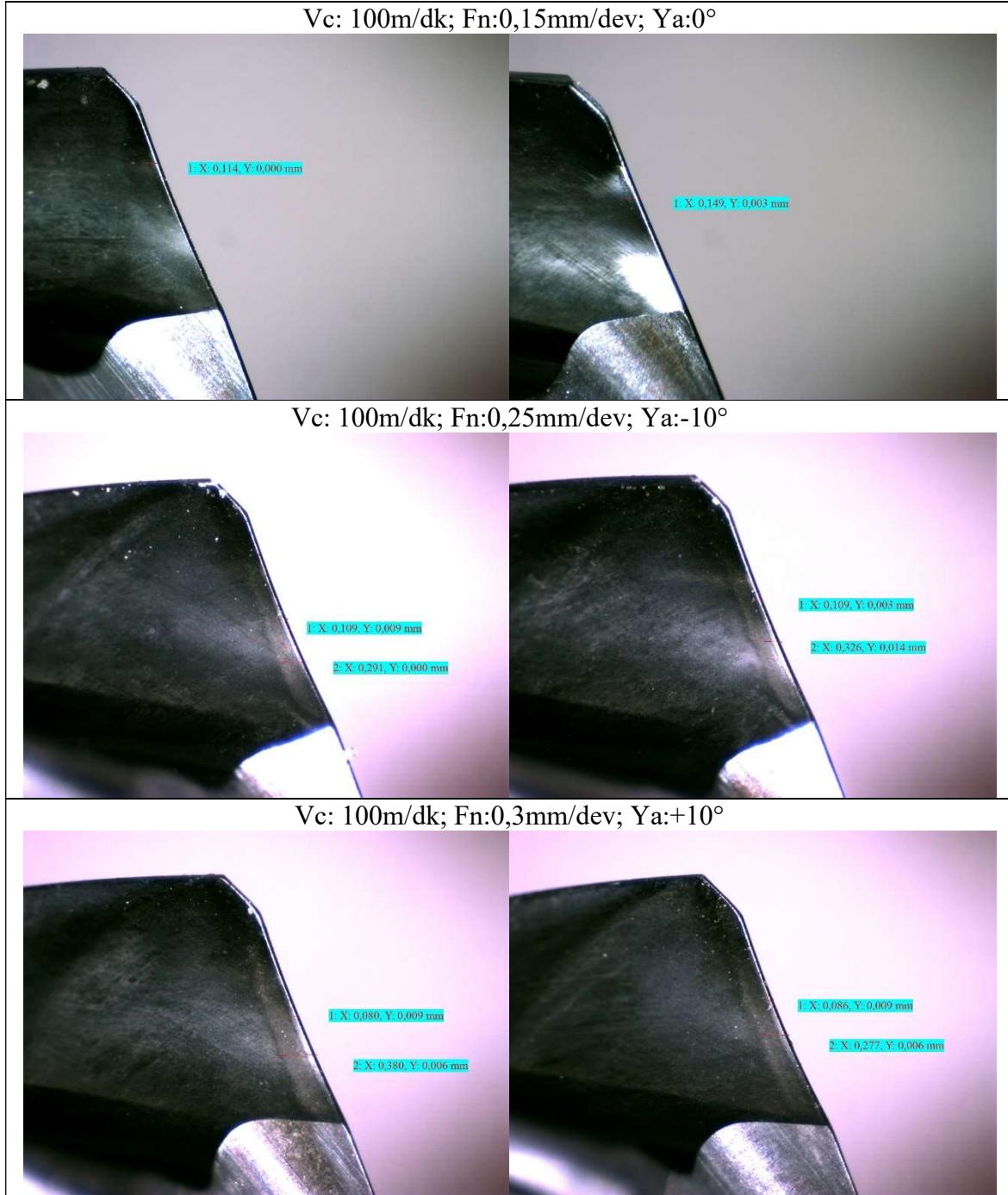
EK- 1. (devam) AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde kullanılan matkapların uç aşınma görüntüleri

Vc: 120m/dk; Fn:0,15mm/dev; Ya:-10° 	Vc: 120m/dk; Fn:0,25mm/dev; Ya:+10° 
Vc: 120m/dk; Fn:0,3mm/dev; Ya:0° 	

