

**FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AL-5005 MALZEMESİNİN DELİNMESİNDE ÇAPAK OLUŞUMUNA
ETKİ EDEN KESME PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Yük. Müh. Erkan BAHÇE
(05120203)**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği
Programı: Konstrüksiyon ve İmalat**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Cihan ÖZEL
EYLÜL-2011**

**FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AL-5005 MALZEMESİNİN DELİNMESİNDE ÇAPAK OLUŞUMUNA ETKİ EDEN
KESME PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Yük. Müh. Erkan BAHÇE
(05120203)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Eylül 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Eylül 2011**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Cihan ÖZEL (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Ali İNAN (F.Ü)

Doç.Dr.Babür ÖZÇELİK (GYTE)

Doç.Dr.Niyazi ÖZDEMİR (F.Ü)

Yrd.Doç.Dr. Latif ÖZLER (F.Ü)

EYLÜL-2011

**FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AL-5005 MALZEMESİNİN DELİNMESİNDE ÇAPAK OLUŞUMUNA ETKİ EDEN
KESME PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Yük. Müh. Erkan BAHÇE
(05120203)**

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: İmalat ve Konstrüksiyon

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: Eylül 2011

EYLÜL-2011

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her aşamasında yardım, öneri ve desteğini esirgemedi beni yönlendiren danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Cihan ÖZEL'e, tez çalışması süresince önerileriyle ve yardımlarıyla karşılaştığım sorunları aşmamı sağlayan tez izleme komitesi üyeleri değerli hocalarım Sayın Doç.Dr. Niyazi ÖZDEMİR'e ve Sayın Doç.Dr. Nihat TOSUN'a, tez süresince karşılaştığım her türlü sorunda yardımlarını esirgemeyen ve verdikleri tavsiyelerle bana yardımcı olan Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği bölüm başkanı Prof.Dr. Yaşar BIÇER'e ve diğer öğretim üyelerine, tüm bu süreçte sonsuz sabrıyla bana sürekli destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmayı (Proje No: 2009/1761) maddi olarak destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Erkan BAHÇE
ELAZIĞ-2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ	XIV
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XV
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Konuyla İlgili Literatür Araştırması	2
1.2 Tezin Literatürdeki Yeri ve Önemi	13
1.3 Genel Bilgiler.....	14
1.3.1 Alüminyum ve Alaşımlar	14
1.3.2 Delme İşlemi.....	21
1.3.3 Delme İşleminde Çapak Oluşumu	29
1.3.4 Yüzey Pürüzlülüğü	34
1.3.5 Mikro Sertlik.....	37
1.3.6. Yapay Sinir Ağları.....	38
1.3.6.1 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı	38
1.3.6.2 Doğrusal ve Doyumlu - Doğrusal (Purelin) Aktivasyon Fonksiyonu	44
1.3.6.3 Sigmoid (Tansig) Aktivasyon Fonksiyonu.....	44
1.3.6.4 Logsig Aktivasyon Fonksiyonu	45
1.3.6.5 Eşik Aktivasyon Fonksiyonu	46
2. MATERYAL VE YÖNTEM	53
2.1 Deney Malzemesi	53
2.2 Deney Parametreleri	54
2.3 Deneylerin Yapılması	58
2.4 Çapak Yüksekliklerinin ve Kalınlıklarının Ölçümleri.....	60
2.5 Mikrosertlik Ölçümleri	65
2.6 Pürüzlülük Ölçümleri.....	66

2.7	YSA Modelinin Oluşturulması	66
3.	DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	68
3.1	Mikrosertlik Ölçümüne Ait Bulgular	68
3.1.1	Devir Sayısının Mikrosertlik Üzerine Etkisi	69
3.1.2	İlerlemenin Mikrosertlik Üzerine Etkisi	74
3.1.3	Uç Açısının Mikrosertlik Üzerine Etkisi	79
3.2	Delik Pürüzlülük Ölçümüne Ait Bulgular	83
3.2.1	Devir Sayısının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi	84
3.2.2	İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi	93
3.2.3	Uç Açısının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi	97
3.3	Çapak Yüksekliklerine Ait Bulgular	100
3.3.1	Devir Sayısının Çapak Yüksekliği Üzerine Etkisi	101
3.3.2	İlerlemenin Çapak Yüksekliği Üzerine Etkisi	107
3.3.3	Uç Açısının Çapak Yüksekliği Üzerine Etkisi	113
3.4	Çapak Kalınlıklarına Ait Bulgular	118
3.4.1	Devir Sayısının Çapak Kalınlığı Üzerine Etkisi	120
3.4.2	İlerlemenin Çapak Kalınlığı Üzerine Etkisi	132
3.4.3	Uç Açısının Çapak Kalınlığı Üzerine Etkisi	142
3.5	Delme Parametrelerinin Çapak Şekli Üzerine Etkisi	151
3.5.1	Devir Sayısının Çapak Şekli Üzerine Etkisi	152
3.5.2	İlerlemenin Çapak Şekli Üzerine Etkisi	157
3.5.3	Uç Açısının Çapak Şekli Üzerine Etkisi	162
3.6	Geliştirilen YSA Model ile Çapak Boyutlarının Tahmini	163
3.7	Kararsız Delme Yöntemine Göre Çapak Oluşumlarının İncelenmesi	177
3.7.1	Yöntemin Uygulanması	177
3.7.2	Kararsız Delme Deney Sonuçları ve Tartışma	177
4.	GENEL SONUÇLAR	194
5.	ÖNERİLER	197
KAYNAKLAR	198	
ÖZGEÇMİŞ	206	

ÖZET

Bu çalışmada, Al-5005 malzemesi kuru kesme şartlarında CNC freze tezgâhında delme deneylerine tabi tutuldu. Deneyler, HSS matkap uçları (5 ve 10 mm çapında), devir sayıları (400, 800, 1200 dev/dak), ilerleme (0.1, 0.2, 0.3 mm/dev) ve uç açıları (90°, 118°, 130°, 140 °) kullanılarak yapıldı. Deneyler sonucu deliğin mikrosertlik, pürüzlülük, delik çıkışında oluşan çapakların yükseklik, kalınlık ve şekilleri incelendi.

Deney sonuçlarına göre genel olarak matkap çapı, ilerleme ve devir sayısı arttıkça çapak boyutlarının arttığı, uç açısının artmasına ile de çapak boyutlarının azaldığı tespit edildi. Yine delinen yüzeye yakın mesafelerde ölçülen mikrosertlik değerlerinin yüksek, uzak mesafelerde ise az olduğu görüldü. Ayrıca mikrosertlik değerleri arttıkça çapak boyutlarının arttığı da tespit edildi. Yüzey pürüzlülüğünün, ilerleme ve matkap çapının artmasına bağlı olarak arttığı, devir sayısının ve matkap uç açısının artmasına bağlı olarak da azaldığı ölçüldü. Devir sayısına bağlı olarak ölçülen pürüzlülük değerlerinin çapak boyutları üzerinde etkili olmadığı, ancak diğer parametrelere bağlı olarak ölçülen pürüzlülük değerlerinin çapak boyutlarını etkilediği görüldü. Genel olarak, uç açısının 130° ve 140° olması durumunda üniform çapak şekli oluşurken, uç açısının 90° ve 118° olması durumunda ise taç, yarı sürekli ve üniform çapak şekillerinin olduğu görüldü. Uç açısının 130° ve 140° olması durumunda diğer delme parametrelerinin çapak şeklinde etkili olmadığı, 90° ve 118° olması durumunda ise etkili olduğu görüldü. Tüm bunlarla beraber, çapak boyutlarını matematiksel olarak modellemek için deney şartları dikkate alınarak bir yapay sinir ağı (YSA) modeli oluşturuldu. Bu model deney sonuçlarına göre eğitildi ve test edildi. Test sonuçlarına göre modelin çapak yüksekliğinde % 94, çapak kalınlığında ise % 96 hassasiyetle gerçek değerlere çok yakın sonuçlar verdiği görüldü.

Bu çalışmada ek olarak, delik çıkış bölgesinde oluşan çapakların boyutlarını azaltmak için kararsız delme yöntemi olarak tanımlanan yeni bir yöntem de sunuldu. Bu yeni yöntemde, CNC freze tezgâhının kontrol özelliklerinden faydalanarak delik boyunca sabit olmayan delme parametreleri oluşturuldu ve buna göre yeni deneyler tasarlandı. Deneylerde yukarıda bahsedilen kararlı delme deneyleri sonuçlarına göre en küçük çapak boyutlarının elde edildiği 140°'lik matkap uçları kullanıldı. Kararsız delme şartları, kararlı delme deney sonuçlarına göre uç açısından sonra en etkin parametre olan ilerleme değerinin, delik çıkışına yakın bir

mesafede, otomatik olarak azaltılmasıyla gerçekleştirildi ve buna göre apak boyutlarındaki değişimler incelendi. Kararsız delme deneylerinin sonuçlarına göre, yaklaşık olarak apak yüksekliklerinde % 25, apak kalınlıklarında ise % 35'e varan bir azalmanın olduğu görüldü.

Anahtar Kelimeler: Al-5005, delme işlemi, apak oluşumu, apak boyutları, YSA model, kararsız delme yöntemi

SUMMARY

INVESTIGATION OF CUTTING PARAMETERS AFFECTING BURR FORMATION IN DRILLING OF AL-5005 MATERIAL

In this study, Al-5005 material was subjected to drilling experiments using CNC milling machine under dry cutting conditions. The experiments, using HSS drills (5 and 10 mm diameter), spindle speeds (400, 800 and 1200 rev/min), feed rates (0.1, 0.2 and 0.3 mm/rev) and drill point angles (90°, 118°, 130° and 140°), were achieved. After the experiments, hole's microhardness, roughness, the types of burr formed at the hole exit, height and thickness were analyzed.

According to the experimental results, generally, the burr sizes were increased with the increase in drill diameter, feed rate and spindle speed, and decreased with the increase in drill point angle. Also, it was observed that the microhardness values measured in the neighborhood of the drilled surface were high while those measured in distant regions were low. Furthermore, it was found that the more increase in the microhardness values the more increased in burr sizes. In accordance with the increase in drill feed rate and diameter an increase, and with the increase in spindle speed and drill point angle a decrease in surface roughness was measured. It was found that, the roughness values measured with respect to the spindle speed were not effective, but the other parameters were effective on burr sizes. In general, for point angles 130° and 140° uniform burr types, but for 90° and 118° beside uniform, crown and transient burr types were observed. The other drilling parameters were not effective for point angles 130° and 140°, while being effective for point angles 90° and 118°. Considering these results, in order to mathematically model the burr sizes at the exit of the hole, an artificial neural network (ANN) model was constructed. This ANN was trained and tested in accordance with the experimental data. The model successfully demonstrated the simulation of the experiment with a sensitivity of 94% and 96% for burr height and thickness respectively.