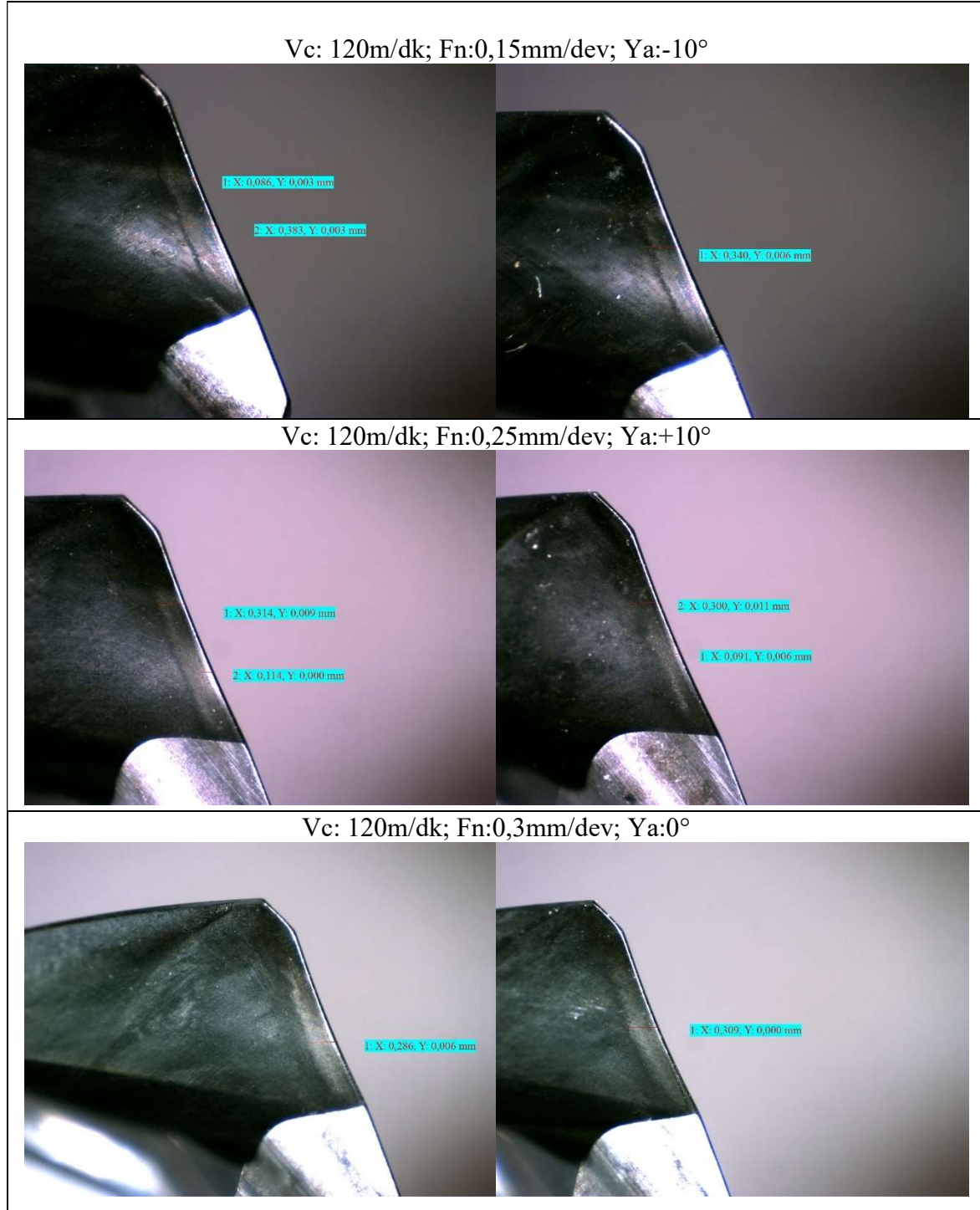
EK- 2. AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde kullanılan matkapların talaş yüzeyi aşınma görüntüleri



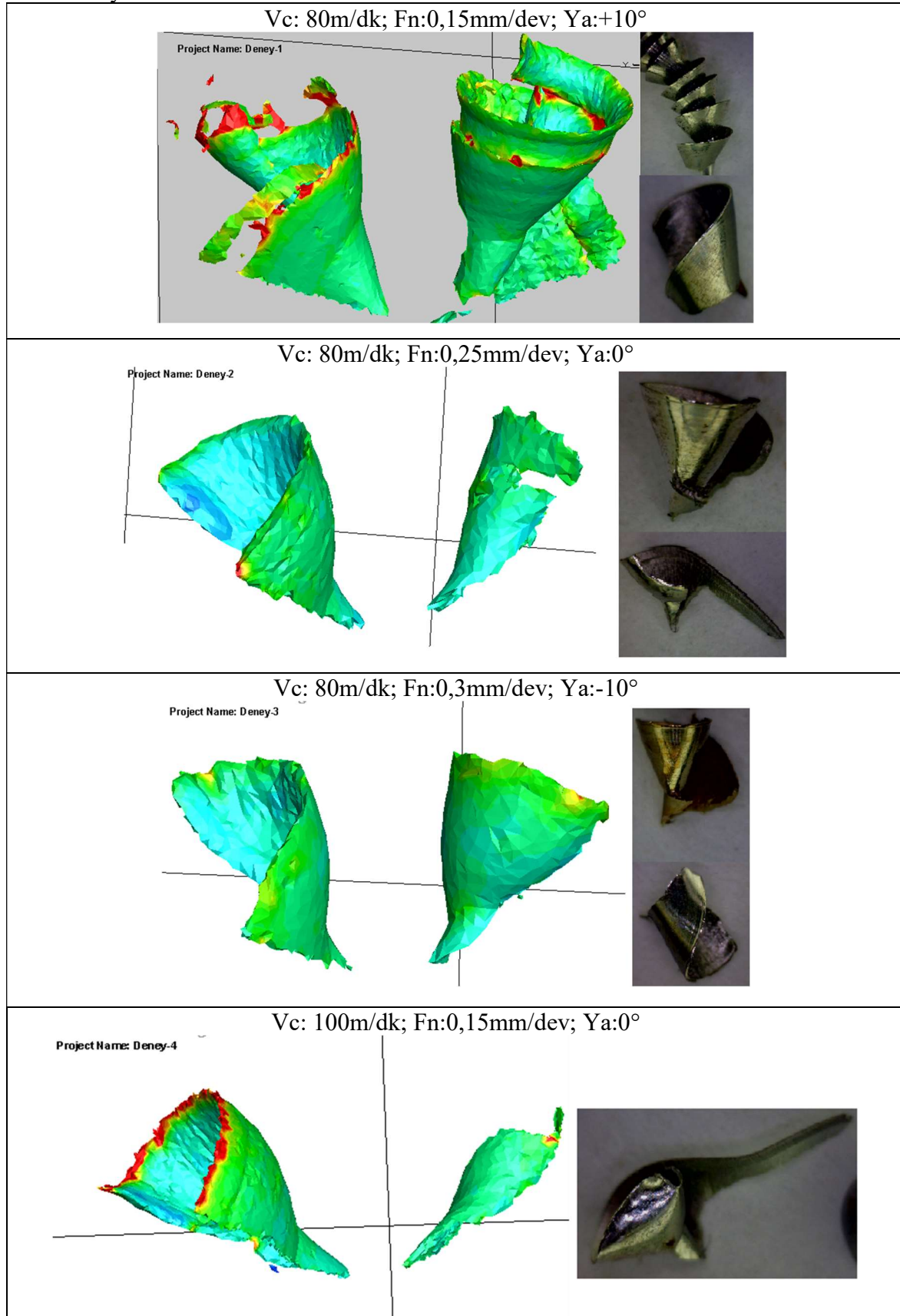
EK- 2. (devam) AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde kullanılan matkapların talaş yüzeyi aşınma görüntüleri



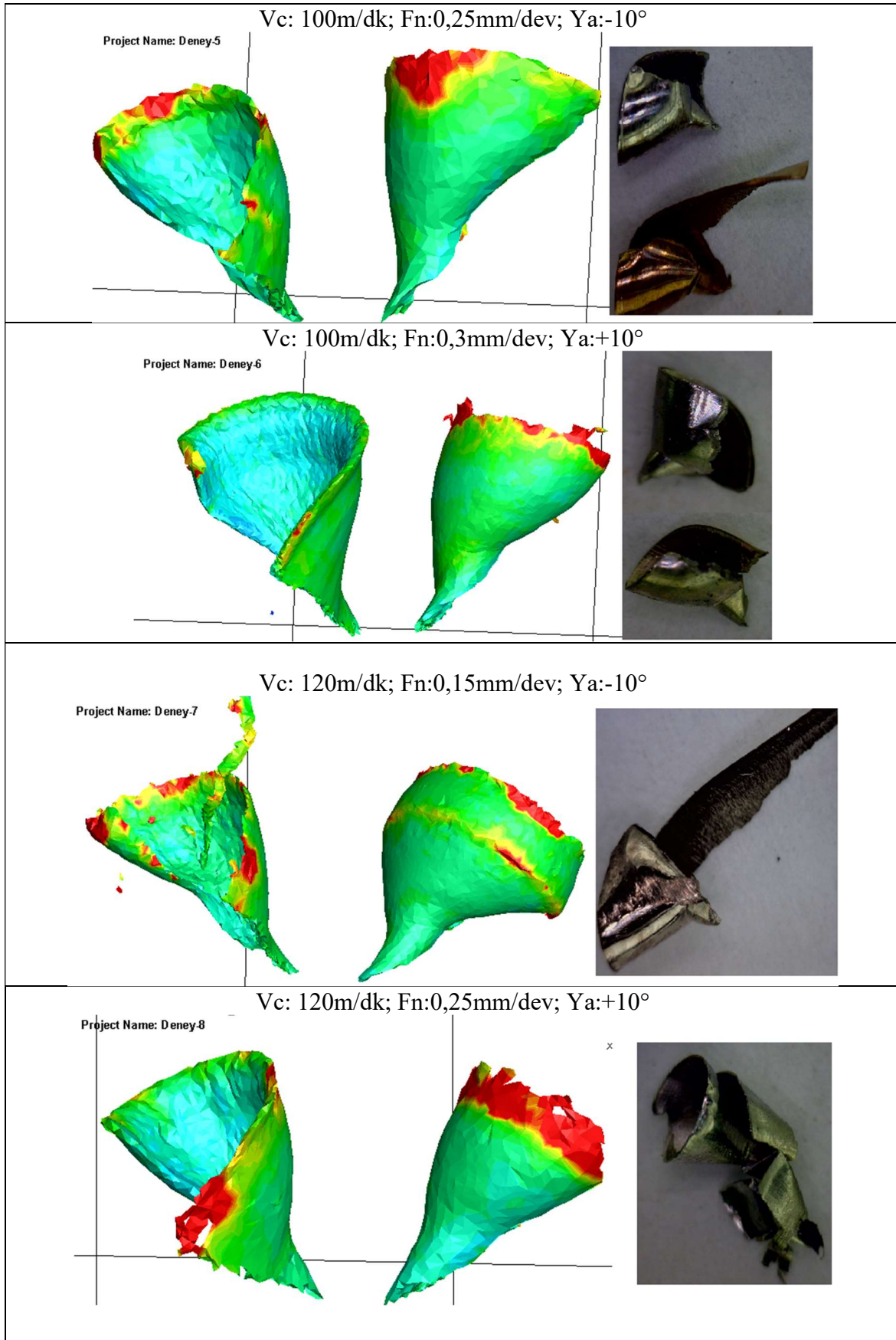
EK- 2. (devam) AISI 4140 ıslah çeliğinin delinmesinde kullanılan matkapların talaş yüzeyi aşınma görüntüleri



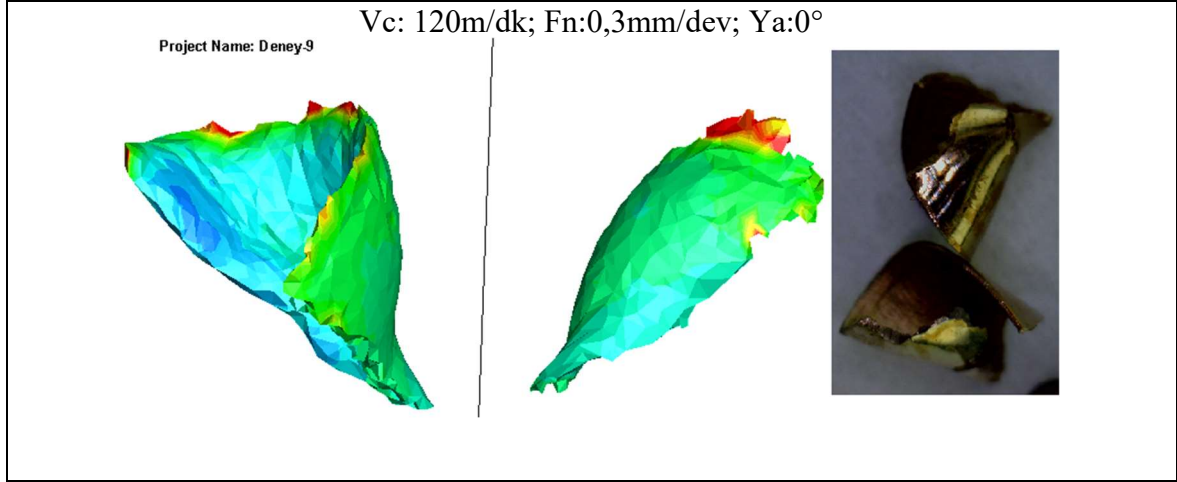
EK- 3. AISI 4140 ıslah eliginin deneysel ve TKA ile delinmesinde oluşan talaşların kıyaslanması