In addition, in this study, to reduce the size of burrs in the exit region of the hole, a new method called as “unstable drilling” was introduced. With this new method, benefiting from the

features of CNC milling machine, unstable drilling parameters along the hole were formed and, according to this, new experiments were designed. In the experiments, 140° point angle drills, by which the smallest burr sizes were obtained through the stable drilling experiments mentioned above, were used. The unstable drilling conditions were achieved by automatically reducing the feed rate, which is the most effective parameter other than point angle according to the stable experiment's results, as the drill comes nearby the hole exit, and according to this the changes in burr sizes were analyzed. Based on the results obtained from unstable method a reduction of 25% in burr heights and 35% in burr thickness was found.

Keywords: Al-5005, drilling process, burr formation, burr size, ANN model, unstable drilling method

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Tornalamada çapak oluşumunun deneysel ve teorik olarak karşılaştırılması	3
Şekil 1.2.	Paslanmaz çelik malzemede delik girişinde mikro çapak oluşumu	4
Şekil 1.3.	f_v/R oranının işleme üzerine etkisi	4
Şekil 1.4.	Çok tabakalı yapay sinir ağı	5
Şekil 1.5.	Matkap üzerine yerleştirilmiş çapak temizleme bıçağı	5
Şekil 1.6.	Delme işlemleri sonucu oluşan çapakların sınıflandırılması	6
Şekil 1.7.	Kademeli matkap ile delme işleminde çapak oluşumu	7
Şekil 1.8.	Geleneksel matkap ile kademeli matkapta oluşan çapakların karşılaştırılması	8
Şekil 1.9.	Matkap ucu ve çıkış yüzeyi arasındaki ilişki	9
Şekil 1.10.	Çapak oluşmasına neden olan temel etkenler ve bunlara bağlı parametreler	10
Şekil 1.11.	Helisel matkabın yapısı	25
Şekil 1.12.	Matkabın kesme ucu	26
Şekil 1.13.	Matkap ile delik delme	27
Şekil 1.14.	Matkapla delmede kesme kuvvetleri	28
Şekil 1.15.	Çapak yüksekliği ve kalınlığı	30
Şekil 1.16.	AISI 4118 malzemenin delinmesi sonrası oluşan çapak tiplerinin sınıflandırılması	32
Şekil 1.17.	Çapak oluşumunun aşamaları a) Uniform çapak oluşumu b) Taç çapak oluşumu	33
Şekil 1.18.	Pürüzlülük aritmetik ortalamasının tanımlanması	36
Şekil 1.19.	On nokta yükseklik parametresinin tanımlanması	37
Şekil 1.20.	Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi	39
Şekil 1.21.	Biyolojik sinir hücresi ve bileşenleri	40
Şekil 1.22.	YSA öğrenme blok diyagramı	42
Şekil 1.23.	Yapay hücre modeli	43
Şekil 1.24.	Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonu	44
Şekil 1.25.	Sigmoid (Tanh) aktivasyon fonksiyonu	45
Şekil 1.26.	Logaritmik Sigmoid fonksiyonu giriş-çıkış eğrisi	46
Şekil 1.27.	Eşik aktivasyon fonksiyonu	47
Şekil 1.28.	Eğitici öğrenme yöntemi	48
Şekil 1.29.	Eğitici öğrenme yöntemi	49
Şekil 1.30.	Takviyeli öğrenme yöntemi	49
Şekil 2.1.	Deney numunesinin dik işleme merkezli CNC freze tezgahına bağlanması	58

Şekil 2.2.	Deneylerde kullanılan matkap uçları	58
Şekil 2.3.	Deney numunelerinin boyutları ve delikler arası mesafeler.....	60
Şekil 2.4.	Leo Evo 40 Taramalı Elektron Mikroskop	61
Şekil 2.5.	Leica MZ 7.5 mikroskop.....	61
Şekil 2.6.	Çapak yüksekliklerinin kesit görünüşü ve ölçümleri	62
Şekil 2.7.	Çapak kalınlıklarının perspektif görünüşü ve ölçümleri	62
Şekil 2.8.	Çapak yüksekliklerinin ölçümleri	63
Şekil 2.9.	Çapak kalınlıklarının ölçümleri.....	64
Şekil 2.10.	Malzemenin mikroskobik incelemeye uygun hale gelmesi.....	65
Şekil 2.11.	Mikrosertlik ölçüm mesafeleri	66
Şekil 2.12.	Çapak yüksekliği ve kalınlığı için kalınlığı için oluşturulan YSA modelin yapısı	67
Şekil 3.1.	0.1 mm/dev için mikrosertliklerin devir sayısına göre değişimleri	71
Şekil 3.2.	0.2 mm/dev için mikrosertliklerin devir sayısına göre değişimleri	72
Şekil 3.3.	0.3 mm/dev için mikrosertliklerin devir sayısına göre değişimleri	73
Şekil 3.4.	Matkap uç açısı 90° için mikrosertliklerin ilerlemeye göre değişimleri	75
Şekil 3.5.	Matkap uç açısı 118° için mikrosertliklerin ilerlemeye göre değişimleri	76
Şekil 3.6.	Matkap uç açısı 130° için mikrosertliklerin ilerlemeye göre değişimleri	77
Şekil 3.7.	Matkap uç açısı 140° için mikrosertliklerin ilerlemeye göre değişimleri	78
Şekil 3.8.	400 dev/dak için mikrosertliklerin uç açısına göre değişimleri	80
Şekil 3.9.	800 dev/dak için mikrosertliklerin uç açısına göre değişimleri	81
Şekil 3.10.	1200 dev/dak için mikrosertliklerin uç açısına göre değişimleri	82
Şekil 3.11.	Pürüzlülüklerin devir sayısına göre değişimleri.....	85
Şekil 3.12.	Kesici ağızlarda BUE oluşumlarının SEM görüntüleri (0.2 mm/dev-118° - Ø5 mm)	87
Şekil 3.13.	Kesici ağızlarda BUE oluşumlarının SEM görüntüleri (0.1 mm/dev-118° - Ø10 mm)	88
Şekil 3.14.	Kesme kenarlarında oluşan aşınmaların SEM görüntüleri.....	90
Şekil 3.15.	Kesme kenarlarında oluşan küçük kırılmaların SEM görüntüleri.....	91
Şekil 3.16.	Helisel kanallara yapışan talaşın SEM görüntüleri	93
Şekil 3.17.	Pürüzlülüğün ilerlemeye göre değişimleri	94
Şekil 3.18.	Kesici takımında sıvanmanın SEM görüntüleri	96
Şekil 3.19.	Pürüzlülüğün uç açısına göre değişimleri	97
Şekil 3.20.	Kesici ağızlarda talaş yığılmasının SEM görüntüsü	99
Şekil 3.21.	Çapak yüksekliklerinin devir sayısına göre değişimleri	101
Şekil 3.22.	Ø5 mm, 90° ve 0.1 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	103
Şekil 3.23.	Ø5 mm, 118° ve 0.3 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	103

Şekil 3.24. Ø5 mm, 130° ve 0.1 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	104
Şekil 3.25. Ø5 mm, 140° ve 0.2 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	104
Şekil 3.26. Ø10 mm, 90° ve 0.3 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	105
Şekil 3.27. Ø10 mm, 118° ve 0.2 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	105
Şekil 3.28. Ø10 mm, 130° ve 0.2 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	106
Şekil 3.29. Ø10 mm, 140° ve 0.2 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	106
Şekil 3.30. Çapak yüksekliğinin devir başına ilerlemeye göre değişimleri	108
Şekil 3.31. Ø5 mm, 90° ve 800 dev/dak için e çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	109
Şekil 3.32. Ø5 mm, 118° ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	109
Şekil 3.33. Ø5 mm, 130° ve 1200 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	110
Şekil 3.34. Ø5 mm, 140° ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	110
Şekil 3.35. Ø10 mm, 90° ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	111
Şekil 3.36. Ø10 mm, 118° ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	111
Şekil 3.37. Ø10 mm, 130° ve 1200 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	112
Şekil 3.38. Ø10 mm, 140° ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	112
Şekil 3.39. Çapak yüksekliklerinin matkap uç açısına göre değişimleri.....	113
Şekil 3.40. Ø5 mm, 0.2 mm/dev ve 400 dev/dak' a için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	115
Şekil 3.41. Ø5 mm, 0.2 mm/dev ve 800 dev/dak' a için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	115
Şekil 3.42. Ø5 mm, 0.3mm/dev ve 1200 dev/dak' a için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	117

Şekil 3.43. Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 400 dev/dak' a için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	117
Şekil 3.44. Ø10 mm, 0.2 mm/dev ve 800 dev/dak' a için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	118
Şekil 3.45. Ø10 mm, 0.2 mm/dev ve 1200 dev/dak' a için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri	118
Şekil 3.46. Çapak kalınlıklarının devir sayısına göre değişimleri.....	121
Şekil 3.47. Ø5 mm, 90° ve 0.1 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri.....	122
Şekil 3.48. Ø5 mm, 118° ve 0.1 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri.....	123
Şekil 3.49. Ø5 mm, 130° ve 0.2 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri.....	124
Şekil 3.50. Ø5 mm, 140° ve 0.2 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri.....	125
Şekil 3.51. Ø10 mm, 90° ve 0.2 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri.....	126
Şekil 3.52. Ø10 mm, 118° ve 0.2 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri.....	127
Şekil 3.53. Ø10 mm, 130° ve 0.2 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri.....	128
Şekil 3.54. Ø10 mm, 140° ve 0.2 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri.....	129
Şekil 3.55. Matkap uçlarında BUE oluşumlarının SEM görüntüleri.....	130
Şekil 3.56. Matkap uçlarında meydana gelen aşınmaların SEM görüntüleri	131
Şekil 3.57. Çapak kalınlıklarının devir başına ilerlemeye göre değişimleri.....	133
Şekil 3.58. Ø5 mm, 90° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	134
Şekil 3.59. Ø5 mm, 118° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	135
Şekil 3.60. Ø5 mm, 130° ve 800dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	136
Şekil 3.61. Ø5 mm, 140° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	137
Şekil 3.62. Ø10 mm, 90° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	138
Şekil 3.63. Ø10 mm, 118° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	139
Şekil 3.64. Ø10 mm, 130° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	140
Şekil 3.65. Ø10 mm, 140° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	141
Şekil 3.66. Çapak kalınlıklarının matkap uç açısına göre değişimleri	142
Şekil 3.67. Ø5 mm, 0.1 mm/dev ve 400 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	144
Şekil 3.68. Ø5 mm, 0.2 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	146
Şekil 3.69. Ø5 mm, 0.3 mm/dev ve 1200 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	147
Şekil 3.70. Ø5 mm, 0.1 mm/dev ve 400 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	148
Şekil 3.71. Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	150
Şekil 3.72. Ø10 mm, 0.3 mm/dev ve 1200 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri	151
Şekil 3.73. Ø5 mm, 0.3 mm/dev ve 90° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri	153
Şekil 3.74. Ø5 mm, 0.1 mm/dev ve 118° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri	153
Şekil 3.75. Ø5 mm, 0.1 mm/dev ve 130° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri	154
Şekil 3.76. Ø5 mm, 0.1 mm/dev ve 140° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri	154