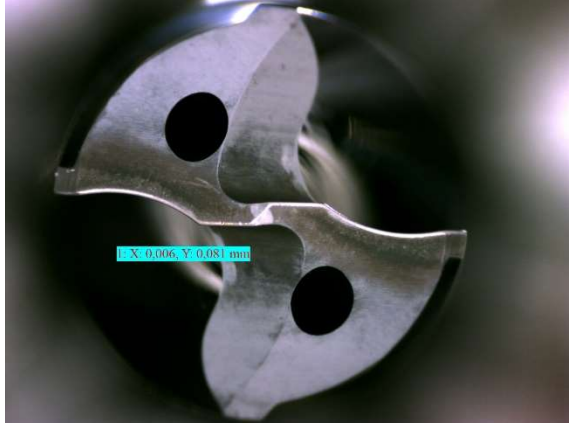
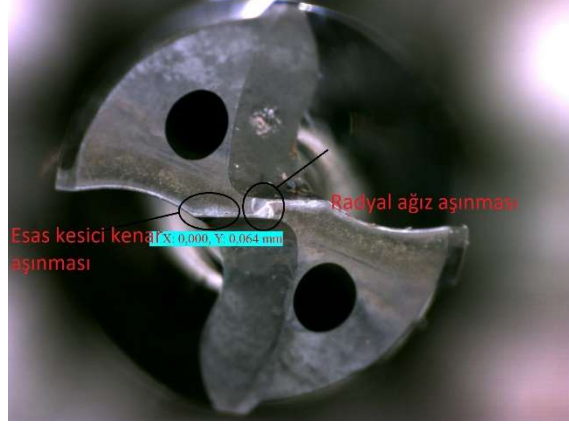
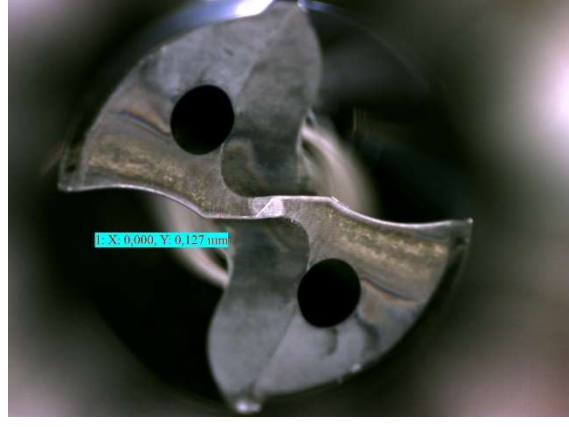
EK- 3. (devam) AISI 4140 ıslah çeliğinin deneysel ve TKA ile delinmesinde oluşan talaşların kıyaslanması



EK- 3. (devam) AISI 4140 ıslah çeliğinin deneysel ve TKA ile delinmesinde oluşan talaşların kıyaslanması

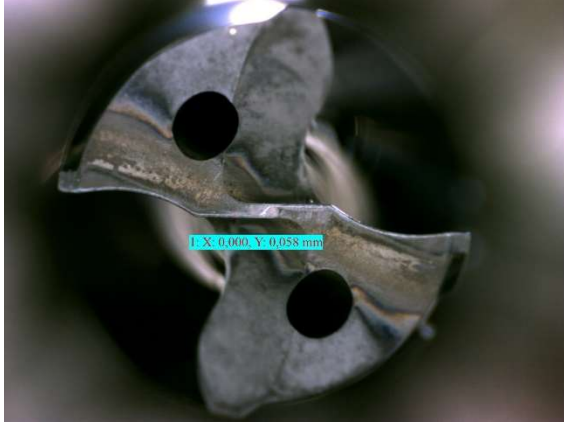


EK- 4. Ck45 imalat çeliğinin delinmesinde kullanılan matkapların uç aşınma görüntüleri

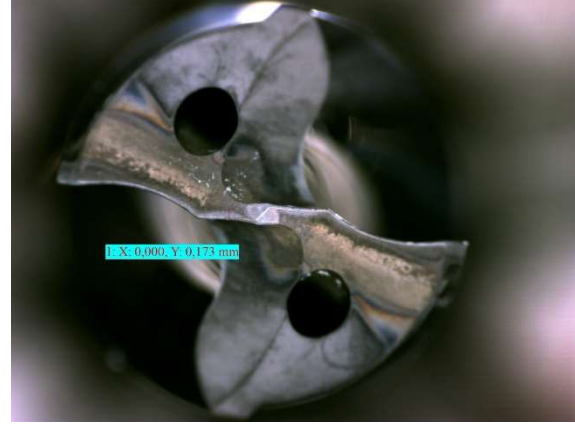
Vc: 80m/dk; Fn:0,15mm/dev; Ya:+10° 	Vc: 80m/dk; Fn:0,25mm/dev; Ya:0° 
Vc: 80m/dk; Fn:0,3mm/dev; Ya:-10° 	Vc: 100m/dk; Fn:0,15mm/dev; Ya:0° 
Vc: 100m/dk; Fn:0,25mm/dev; Ya:-10° 	Vc: 100m/dk; Fn:0,3mm/dev; Ya:+10° 

EK- 4. (devam) Ck45 imalat çeliğinin delinmesinde kullanılan matkapların uç aşınma görüntüleri

Vc: 120m/dk; Fn:0,25mm/dev; Ya:+10°



Vc: 120m/dk; Fn:0,3mm/dev; Ya:0°



EK- 5. Ck45 imalat çeliğinin delinmesinde kullanılan matkapların talaş yüzeyi aşınma görüntüleri

Vc: 80m/dk; Fn:0,15mm/dev; Ya:+10°



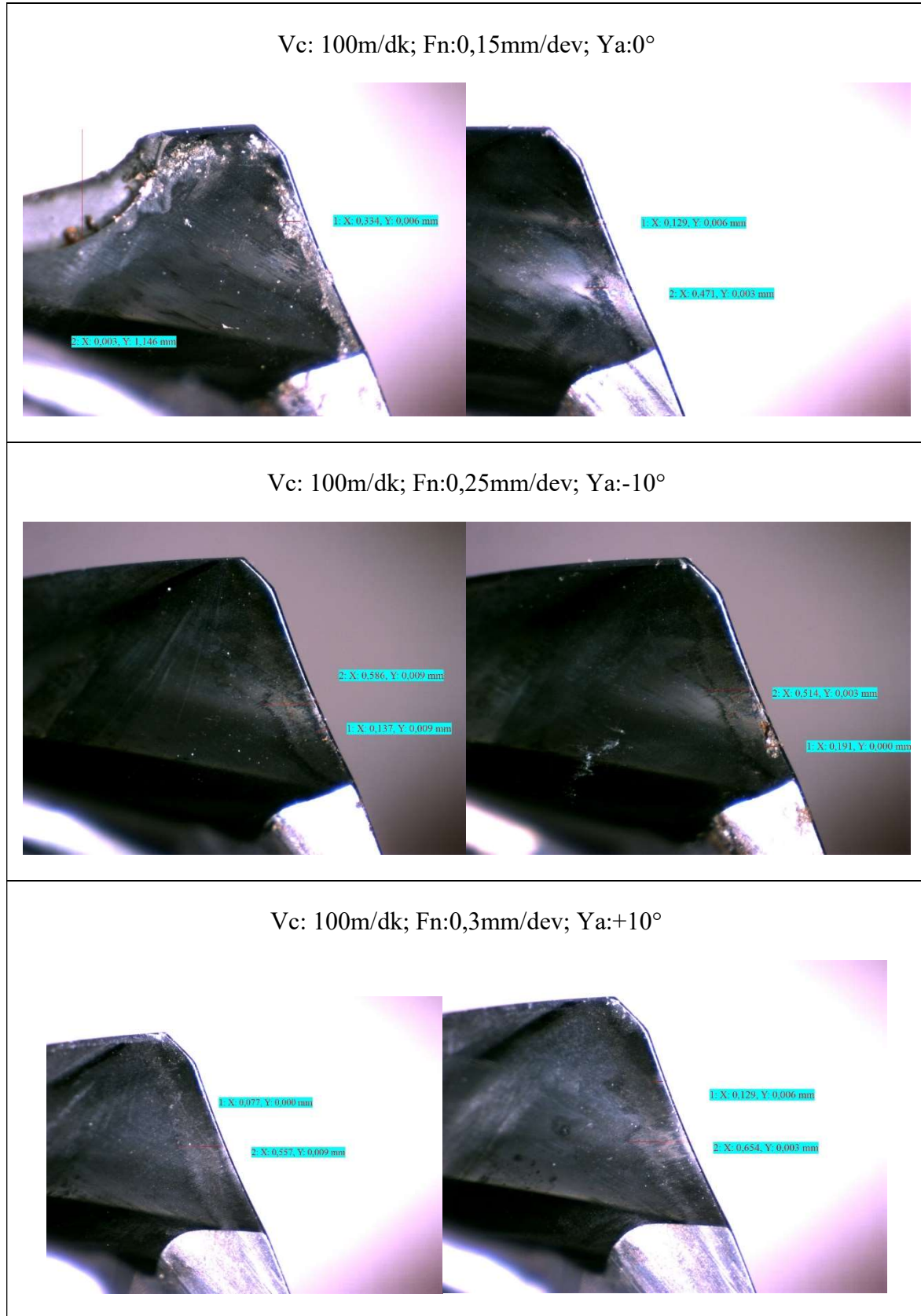
Vc: 80m/dk; Fn:0,25mm/dev; Ya:0°



Vc: 80m/dk; Fn:0,3mm/dev; Ya:-10°



EK- 5. (devam) Ck45 imalat çeliğinin delinmesinde kullanılan matkapların talaş yüzeyi aşınma görüntüleri



EK- 5. (devam) Ck45 imalat çeliğinin delinmesinde kullanılan matkapların talaş yüzeyi aşınma görüntüleri

Vc: 120m/dk; Fn:0,15mm/dev; Ya:-10°

Matkap kırıldı.