Şekil 3.77.	Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 90° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri	155
Şekil 3.78.	Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 118° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri	155
Şekil 3.79.	Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 130° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri.....	156
Şekil 3.80.	Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 140° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri	156
Şekil 3.81.	Ø5 mm, 800 dev/dak ve 90° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri.....	158
Şekil 3.82.	Ø5 mm, 800 dev/dak ve 118° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri.....	158
Şekil 3.83.	Ø5 mm, 800 dev/dak ve 130° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri.....	159
Şekil 3.84.	Ø5 mm, 800 dev/dak ve 140° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri.....	159
Şekil 3.85.	Ø10 mm, 1200 dev/dak ve 90° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri.....	160
Şekil 3.86.	Ø10 mm, 1200 dev/dak ve 118° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri.....	160
Şekil 3.87.	Ø10 mm, 400 dev/dak ve 130° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri.....	161
Şekil 3.88.	Ø10 mm 400 dev/dak ve 140° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri.....	161
Şekil 3.89.	Ø5 mm, 0.1 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak şekillerinin SEM görüntüleri	162
Şekil 3.90.	Ø5 mm, 0.2 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak şekillerinin SEM görüntüleri	163
Şekil 3.91.	Ø5 mm, 0.3 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak şekillerinin SEM görüntüleri	163
Şekil 3.92.	Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak şekillerinin SEM görüntüleri	163
Şekil 3.93.	Ø10 mm, 0.2 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak şekillerinin SEM görüntüleri	164
Şekil 3.94.	Ø10 mm, 0.3 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak şekillerinin SEM görüntüleri	164
Şekil 3.95.	Çapak yüksekliği ve kalınlığı için kullanılan YSA modelin yapısı	165
Şekil 3.96.	Çapak yüksekliği için iterasyon sayısına göre hatanın değişimi	168
Şekil 3.97.	Çapak yükseklikleri için deney verileri ile YSA modelin eğitilmesi	169
Şekil 3.98.	Çapak yüksekliği için deney ve YSA sonuçlarının test edilmesi.....	169
Şekil 3.99.	Çapak yüksekliği için iterasyon sayısına göre hatanın değişimi	173
Şekil 3.100.	Çapak kalınlığı için deney verileri ile YSA modelin eğitilmesi	174
Şekil 3.101.	Çapak kalınlığı için deney ve YSA sonuçlarının test edilmesi	174
Şekil 3.102.	Kararsız delme parametrelerinin oluşturulduğu deformasyon bölgesi ve mesafesi.....	176
Şekil 3.103.	Kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre çapak yüksekliklerinin değişimleri.....	178
Şekil 3.104.	Ø5 mm, 400 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak yüksekliklerinin değişimleri	179
Şekil 3.105.	Ø5 mm, 800 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak yüksekliklerinin değişimleri.....	180
Şekil 3.106.	Ø5 mm, 1200 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak yüksekliklerinin değişimleri.....	181
Şekil 3.107.	Ø10 mm, 400 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak yüksekliklerinin değişimleri.....	182
Şekil 3.108.	Ø10 mm, 800 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak yüksekliklerinin değişimleri.....	183
Şekil 3.109.	Ø10 mm, 1200 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak yüksekliklerinin değişimleri.....	184

Şekil 3.110. Kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre çapak kalınlıklarının değişimleri	186
Şekil 3.111. Ø5 mm, 400 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak kalınlıklarının değişimleri	187
Şekil 3.112. Ø5 mm, 800 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak kalınlıklarının değişimleri	188
Şekil 3.113. Ø5 mm, 1200 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak kalınlıklarının değişimleri	189
Şekil 3.114. Ø10 mm, 400 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak kalınlıklarının değişimleri	190
Şekil 3.115. Ø10 mm, 800 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak kalınlıklarının değişimleri	191
Şekil 3.116. Ø10 mm, 1200 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak kalınlıklarının değişimleri	192

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Saf alüminyumun kimyasal ve fiziksel özellikleri	17
Tablo 1.2 Alüminyumun mukavemet özellikleri	18
Tablo 1.3. Saf Alüminyumunu oluşturan bileşenler.....	18
Tablo 2.1. Al-5005 alaşımının kimyasal bileşimi	53
Tablo 2.2. Al-5005 alaşımının teknik özellikleri	54
Tablo 2.3. Deneylerde kullanılan parametreler.....	55
Tablo 2.4. Al-5005 alaşımlı malzemenin delme parametreleri	55
Tablo 2.5. TMC 700 V tipi CNC freze tezgahın teknik özellikleri.....	59
Tablo 3.1. Ölçülen ortalama mikrosertlik değerleri	68
Tablo 3.2. Delik yüzeylerinden ölçülen ortalama pürüzlülük değerleri.....	83
Tablo 3.3. Çapak yüksekliğine ait bulgular.....	100
Tablo 3.4. Çapak kalınlığına ait bulgular	119
Tablo 3.5. Deneysel ve geliştirilen YSA modele göre çapak yüksekliğine ait bulgular	166
Tablo 3.6. Deneysel ve geliştirilen YSA modele göre çapak kalınlığına ait bulgular	170
Tablo 3.7. Kararlı ve kararsız delme parametrelerine göre çapak yüksekliğine ait bulgular	177
Tablo 3.8. Kararlı ve kararsız delme parametrelerine göre çapak kalınlığına ait bulgular	185

SEMBOLLER LİSTESİ

KISALTMALAR

ANSI	: Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
CBN	: Kübik Bor Nitrür
CCD	: Hassas Görüntü Algılayıcı (Charged Couple Device)
CLA	: Merkez Ortalama Çizgisi
CMM	: Koordinat Ölçüm Makinesi
CNC	: Bilgisayarlı Sayısal Denetim (Computer Numerical Control)
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü (Deutsches Institut für Normung)
HB	: Brinell Sertliği
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
HV	: Vickers Sertliği
ISO	: Uluslararası Standart Organizasyonu
KDM	: Kararsız Delme Mesafesi
RTFA	: Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları
SEM	: Taramalı Electron Microscope (Scanning Electron Microscope)
VLSI	: Büyük Ölçekli Entegre Devre
YSA	: Yapay Sinir Ağı

SEMBOLLER LİSTESİ

$f'()$: Katmanlar arası sigmoid aktivasyon fonksiyonunun türevi
$f()$: Sigmoid aktivasyon fonksiyonu
$\mu(\mathbf{x})$: Kümeye aitlik, “üyelik fonksiyonu”
$\varphi(.)$: Hücrenin aktivasyon fonksiyonunu
ΔW	: Ağırlıklara uygulanacak düzeltme miktarı
Å	: Angstrom
A_s	: Toplam talaş kesiti (mm^2)
d	: Matkap çapı (mm)
F_d	: Kesme kuvveti (kp)
F_i	: İlerleme kuvveti (kp)
F_r	: Radyal kuvvet (kp)
H, h	: Çapak yüksekliği (μm)
k	: Talaş genişliği (mm)
k_s	: Özgül kesme kuvveti (N/mm^2)
L	: Matkap uzunluğu (mm)
M	: Çıkış katmanı neuron sayısı
M_s	: Kesme momenti (kp.mm)
n	: Devir Sayısı (dev/dak)

\emptyset	: Çap sembolü
O_k	: Çıkış katmanın aktivasyon değeri
r	: Kesici ağzın uç radyüsü (mm)
R_a	: Aritmetik ortalama sapma
R_t	: Tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı (μm)
R_z	: 5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalaması (μm)
s	: Devir başına ilerleme (mm/dev)
t	: Delme süresi (sn)
t_k	: Hedef değer toplamı
U	: İlerleme miktarı (mm/dak)
V	: Kesme hızı (m/dak)
v	: Hücrenin net girişi
w	: Çapak kalınlığı (μm)
W	: Hücrenin ağırlıklar matrisi
W_{ij}	: Giriş ve saklı katman arasında ağırlıklı bağlantı
W_{jk}	: Saklı katman – çıkış katmanı arasında ağırlıklı bağlantı
x	: Hücrenin giriş vektörü
x_1, x_2	: Giriş değişkenleri
y	: Hücre çıkışını yenileme
z	: Matkap ucundaki ağız sayısı
α	: Matkap uç açısı (derece)
β	: Delme eksenini ile çıkış yüzeyi arasında kalan açı
δ_k, δ_j	: Çıkış ve saklı katman için hata terimi

1. GİRİŞ

Alüminyum, havacılık, denizcilik ve otomotiv gibi pek çok endüstriyel alanda demir ve çelikle birlikte yaygın olarak kullanılan metallere biridir. Alüminyumun bu kadar yaygın kullanılmasının en önemli nedenleri; ağırlıkça hafif olmasının yanında alaşımları, yapı çeliklerinden daha fazla mukavemete, elektriksel ve ısı iletkenliğine ve yüksek ışık yansıtma özelliklerine sahip olmasıdır. Bu üstün özellikleri nedeniyle alüminyumun, mühendislik malzemesi olarak kullanımı, pek çok teknolojik alanda giderek artan bir öneme sahiptir [1]. Bu yaygın kullanımına karşın alüminyum ve alaşımlarının delinmesi ile ilgili olarak takım aşınması, çapak oluşumu ve yüzey pürüzlülüğü gibi birçok problem vardır.

Ultrasonik, kimyasal, aşındırıcı jet ile işleme ve lazer kesme gibi modern imalat yöntemleri üretim endüstrisinde geniş uygulama sahasına sahip olmasına rağmen, matkap ile delik delme ekonomik ve basit oluşu sebebiyle günümüzde kullanılan en yaygın imalat yöntemlerinden biridir [2]. Bu nedenle, uzay sanayisinden otomotiv sanayisine kadar birçok alanda makine parçalarının istenilen toleransta delinmesi oldukça önemlidir. Delme işleminde kesici takımın ömrü, işlenen malzemenin yüzey ve mikro yapı özellikleri elde edilen ürünün kalitesini ve maliyetini belirleyen en önemli faktörlerdendir. Bir iş parçasının işlenebilir kabiliyeti ve etkinliği; iş parçasının malzemesi, işleme yöntemi, takım ve kesme parametreleri gibi birçok faktöre bağlıdır. Dolayısıyla, işlenen yüzey kalitesini iyileştirmek için bu parametrelerin optimum düzeyde seçilmesi gerekir.

Delme işlemi sonrası, plastik şekil değiştirme sonucu deliklerin hem girişinde hem de çıkış bölgelerinde çapak meydana gelmektedir. Çıkış çapaklarının giriş çapaklarına göre boyutlarının daha büyük olması parçanın kalitesini daha fazla etkilemektedir. Delme işlemi sonrası meydana gelen çapak deliğinin hassasiyetini, kalitesini, keskin olduklarından yaralanmalara sebep olabilmesi ve montajı zorlaştırmasından dolayı çapakların parçadan uzaklaştırılması oldukça önemlidir. Çapak temizleme işlemleri genellikle el veya ince işleme takımları kullanılarak gerçekleştirildiği için zaman israfına ve parçanın zarar görmesi gibi olumsuzluklara neden olmaktadır. Çapak temizleme maliyeti çapağın şekli ve boyutu, deliğinin hassasiyeti ve parçanın karmaşıklığına bağlı olarak artmaktadır. Özellikle bu durumun seri imalat yapan merkezlerde daha büyük maliyetlere yol açmasından dolayı çapakların önlenmesi veya minimize edilmesi oldukça önemlidir. Bunun için en iyi

yöntemlerden biri, çapak oluşumunda daha çok etkili olan delme parametrelerinin optimum olarak belirlenmesidir.

Böyle bir çalışmanın daha sağlam bir zemine oturtulabilmesi ve daha iyi anlaşılabilmesi için, bu konuyla ilgili literatür araştırması, alüminyum ve alaşımları, delme işleminde çapak yüksekliği, kalınlığı ve çapak boyutları için model oluşturma gibi kavramların bilinmesi gerekir. Bu çalışmada tüm bu kavramlar sırasıyla aşağıdaki bölümlerde sunuldu.

1.1. Konuyla İlgili Literatür Araştırması

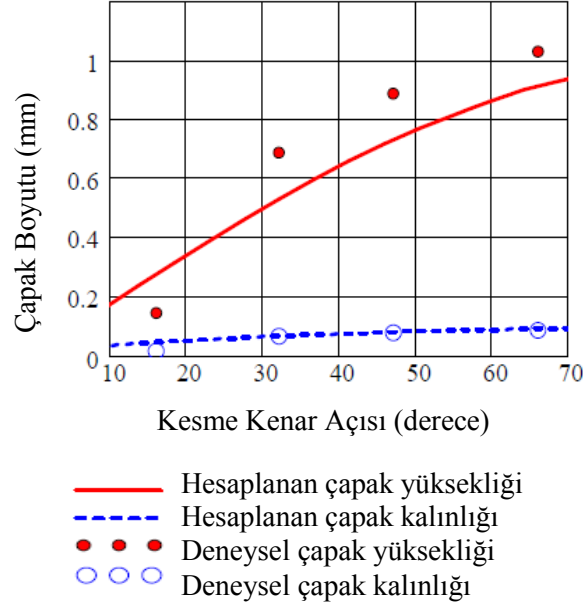
Alüminyum alaşımları temel bir mühendislik malzemesi olarak uzay, havacılık ve otomotiv gibi endüstriyel alanlarda yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Bu malzemeler endüstride kullanılırken bazı imalat aşamalarından geçmektedir. Alüminyum alaşımlarına en çok uygulanan imalat yöntemi delme işlemidir [3]. Alüminyum malzemelerin delinmesi sonucu meydana gelen çapak oluşumu ve oluşan çapakların minimum seviyeye indirilmesi gün geçtikçe önem kazanan bir problemdir. Bu problemi ortadan kaldırmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Delme işlemlerinde meydana gelen çapak mühendislik uygulamalarında çeşitli problemlere neden olmakta ve malzemenin yüzey kalitesini düşürerek çapak temizleme gibi ek maliyetlere yol açmaktadır. Çapak temizleme işlemi otomasyonel olarak henüz yeteri kadar gelişmediğinden delmede çapak oluşumunu ve belirleyici parametrelerini iyi bir şekilde anlayabilmek, çapak boyutunu daha üretim aşamasındayken kontrol edebilmek açısından oldukça önemlidir [4].

Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde; Toropov ve Ko [5], çeşitli endüstriyel malzemelerin tornalanmasında, sürekli ve süreksiz çapak oluşum modellerini esas alarak, çapak kalınlığını ve yüksekliğini yaklaşık olarak belirlemek amacıyla bir simülasyon programı geliştirmişlerdir. Bu simülasyon programı, çapak kalınlığında gerçek değerlere çok yakın sonuçlar verirken, çapak yüksekliğinde ise %30'luk bir hata ile çapak oluşumunu simüle etmiştir (Şekil 1.1).

Stein ve Dornfeld [6], 304L paslanmaz çelik malzemesi için, çapı 1 mm'den küçük olan deliklerin delinmesinde kesme hızı, devir başına ilerleme ve takım aşınmasının çıkış çapaklarının oluşumuna ve geometrik boyutlarına etkilerini araştırmışlardır. Buna göre, bu parametrelerin artmasıyla çapak şeklinin değiştiği ve boyutunun arttığı, ayrıca 12 µm'den

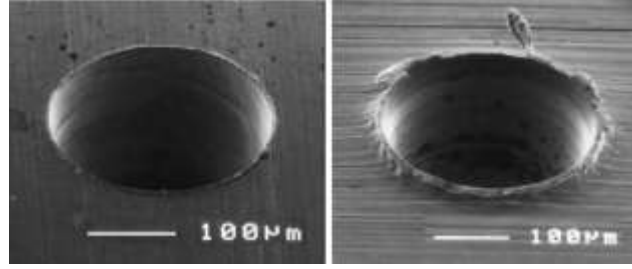
büyük çapa sahip paslanmaz çelik malzemelerde, çapak yüksekliği ile çapak kalınlığı arasında yaklaşık olarak 6 katlık bir oran olduğu gözlemlenmiştir.



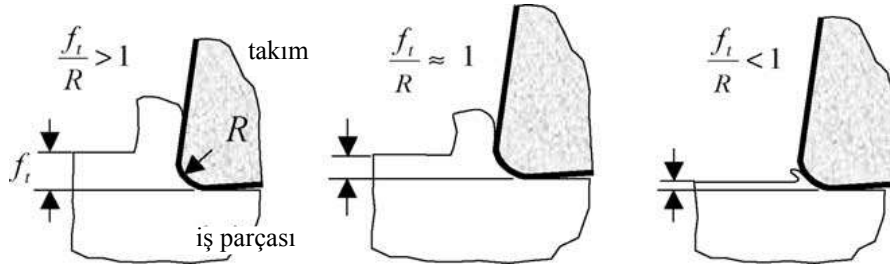
Şekil 1.1. Tornalamada çapak oluşumunun deneysel ve teorik olarak karşılaştırılması [5]

Tosun [7], yaptığı çalışmada gri ilişkili analiz (Grey Relational Analysis) yöntemini kullanarak 10 mm kalınlığında, AISI 4140 (DIN 42CrMo4) çelik malzemesinin yüzey pürüzlülüğüne ve çapak yüksekliğine etki eden delme parametrelerini farklı matkap malzemelerini, kesme hızlarını, matkap uç açılarını ve devir başına ilerlemelerini göz önüne alarak optimize etmiştir. Çalışmada, yüzey pürüzlülüğüne ve çapak yüksekliğine etki eden parametrelerin önem sırasına göre matkap malzemesi, kesme hızı, devir başına ilerleme ve matkap uç açısı şeklinde olduğu gözlemlenmiştir.

Lee ve Dornfeld [8], 304 paslanmaz çelik malzemeyi delmek amacıyla tungsten-karbür parmak freze çakıları kullanmış ve deliğin üst kısmında oluşan mikro çapakların boyutunu ve tipini, kesme hızı, devir başına ilerleme (f_t) ve kesici ağzın uç radyüsü (r) gibi parametreler açısından incelemişlerdir (Şekil 1.2). Çalışma sonucunda, kesme hızı ve devir başına ilerlemeye bağlı olarak bir model sunulmuş, çapak yüksekliğinin takım aşınması ve devir başına ilerleme ile doğru orantılı olduğu, $f_t/R < 1$ durumunda kesme hızı arttıkça takım ömrünün arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 1.3).

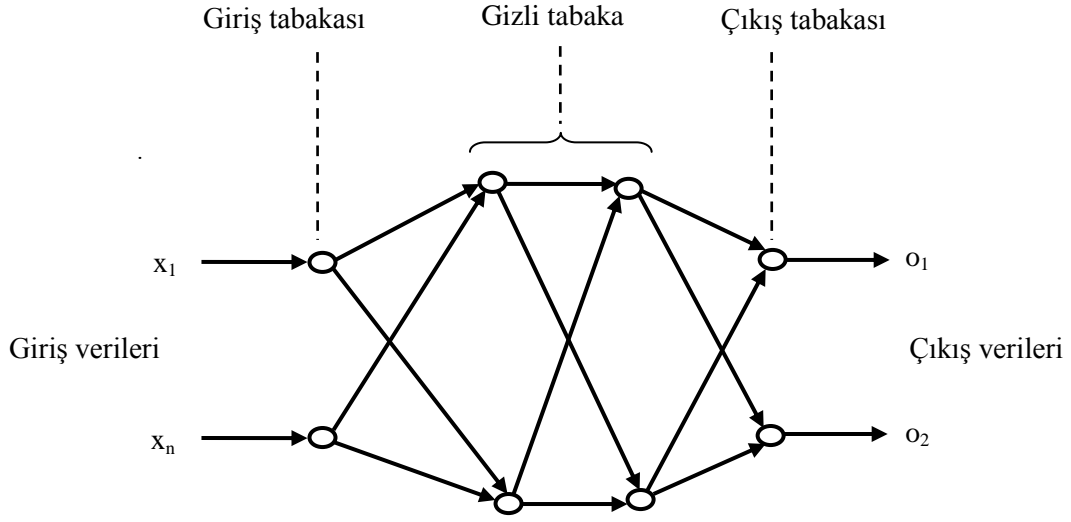


Şekil 1.2. Paslanmaz çelik malzemede delik girişinde mikro çapak oluşumu [8]