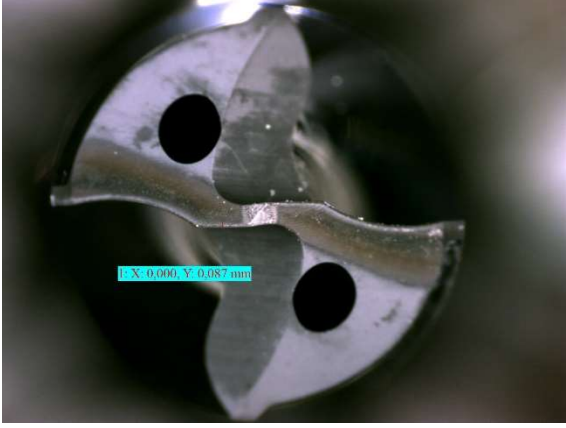
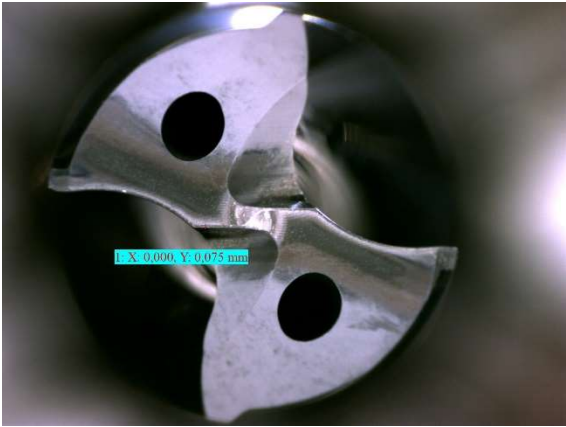
Vc: 120m/dk; Fn:0,25mm/dev; Ya:+10°



Vc: 120m/dk; Fn:0,3mm/dev; Ya:0°



EK- 6. GGG50 KGDD'in delinmesinde kullanılan matkapların uç aşınma görüntüleri

Vc: 100m/dk; Fn:0,3mm/dev; Ya:+10° 	Vc: 100m/dk; Fn:0,4mm/dev; Ya:0° 
Vc: 100m/dk; Fn:0,5mm/dev; Ya:-10° 	Vc: 120m/dk; Fn:0,3mm/dev; Ya:0° 
Vc: 120m/dk; Fn:0,4mm/dev; Ya:-10° 	Vc: 120m/dk; Fn:0,5mm/dev; Ya:+10° 

EK- 6. (devam) GGG50 KGDD'in delinmesinde kullanılan matkapların uç aşınma görüntüleri

Vc: 140m/dk; Fn:0,3mm/dev; Ya:-10° 	Vc: 140m/dk; Fn:0,4mm/dev; Ya:+10° 
Vc: 140m/dk; Fn:0,5mm/dev; Ya:0° 	

EK- 7. GGG50 KGDD'in delinmesinde kullanılan matkapların talaş yüzeyi aşınma görüntüleri

Vc: 100m/dk; Fn:0,30mm/dev; Ya:+10°



Vc: 100m/dk; Fn:0,4mm/dev; Ya:0°



Vc: 100m/dk; Fn:0,5mm/dev; Ya:-10°



EK- 7. (devam) GGG50 KGDD'in delinmesinde kullanılan matkapların talaş yüzeyi aşınma görüntüleri

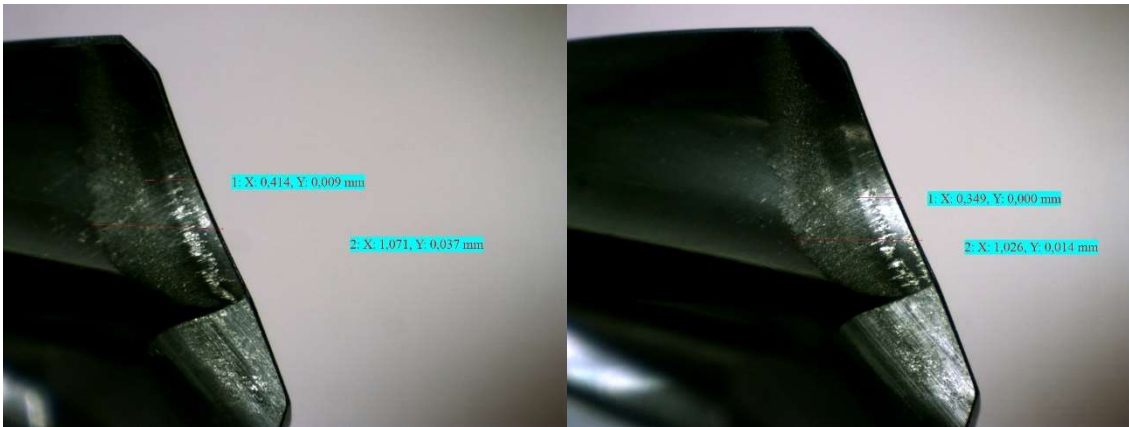
Vc: 120m/dk; Fn:0,3mm/dev; Ya:0°



Vc: 120m/dk; Fn:0,4mm/dev; Ya:-10°



Vc: 120m/dk; Fn:0,5mm/dev; Ya:+10°

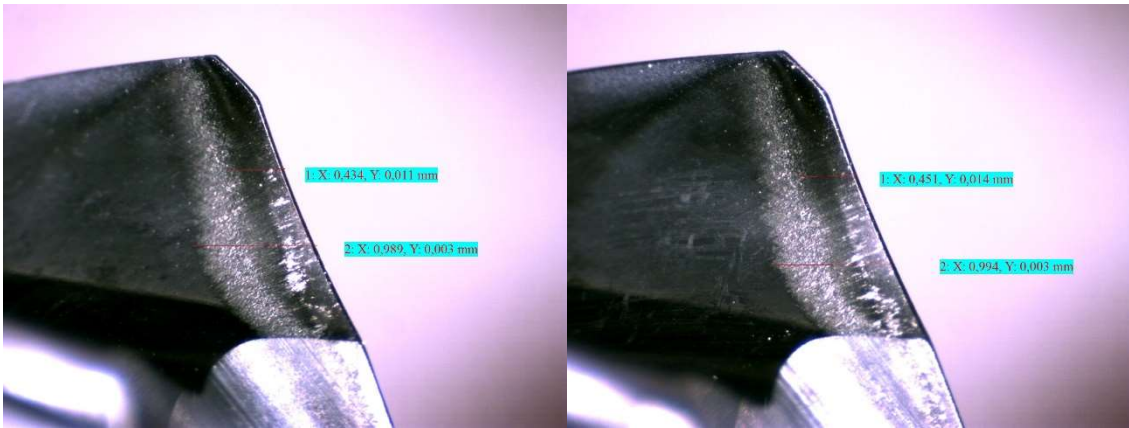


EK- 7. (devam) GGG50 KGDD'in delinmesinde kullanılan matkapların talaş yüzeyi aşınma görüntüleri