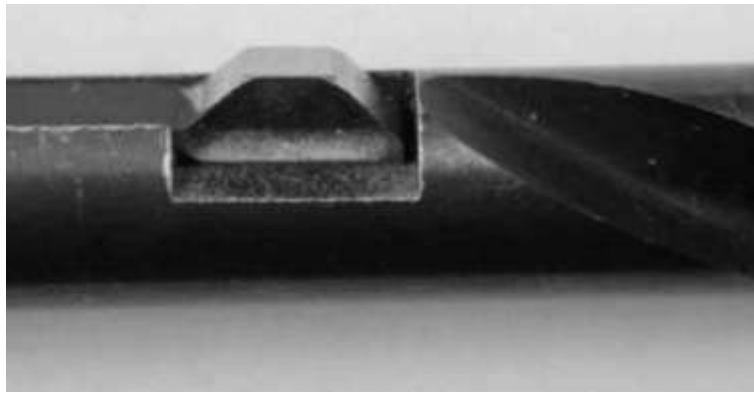
Şekil 1.3. f_t/R oranının işleme üzerine etkisi [8]

Gaitonde vd. [9], yaptıkları çalışmada, deney sonuçlarına dayanan bir matris kullanarak delme işleminde oluşan çapak boyutunu modellemişler ve non-lineer davranış gösteren çapak oluşum mekanizmalarını YSA yaklaşımı kullanarak analiz etmişlerdir. Bu amaçla geri beslemeli algoritma kullanılarak eğitilmiş çok tabakalı bir YSA modeli geliştirilmiştir (Şekil 1.4). Araştırmada çapak boyutunu minimize etmek amacıyla çok nesneli problemlerin çözümünde etkili olan ve tabii seçime dayanan genetik algoritma yöntemi kullanılmış ve bu yöntem baz alınarak ilgili YSA modelleri oluşturulmuştur. Buna göre kesme hızı, devir başına ilerleme, matkap çapı, matkap uç açısı ve boşluk açısı gibi parametrelerin çapak boyutu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Matkap uç açısı büyüdükçe ve boşluk açısı küçüldükçe, matkabin değişken hız ve devir başına ilerleme değerlerinde çapak oluşumunun minimum boyutlara indiği gözlemlenmiştir. Delme işlemlerinin optimizasyonu ve modellenmesinde genetik algoritma ve YSA'nın verimli olduğu ortaya konulmuştur.



Şekil 1.4. Çok tabakalı yapay sinir ağı [9]

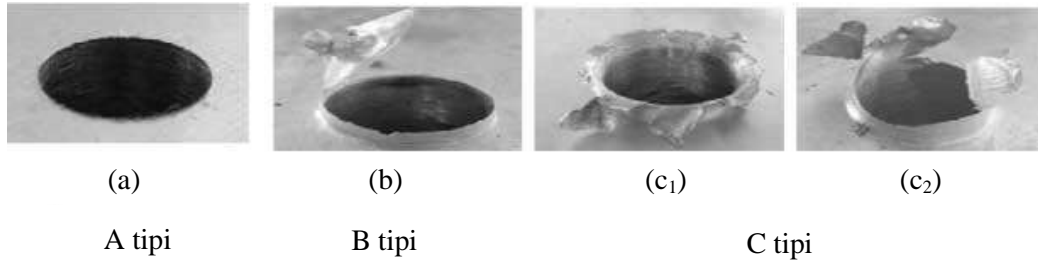
Kim vd. [10], delme ve dış çapak temizleme işleminin bir arada daha rahat yapılabilmesi amacıyla, matkap ucuna entegre edilmiş çıkarılabilir çapak temizleyiciden oluşan bir mekanizma önermişlerdir. Bu yeni çalışmada, daha önceki çalışmalarda karşılaşılan çapak temizleyicisinin deliği genişletmesi gibi sorunların aşılması amacıyla yeni bir temizleyici bıçak tasarlanmıştır (Şekil 1.5). Bu mekanizma, Al5052-H38 ve Al6061-T6 alüminyum alaşımı malzemeler üzerinde farklı devir başına ilerleme hızları için uygulanarak analiz edilmiştir. Yeni tasarlanan bu mekanizmayla yumuşak ve nispeten küçük dış çapaklar başarılı bir şekilde temizlenmiş, ancak büyük ve daha sert çıkış çapaklar kısmen temizlenebilmiştir.



Şekil 1.5. Matkap üzerine yerleştirilmiş çapak temizleme bıçağı [10]

Kılıçkap [11,12], Al-7075 malzemesinin delinmesinde delik çıkışında oluşan çapak yüksekliği ve delik yüzeyinin pürüzlülüğünü incelemiştir. Farklı kesme hızı, ilerleme ve matkap uç açıları kullanılarak yapılan çalışmada, ilerleme ve kesme hızının artması ile çapak yüksekliğinin arttığı, büyük uç açılı matkap ucu kullanıldığında ise çapak yüksekliğinin azaldığı tespit edilmiştir.

Ko ve Lee [13], tasarlamış oldukları matkap ile klasik matkapları saf alüminyum, SM20C, Al6061-T6 ve SM45C malzemelerin delinmesi işlemi sonucunda oluşan çapakları esas alarak karşılaştırmışlardır. Tasarlamış oldukları matkapın, klasik matkaplardan farklı olarak sertliği, uç açısı ve kesici ağız sayısı artırılmıştır. Ayrıca tasarlanan matkap ile malzemenin kesilme direnci azaltılmıştır. Böylelikle delme işlemindeki verimlilik, klasik matkaplara göre 5 ile 10 kat arasında artmıştır. Ayrıca delme sonucunda oluşan çapakları, A tipi, B tipi ve C tipi olmak üzere üç sınıfa ayırmışlardır (Şekil 1.6). A tipi çapakların, plastik deformasyon olmaksızın gevrek malzemelerde oluştuğunu, üniform çapak olarak da adlandırılan B tipi çapakların, deliğin çıkışında bir kapak ile üniform yükseklik şeklinde oluştuğunu ve C tipi çapak oluşumunun da, deliğin merkezindeki kırılma sonucu ve genellikle büyük boyutlu ve düzensiz yapıda çapaklar olduğunu gözlemlemişlerdir.

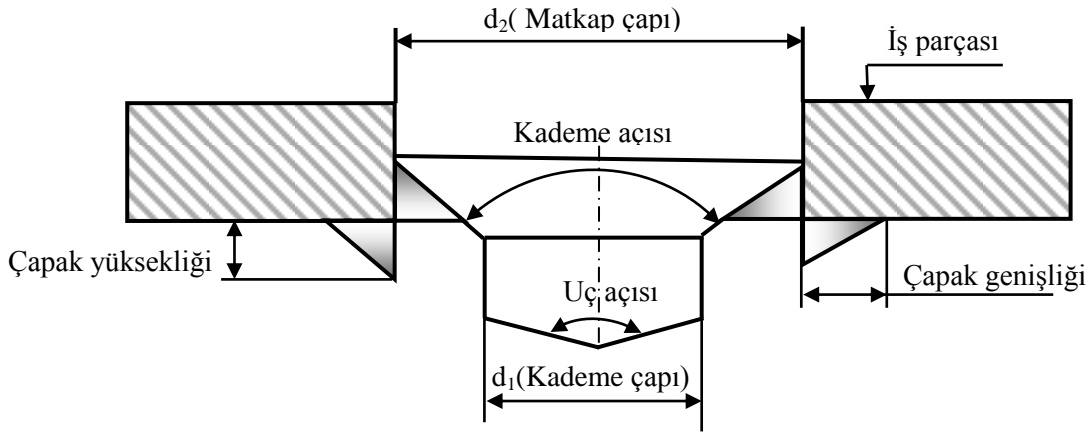


Şekil 1.6. Delme işlemleri sonucu oluşan çapakların sınıflandırılması [13]

Wang ve Zhang [14], pirinç bir plakanın frezeleme işleminde kesme yönünün çapak oluşumuna etkisini araştırmışlar ve ilgili teorileri analiz etmişlerdir. Kritik talaş derinliğinin, çapakların oluşmasını sağlayan ana faktörlerin belirlenmesi ve kesme yönünde oluşan çapakların azaltılması için önerilerde bulunmuşlardır. Frezeleme işleminde oluşan çapakları, kesme işleminden dolayı oluşan çapaklar ve kesici takımın ilerlemesi yönünde oluşan çapaklar olmak üzere iki kısma ayırmışlardır. Frezelemede çapak oluşumuna etki eden temel faktörleri malzemenin cinsi, kesici takımın geometrisi, kesme parametreleri ve iş parçasının son şekli olarak belirlemişlerdir.









Toropov vd. [15], Al6061-T6 alüminyum alaşımının tornalanmasında kesici takımın ilerleme yönüne bağlı olarak meydana gelen çapak oluşumunu araştırmışlardır. Kesici takımın ilerleme yönünde oluşan çapakların, özellikle takım geometrisine, kesme hızına ve malzemenin işleme açılarına önemli derecede bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ko ve Chang [16], delme işleminde çapak oluşumunu azaltmak için SM45C, SS200, A6061 ve A2024 malzemelerde değişik geometrili matkaplardan yararlanmışlardır. Deneysel çalışma için karbür malzemedan yapılmış silindirik matkap, havşa matkap ve kademeli matkaplar dizayn edilmiş ve üretilmişlerdir. Bu matkaplarla yapılan deneyler sonucunda oluşan çapak boyutları bir lazer sensör kullanılarak ölçülmüş ve sonuçlar klasik matkaplar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmaya göre, tasarlanmış olan matkap uçlarının klasik matkap uçlarına göre daha küçük boyutlarda çapak ürettiği ve özellikle matkap çapı 9 mm, kademe açısı 40° olan kademeli matkap (Şekil 1.7) ile gerçekleştirilen delme işleminde çapak boyutlarının minimum düzeyde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 1.8).



Şekil 1.7. Kademeli matkap ile delme işleminde çapak oluşumu [16]

Genel olarak kademe açısının 75° 'den düşük değerlerinde, deneyde kullanılan malzemelerde çapak boyutlarının minimum olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle Al-2024 malzemesinin tasarlanmış matkaplar ile delinmesi sürecinde, çok küçük boyutlarda çapaklar oluştuğu görülmüştür (Şekil 1.8).

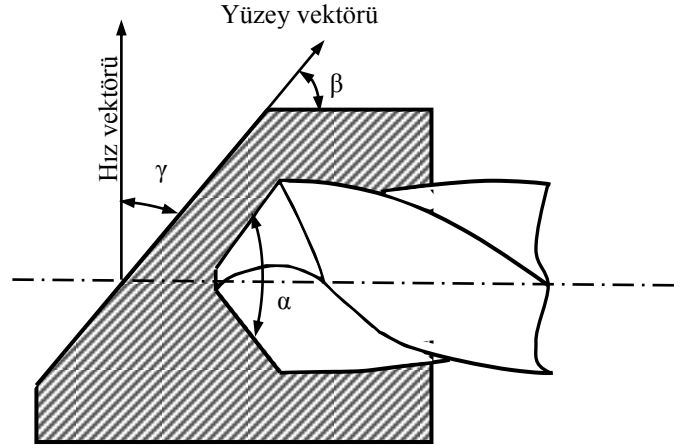
Matkap	SM45	SS400	A2024	A6061
Klasik Matkap				
40° / Ø9 mm kademeli matkap				

Şekil 1.8. Geleneksel matkap ile kademeli matkapta oluşan çapakların karşılaştırılması

Min vd. [17], devir başına ilerlemenin ve kesme hızının kesme kenarında neden olduğu dinamik hareketten yola çıkarak, delme işlemlerinde matkabin delme eksenini ile çıkış yüzeyi arasında kalan açının (β), çapak oluşumu üzerine etkisini Al-5052 malzemesinde deneysel olarak araştırmışlardır (Şekil 1.9). Delme eksenini ile deliğin çıkış yüzeyi birbirine dik değil ise, çapak formlarının yüzey etkileşim açısına- γ (hız vektörü ile yüzey vektörü arasında kalan açı) bağlı olarak değiştiği görülmüş ve bu açığa bağlı olarak plastik deformasyonun derecesi belirlenmiştir.

Ayrıca yapmış oldukları çalışmada, β açısı ile matkap uç açısı arasında (α) bir ilişki tanımlamışlardır. Bu ilişkiyi, $\alpha > \beta$ olması durumunda pozitif etkileşim açısı tersi olması durumunda ise negatif etkileşim açısı olarak adlandırmışlardır. Etkileşim açısı pozitif olduğunda, çapağın kesici ağzının yüzeyden ilk çıktığı bölgede meydana geldiği ve bu çapağın boyutlarının da devir başına ilerleme ile doğru orantılı, hız ve çıkış yüzey açısı ile ters orantılı olarak değiştiği görülmüştür. Etkileşim açısının negatif olması durumunda ise çapağın yine kesici ağzının yüzeyden ilk çıktığı bölgede meydana geldiği, ancak çıkış yüzey açısının çapağın eğilme mekanizmasını daha erken başlattığı ve buna bağlı olarak da daha büyük çapaklar oluşturduğu ifade edilmiştir.

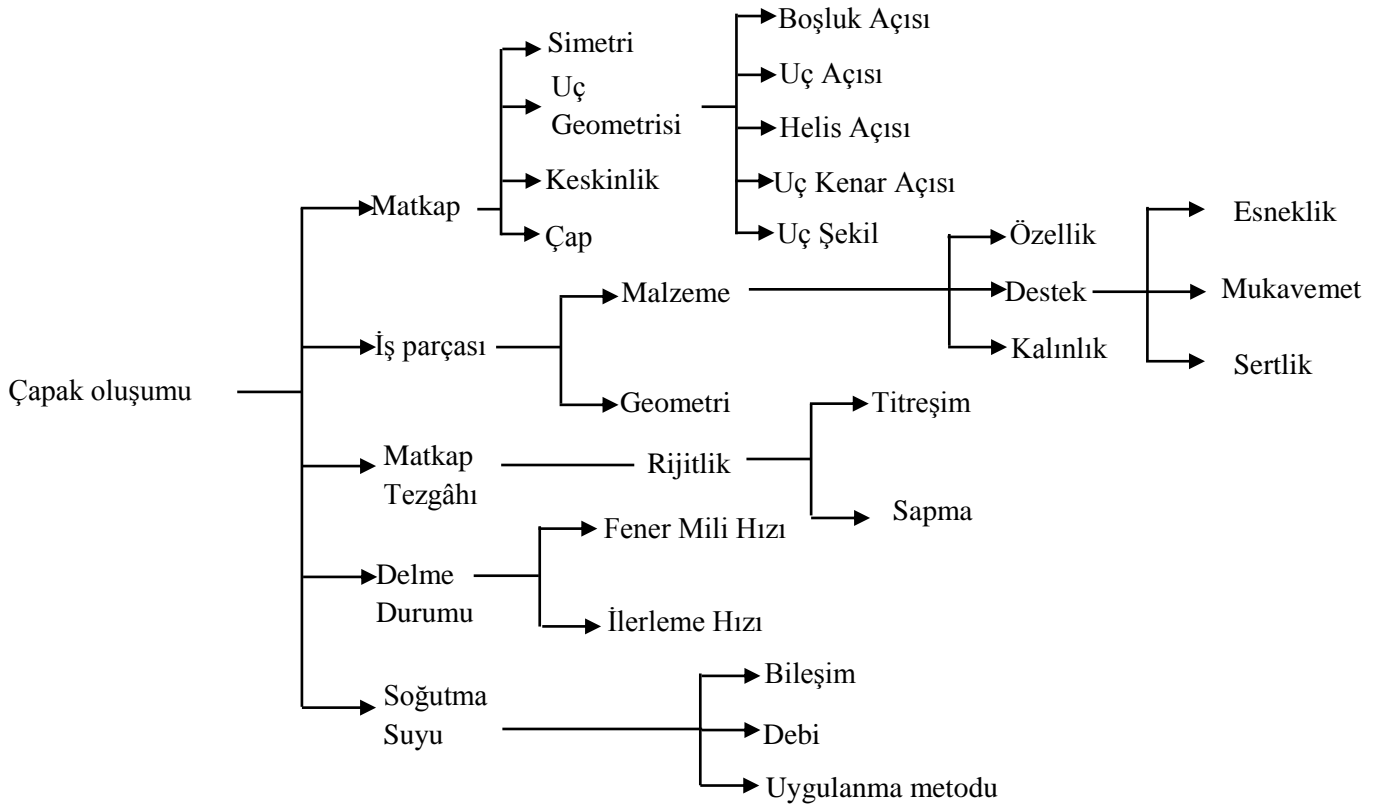
Lee [18], AISI 4118 malzemesine benzer bir malzeme olan 20MoCr4 malzemesi üzerinde yaptığı çalışmalarda, iteratif bir yöntem kullanarak, karşılıklı kesişen deliklerin delinmesi sırasında çapak oluşumunun minimum seviyeye indirilmesine yönelik bir metod önermiştir. Bu yöntem kullanılarak takım geometrisi, hız ve devir başına ilerleme olmak üzere üç farklı kontrol edilebilir parametre optimize edilmiştir. Optimize edilen delme parametrelerine göre delinen deney malzemesinde oluşan çapak boyutunda %88'lik bir azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 1.9. Matkap ucu ve çıkış yüzeyi arasındaki ilişki [17]

Lin ve Shyu [19], TiN, TiCN, CrN ve TiAlN ile kaplanmış dört tip matkap kullanarak, paslanmaz çelik malzemelerde çıkış çapak boyutunun azaltılması ve takım ömrünün artırılması problemlerini, farklı devir başına ilerleme değerlerini (0.4-0.8 mm/dev) göz önüne alarak analiz etmişlerdir. Devir başına ilerleme 0.6 mm/dev. olduğunda takım ömrü ve çapak yüksekliği için optimal değerlere ulaşılmıştır. Paslanmaz çelik malzemenin delinmesi işleminde TiN veya TiCN kaplı matkapların, CrN veya TiAlN kaplı matkaplara göre daha üstün özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kesme ağız ve sırtlardaki aşınmanın, takım aşınmasında etkin mekanizmalar olduğu görülmüştür.

Sofranos ve Steve [20], matkap geometrisi ile kesme parametrelerine bağlı olarak çapak kalınlığı ve yüksekliğini minimum yapmak için bazı varsayımlar yaparak bir analitik model önermişlerdir. Bu çalışma, delmede çapak oluşumu problemini ortaya koyan ilk analitik model olup, parametre sayısı arttığında doğru cevap vermediği gözlemlenmiştir. Ayrıca delme ve çapak oluşumu konusu ile ilgili yayınlanan çalışmalara dayalı olarak, çapak oluşmasına neden olan temel etkenler ve bunlara bağlı parametreler Şekil 1.10' da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Çapak oluşmasına neden olan temel etkenler ve bunlara bağlı parametreler [20]

Hasegawa vd. [21], Al-2024 ve Al-6061 malzemelerinin delinmesinde kesme hızı, devir başına ilerleme ve takım geometrisinin çapak oluşumu üzerine etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada, 50 m/dak'ya kadar olan kesme hızı değerlerinin çapak kalınlığına bir etkisinin olmadığı; yüksek kesme hızlarında nispeten küçük çapaklar oluştuğu; devir başına ilerlemenin artması ile çapak boyutlarının arttığı; 10°'den büyük boşluk açılarının çapak kalınlığına etkisinin olmadığı ve bu açının küçülmesi ile çapak kalınlığının arttığı; helis açısının 40°'den büyük olması halinde çapak kalınlığının azaldığı; uç açısının 100°'ye yakın değerlerinde çapak kalınlığının arttığı gözlemlenmiştir. Genel olarak alüminyum malzemelerde optimum uç açıları 118° ile 140° arasında olmasına rağmen, yapılan çalışmada uç açısının 180° ile 200° arasındaki değerler için de deney yapılmış ve 180°'de optimum sonuç elde edilmiştir.

Pande ve Relekar [22], malzemenin sertliğinin, matkap uzunluğunun (L) çapına oranının (D), devir başına ilerlemenin ve matkap çapının, çapak boyutları (yükseklik ve kalınlık) üzerine etkisini araştırmışlardır. Matkap çapının 8 ile 10 mm arasında olması durumunda, çapak yüksekliğinde önemli derecede bir azalma gözlemlenmiştir. Devir başına ilerleme ile talaş boyutunun doğru orantılı olduğu ve L/D oranının 0.45 ile 0.75

aralığında olması durumunda çapak boyutunun nispeten daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca malzemenin sertlik değerinin 130-140 HB aralığında olması durumunda ise delik çıkışında minimum çapak boyutu elde edilmiştir.

Kim vd. [23], metallerde mikro delme işlemi sırasında ortaya çıkan çıkış çapaklarını önlemek amacı ile yapışkan malzeme kullanılmasını önermişlerdir. Bu çalışmada, iş parçasının çıkış yüzeyi, cyanoacrylate yapıştırıcı malzeme kullanılarak bir kopya kâğıdı ile homojen bir şekilde kaplanmıştır. Çalışmada, bu şekilde bir kaplama yapıldığında, deliğin etrafında oluşan gerilmenin, akma gerilmesinden daha büyük olduğu ifade edilmiştir. Alüminyum ve bakır gibi sertliği düşük metallerde, çıkış çapağının önlenmesinde cyanoacrylate yapıştırıcının etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ancak 304 paslanmaz çelik gibi daha sert malzemelerde cyanoacrylate yapıştırıcının çapak oluşumunu önlemediği görülmüştür.