Vc: 140m/dk; Fn:0,3mm/dev; Ya:-10°



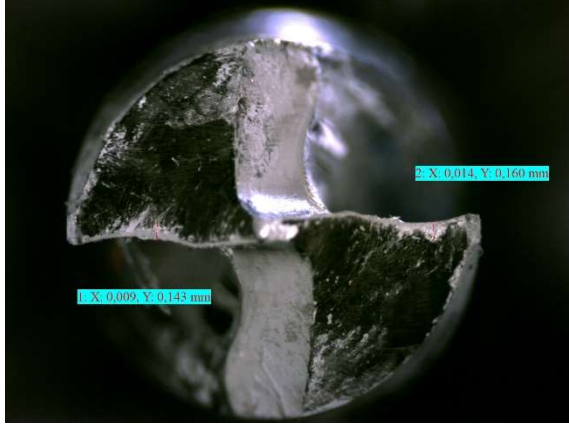
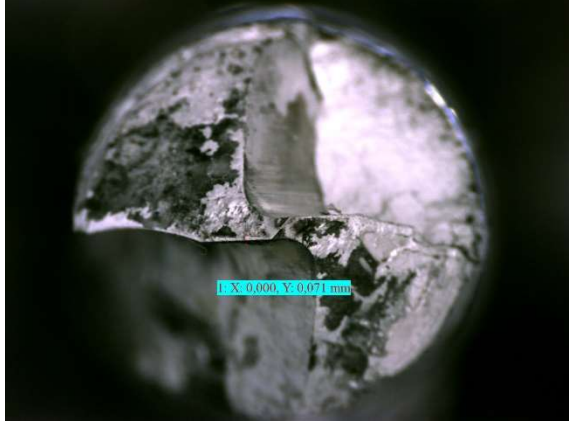
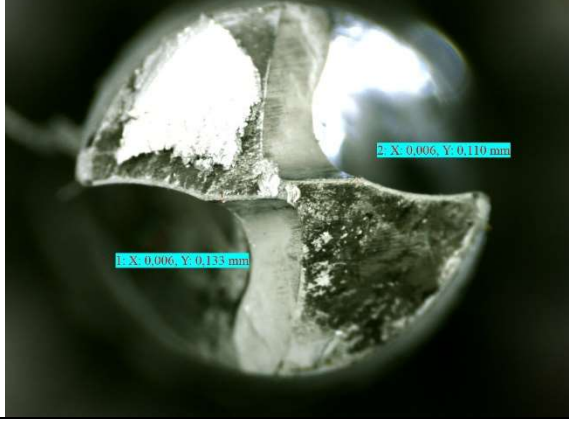
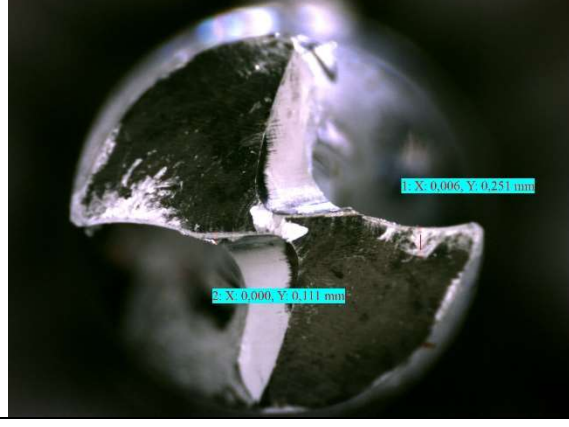
Vc: 140m/dk; Fn:0,4mm/dev; Ya:+10°



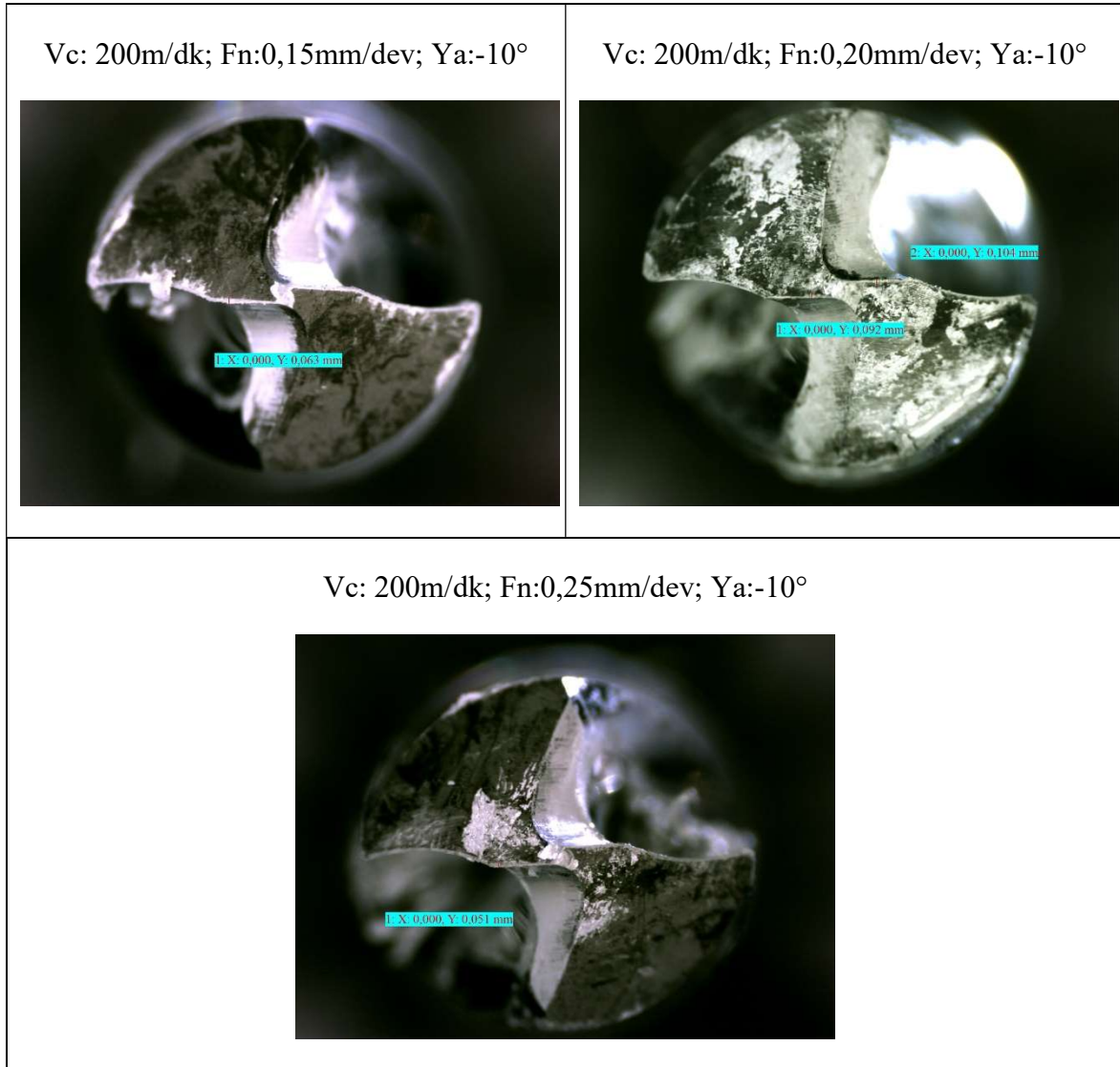
Vc: 140m/dk; Fn:0,5mm/dev; Ya:0°



EK- 8. Aa 7075 T6 alaşımının delinmesinde kullanılan matkapların uç aşınma görüntüleri

Vc: 200m/dk; Fn:0,15mm/dev; Ya:+10° 	Vc: 200m/dk; Fn:0,20mm/dev; Ya:+10° 
Vc: 200m/dk; Fn:0,25mm/dev; Ya:+10° 	Vc: 200m/dk; Fn:0,15mm/dev; Ya:0° 
Vc: 200m/dk; Fn:0,20mm/dev; Ya:0° 	Vc: 200m/dk; Fn:0,25mm/dev; Ya:0° 

EK- 8. (devam) Aa 7075 T6 alaşımının delinmesinde kullanılan matkapların uç aşınma görüntüleri



EK- 9. Aa 7075 T6 alaşının delinmesinde kullanılan matkapların talaş yzeyi aşınma görüntüleri

Vc: 200m/dk; Fn:0,15mm/dev; Ya:+10 



Vc: 200m/dk; Fn:0,20mm/dev; Ya:+10 



Vc: 200m/dk; Fn:0,25mm/dev; Ya:+10 



EK- 9. (devam) Aa 7075 T6 alaşının delinmesinde kullanılan matkapların talaş yüzeyi aşınma görüntüleri

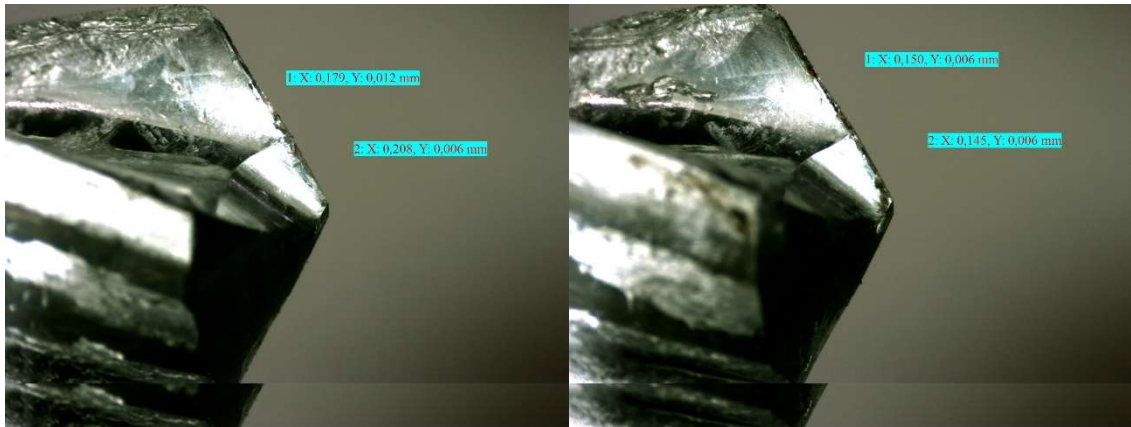
Vc: 200m/dk; Fn:0,15mm/dev; Ya:0°



Vc: 200m/dk; Fn:0,20mm/dev; Ya:0°



Vc: 200m/dk; Fn:0,25mm/dev; Ya:0°



EK- 8. (devam) Aa 7075 T6 alaşının delinmesinde kullanılan matkapların talaş yzeyi aşınma görüntüleri

Vc: 200m/dk; Fn:0,15mm/dev; Ya:-10 



Vc: 200m/dk; Fn:0,20mm/dev; Ya:-10 



Vc: 200m/dk; Fn:0,25mm/dev; Ya:-10 





Gazili olmak ayrıcalıktır