Sofranos [24], çapak yüksekliği ve kalınlığını azaltmak için boşluk açısı, helis açısı, uç açısı, devir başına ilerleme gibi kesme koşullarına ve takım geometrisine bağlı olarak, çıkış çapağının analizinde kullanılabilen teorik bir model geliştirmiştir. Yapılan bu çalışmaya göre, aşağıda belirtilen durumlar gözlenmiştir:

- Helis açısı 25°'den 36°'ye çıkarıldığında çapak yüksekliği %88, çapak kalınlığı %47 azalmıştır.
- Devir başına ilerlemenin 0.2 mm/dev'den 0.05 mm/dev'e düşürülmesi halinde çapak yüksekliği %83, çapak kalınlığı %61 azalmıştır.
- Matkap uç açısı 112°'den 98°'ye azaltıldığında çapak yüksekliği %26, çapak kalınlığı %11 azaltılmıştır.
- Boşluk açısı 7°'den 12°'ye çıkartıldığında minimum çapak kalınlığı ve yüksekliği elde edilmiştir.

Lee ve Kiha [25], frezeleme işleminde çapak oluşumunda etkili olan bütün parametreleri dikkate alarak, çapak boyutunu tahmin etmek için deneysel çalışmaya dayalı olarak ağ tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Aynı zamanda bu sistemin matkap geometrisi, iş parçası ve kesme parametreleri bakımından göz önüne alınarak, delme işlemlerinde oluşan çapak boyutunu ve türünü belirlemede kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir. Yapmış oldukları deneysel çalışmanın sonucunda, AlSi7Mg malzemesinin frezelenmesinde talaş açısı ve talaşın eğilme açısı kadar takım geometrisinin de çapak oluşumunda önemli

olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca optimum kesme hızının 1600 dev/dak ve devir başına ilerlemenin ise 0.08 mm/dev olduğunu tespit etmişlerdir.

Min [26], delme işlemlerinde oluşan çapak boyutlarını minimum yapmak için ağ tabanlı bir sistem geliştirmiştir. Bu sistem, çapak kontrol tablosu ve çapak veri tabanından oluşturulmuştur. Çapak kontrol tablosu, kesme hızı ve devir başına ilerleme gibi kesme parametrelerinin seçilmesini sağlayarak çapak boyutlarının tahmin edilmesine yardımcı olmuştur. AISI 4118 paslanmaz çelik ile helisel matkap ucu kullanılarak deney yapılmış ve çapak veri tabanına takım geometrisi, iş parçası, kesme parametreleri ve oluşan çapaklar hakkındaki bilgiler kaydedilmiştir. Deney sonucunda, devir başına ilerlemenin 0.04 mm/dev değerinin altında kalması durumunda kesme hızının çapak oluşumuna etkisinin olmadığı ancak yüksek devir başına ilerlemelerde kesme hızının çapak oluşumuna etkisinin büyük olduğu görülmüştür.

Park [27], delme işleminde çapak oluşumunu belirlemek için, 304L paslanmaz çelik malzemenin delinmesinde iki boyutlu sonlu elemanlar modeli geliştirmiştir. Çapak oluşum mekanizmasını başlangıç, gelişme, ilk kırılma ve son çapak gelişimi olmak üzere dört evreye ayırmıştır.

Dornfeld [28], delme işleminde atalet ve kütle, şekil değiştirme sertleşmesi, gerinim oranı, sertlik, sıcaklık ve sürtünmenin dinamik etkilerini üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesini önermiştir. Çapak oluşumunu Park'ın [27] yapmış olduğu sınıflandırmaya benzer şekilde başlangıç, gelişim, delik eksenin çıkış ucu ve çapak oluşumu olmak üzere dört kısma ayırmıştır.

Literatürlerden de görüldüğü gibi çapaklar talaşlı imalatta kaçınılmaz problemlerden biridir ve öncelikli olarak takım geometrisi, iş parçası malzemesi, hız ve devir başına ilerlemeye bağlıdır. Nitekim çapak üzerine yapılan çalışmalarda, çapak boyutlarına etki eden önemli geometrik parametreler belirlenmiş ve minimum çapak boyutlarını belirlemek için gerekli geometrik parametreler önerilmiştir. Kesici takım için önerilen geometrik parametrelere göre kesici takımı doğru bir şekilde üretmek oldukça zordur, üretilse de çapak temizleme maliyetinden oldukça pahalı olacağından ekonomik olmayacaktır. Delme işlemlerinde minimum boyutlarda çapak oluşmasını sağlamak için en iyi metot, belirlenmiş standartlardaki matkaplara göre bir model geliştirmektir [29,30]. Daha sonra bu modele göre doğru matkap seçilerek çapakların boyutları azaltılarak çapak temizleme maliyeti de azaltılmış olur. Çapak boyutlarının yüksek hassasiyette tahmin edilebilmesi için bir model kullanılması gerekmektedir. Delme işlemlerinde kabul edilmiş

genel bir model olmamasına rağmen, bazı analitik modeller geliştirilmiştir. Modelleme ile yapılan çalışmalara bakıldığında ise Sokolowski, vd. [31] kesme hızı, devir başına ilerleme, talaş kesme derinliği, iş parçası malzemesi ve çıkış açısını dikkate alarak 5-10-3 şeklinde üç katmandan oluşan ileri beslemeli geriye yayımlı sinir ağı modeli oluşturarak çapak yüksekliğini tahmin etmek için bir yapay sinir ağı modeli önermiştir. Sudhakaran [32], Al 2024-T3 malzemesinin delinmesinde özellikle uç açısı ve kesme kenarı uzunluğu parametrelerine bağlı olarak takım geometrisinin çapak oluşum üzerine etkisini ortaya koymak için 4-6-4 şeklinde üç katmanlı yapıdan oluşan bir yapay sinir ağı modeli önermiştir. Bu model için devir başına ilerleme, uç açısı ve kesme kenar uzunluğu giriş parametresi olarak kullanılıp, çıkış parametresi olarak ise çapak yüksekliği elde edilmiştir. Benzer şekilde Dini [33] de, plastik takviyeli cam fiber malzemenin delinmesinde meydana gelen hasarı tahmin etmek için bir yapay sinir ağı modeli geliştirmiştir.

1.2. Tezin Literatürdeki Yeri ve Önemi

Talaşlı imalatın temel hedefi, üretilecek iş parçasının geometrik ve boyutsal tamlığıyla birlikte yüzey kalitesinin ve mikro yapısının da istenilen sınırlar içerisinde ekonomik olarak sağlamasıdır. Alüminyumun talaşlı olarak işlenebilmesi güçlüğü geçmişte alüminyumun kullanım alanını daraltmıştır. Fakat son zamanlarda bu konu üzerinde yapılan araştırmalarda değişik teknikler geliştirilerek alüminyumun talaşlı olarak işlenebilmesine olumlu yönde büyük katkılar sağlanmıştır.

Yukarıdaki çalışmalar incelendiğinde, çapak oluşumuna yönelik çalışmaların genellikle 2000, 6000 ve 7000 serisi alüminyum alaşımları ile paslanmaz çelik malzemeler üzerine yoğunlaştığı görülmektedir [2-33]. Ancak havacılık, denizcilik ve otomotiv gibi daha pek çok endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmakta olan 5000 serisinden alüminyum alaşımları ile ilgili olarak araştırmaların yeterince yapılmadığı dikkati çekmektedir. Bu çalışmada bu durum dikkate alınarak 5000 serisi alüminyum alaşımlarından biri olan Al-5005 malzemesi deney malzemesi olarak seçildi.

Yine mevcut çalışmalarda, alüminyum ve alaşımlarının matkap ile delinmesinde ortaya çıkan çapak oluşumunda etkin parametrelerin devir sayısı, ilerleme ve matkap uç açısı olduğu görülmektedir [4-33]. Tüm bu literatür çalışmaları dikkate alınarak Al-5005 malzemesinin delinmesinde çapak oluşumunu incelemek için delme parametreleri olarak; matkap ucunun ilerlemesi 0.1, 0.2 ve 0.3 mm/dev, devir sayısı 400, 800 ve 1200 dev/dak,

uç açısı 90°, 118°, 130° ve 140°, çapı ise Ø5 ve Ø10 mm olarak belirlendi. Bu parametrelerin delik çıkış bölgesinde meydana gelen çapağın boyutları üzerindeki etkisini belirlemek için CNC freze tezgâhında bir dizi deneysel çalışma yapıldı. Delme işlemi sonrası, deliğin mikrosertlik, pürüzlülük, delik çıkışında oluşan çapakların boyutları (yükseklik ve kalınlık) ve şekilleri incelendi. Bunların yanı sıra delme deneyleri sonucu oluşan çapakların boyutlarını matematiksel olarak modellemek için deney şartları dikkate alınarak bir YSA model oluşturuldu. Bu model deney sonuçlarına göre eğitildi ve test edildi. Test sonuçlarına göre de modelin çapak boyutlarını tahmin etmekteki başarısı değerlendirildi.

Ek olarak bu çalışmada, delme deneyleri sonucu delik çıkış bölgelerinde oluşan çapakların boyutlarını azaltmak için kararsız delme yöntemi olarak tanımlanan yeni bir yöntem de sunuldu. Bu yeni yöntemde, CNC freze tezgâhının kontrol özelliklerinden faydalanarak delik boyunca sabit olmayan delme parametreleri oluşturuldu ve buna göre yeni deneyler tasarlandı. Bu yeni deneylerde, yukarıda bahsedilen delme parametrelerine göre en düşük çapak boyutlarının elde edildiği matkap uçları kullanıldı. Kararsız delme şartları ise matkap ucunun devir başına ilerleme 0.1, 0.2 ve 0.3 mm/dev değerlerinde, delik çıkışına yakın bir mesafede matkap ucu delik içerisinden çıkartılmadan, otomatik olarak on katı kadarlık bir azaltma (0.01, 0.02 ve 0.03 mm/dev) yapılarak gerçekleştirildi ve buna göre çapak boyutundaki değişimler incelendi. Delik içerisindeki bu kararsız ilerleme değerlerinin oluşturulduğu delme mesafesi ise, hem delme süresini uzatmayacak hem de delik çıkışında ilk deformasyonun olduğu mesafe dikkate alınarak belirlendi.

1.3. Genel Bilgiler

1.3.1. Alüminyum ve Alaşımları

Günümüzde alüminyum ve alaşımları sahip olduğu özellikleri itibariyle endüstride kullanılan en önemli yapı ve mühendislik malzemelerinden birisi haline almıştır. Saf haldeyken yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyon direnci gibi özelliklere sahipken, alaşımlama ile bu özellikler çok daha geniş bir spektruma yayılarak yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. Bugün endüstride geniş çaplı olarak yüzün üstünde alüminyum alaşımı kullanılmaktadır. Alüminyumun bazı önemli özelliklerini saymak gerekirse;

- Hafifliği: Saf alüminyumun özgül ağırlığı yaklaşık 2.7 gr/cm^3 'tür. Kütlesi demirin %35'i, bakırın ise %9'u kadardır. Bu düşük ağırlık özelliği başta uçak ve otomobil endüstrisinde olmak üzere, tüm taşımacılık sanayinde önemli bir konudur.

- Mekanik özellikler: Çeşitli alüminyum alaşımlarının ısı işlemleri sonucu, istenilen şekilde mukavemet, tokluk, sertlik ve diğer mekanik özellikler geliştirilebilir. Özellikle küçük miktarlarda Mg, Si, Cu, Zn ilavesiyle mukavemeti daha da arttırılan alüminyum alaşımlarında ısı işlem ile bugün çok yüksek çekme mukavemeti değerlerine ulaşılmıştır. Mekanik özelliklerin böyle değişebilir olması büyük avantaj sağlayarak, kullanım alanlarını genişletmektedir. Alüminyum yüzeyler, atmosferik korozyona maruz kaldığında, derhal çok ince (20-25 Å) görünmez bir oksit tabakası oluşur ve bu tabaka daha fazla oksitlenmeyi önler. Alüminyumun bu özelliği yüksek korozyon direncinin temel nedenidir. Birçok aside karşı da aynı direnci gösterir. Ancak bazı alkaliler bu oksit tabakasını tahrip etme özelliğine sahiptir. Elektrolitik ortamlarda bazı metallerle doğrudan temas etmesi sonucunda galvanik korozyon olabilir. Bu durumda boya yada yalıtkan bant uygulaması yapılmalıdır.

- Toksik reaksiyonlara girmemesi: Zehirleyici olmama özelliği, gıda endüstrisinde yada mutfak malzemelerinde yaygın kullanım alanı bulmasına yol açmıştır. Bu özelliği sayesinde alüminyum, yiyecek ve ilaçların ambalajlanmasında, sigara, çay paketlenmelerinde geniş çaplı kullanım alanına sahiptir.

- Isı ve elektrik iletkenliği: Alüminyum ve alaşımları ısı ve elektriği oldukça iyi iletirler. Yüksek ısı iletkenliği (çeliğin 6 katı), ısıtma/soğutma endüstrilerinde, gıda, kimya, petrol, havacılık sektörlerinde alüminyum ısı değiştiricilerinin yaygın olarak kullanımına yol açmıştır. Elektrik iletkenliği $37 \text{ (m/ohm.mm}^2\text{)}$ civarındadır. Elektriksel iletkenliği bakırın %62'si mertebesindedir. Bakırın yoğunluğu 8.9, alüminyumun ise 2.7 gr/cm^3 olduğu düşünülürse; ağırlıkça kıyaslandığında alüminyumun bakırdan daha iyi iletken olduğu ortaya çıkmaktadır.

- Yüksek ısı ve ışık yansıtması : %80'in üzerinde ışık yansıtma özelliği ile aydınlatmada, yüksek ısı yansıtma özelliği ile de çatı kaplamalarında kullanılmaktadır. Yine bu özelliğinden dolayı ışık reflektörlerinin kaplanmasında ve aynaların geri yansıtıcılığında da kullanılırlar.

- Metalotermik reaksiyonlarda kullanımı: Alüminyum oksijene olan ilgisinden dolayı, diğer metallerin oksitlerini redükler. Bu özelliği nedeniyle toz alüminyum krom,

vanadyum, baryum ve lityum gibi metal oksitleri redükleyerek bu metallerin üretiminde kullanılır.

- Kolay şekillendirilebilirliği ve işlenebilirliği: Kolayca dökülebilir, kağıttan daha ince şekilde haddelenebilir (folyo), çekilebilir (tel, ekstrüzyon ürünleri, profil), dövülebilir. Alüminyum kolayca ve hızlı bir şekilde tornalama, frezeleme, delme operasyonlarına tabi tutulabilir.

- Kaynak edilebilirliği: Her türlü birleştirme yöntemi uygulanabilir (kaynak, perçinleme). Ayrıca havacılık ve otomotiv sektöründe yapıştırma uygulamaları da yaygındır.

- Çok geniş spektrumda yüzey işlemlerine tabi tutulması: Koruyucu bir kaplama gerektirmeyen durumlarda mekanik yüzey işlemleri olarak parlatma, kumlama veya fırçalama birçok durumda yeterlidir. Koruyucu kaplama olarak, kimyasal, elektrokimyasal boya uygulamaları ile eloksal ve elektro kaplamalar uygulanabilir. Uygulamaların büyük çoğunluğunda yukarıda belirtilen özelliklerden iki yada daha fazlası bir araya gelerek belirleyici rol oynar. Örneğin, hafifliği ve mukavemeti uçak sanayinde, raylı sistem taşımacılık ekipmanlarında korozyon direnci ve ısı iletkenliği kimya ve petrol sanayinde, bu özelliklerine ilaveten zehirli olmama özelliği ile albenili görünümü, atmosferik koşullara dayanımı ve düşük bakım maliyetleriyle inşaat sektöründe yüksek yansıtma, mükemmel atmosferik direnç ve hafifliği ile çatı kaplamalarında yaygın kullanım alanı bulmasını sağlamıştır.

- Düşük maliyet: Alüminyumun diğer metallere göre ekonomik yönden avantajlı oluşu kullanımını büyük bir hızla artırmaktadır. Bunun başlıca nedeni birim ünitesinin maliyetinin diğer metallere göre daha ekonomik olmasıdır. Alüminyumun diğer metallere göre daha hafif olması dökümde büyük bir avantaj sağlar. Aynı boyuttaki diğer metallere göre daha fazla döküm yapabilmek mümkündür. Ayrıca çok yüksek olmayan ergime sıcaklığı, döküm sırasında daha az enerji harcanması ve kalıbı az aşındırması sebebiyle önemli bir tercih nedenidir. Alüminyum ve alaşımlarının diğer bir avantajı ise yüksek atmosferik korozyon direnci sebebiyle kaplama yapmaya gerek kalmamasıdır [34-39].

Alüminyum aynı hacimdeki bir çelik malzemenin ağırlığının ancak üçte biri kadardır. Alüminyuma şekil vermek için döküm, dövme, haddeleme, presleme, ekstrüzyon, çekme gibi tüm metotlar uygulanabilir. Alüminyum 40-540 N/mm² ortalama mukavemeti ile birçok kullanım alanı için uygun çözümler sunmaktadır. Gıda ve elektrik endüstrisinde kullanılan alüminyum %99.99 saflık derecesindedir. Alüminyum borular ve saçlar %99.5

ile %99.8 bazen %98-99 derecesinde saftırlar. Geri kalan kısımlar genellikle silisyum ve demirden ibarettir. Alüminyum 250-350°C' de tavlınırsa, katı eriyik halinde bulunan silisyum, alüminyumdan ayrılır. 350°C üzerinde tekrar katı eriyik haline geçer. Silisyumun ayrılmasıyla alüminyumun mukavemeti düşer. Bu nedenle soğurken bu bölgeyi hızlı geçmek gerekir. Saf alüminyum için temel fiziksel özellikler Tablo 1.1'de sunulmuştur.

Kaynaktan sonra dikiş 400°C' den itibaren birden bire suya daldırılarak çabuk soğutulmalıdır. Alüminyum 99.0-99.5-99.7-99.8-99.9-99.99 saflıkta üretilir. %99.99 saflıktaki alüminyum yüksek nitelikte alüminyum olarak bilinir. Burada fiziksel ve mekanik özellikler belirli şekilde kendini gösterir. Yüksek nitelikteki alüminyum yumuşak, kolay işlenebilir, ısı ve ışığı verimi bir şekilde yansıtır; ısı ve elektriği iyi iletir, korozyona karşı çok dayanıklıdır [40].

Alüminyumun mukavemet özellikleri, malzemenin saflığına ve imalat şekline bağlıdır (Tablo 1.2). Saf alüminyum dinamik dayanıklılığı, statik dayanıklılığının 0,4-0,5 katıdır. Soğuk şekil değiştirmiş alüminyuma kaynak yapıldığında ısıdan etkilenen bölgenin mukavemeti düşer. Kaynak esnasında parça tavlандığı için mukavemeti azalmaktadır. Kaynaktan sonra parça soğuk olarak çekiçlenirse dayanıklılık kazanır.

Tablo 1.1. Saf alüminyumun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Özellik	Değer
Atom numarası	13
Atom Ağırlığı (gr/mol)	26.98
Kafes Yapısı	Yüzey merkezli kübik sistem
Yoğunluğu (20° C) (gr/ cm ³)	2.6989
Yoğunluğu (660° C'de sıvı) (gr/cm ³)	2.37
Elastik modül, E (kp/mm ²)	7.2103
Kayma modülü, G (kp/mm ²)	2.7103
Ergime sıcaklığı (°C)	660.24
Ergime ısısı (cal/gr)	94.6
Elektrik iletkenliği (m/ohm.mm ²)	37.74

Alüminyum alaşımları, uçak, roket ve uzay endüstrisinde birçok parçada kullanılır. (Örneğin; uçak kanatlarında, motorda, pervanelerde, yardımcı parçalarda ve sıvı yakıt yada oksitleyici tanklarında). Alüminyum korozyona direnci yüksek bir malzemedir ve yoğunluğu düşüktür. Dökme alüminyumun 20°C’ de yoğunluğu 2,65-2,69 gr/cm³’ tür. Ergime noktası 658°C, kaynama noktası 800°C’ dir. Alüminyum, saf halinden (Tablo 1.3) çok alüminyum alaşımı halinde kullanılır. Bu alaşımlar, dövme ve dökme alaşımlar olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

Tablo 1.2. Alüminyumun mukavemet özellikleri

Mekanik Özellikleri	Döküm	Haddeleme	Isıl İşlemler
Çekme mukavemeti (kg/mm ²)	9-12	18-28	7-11
Akma mukavemeti (kg/mm ²)	3-4	16-24	5-11
Uzama (%)	18-25	3-5	30-40
Büzülme (%)	40-55	60-85	80-95
Sertlik (Brinell)	24-32	45-60	80-95

Tablo 1.3. Saf Alüminyumu oluşturan bileşenler (%)

Fe	Cu	Si	Zn	Mg	Al
0.0005-0.002	0.0005-0.002	0.002-0.005	0.0005-0.002	0.001-0.002	geri kalan

Dövme alüminyum alaşımları, dökme alüminyum alaşımlardan daha üstün özelliklere sahiptirler. Bu üstünlük dövme, haddeleme, çekme ve ısıl işlemler ile sağlanmaktadır. Sayılan işlemler alüminyumun yapısını inceltmekte ve daha homojen bir yapı elde edilmesini sağlamaktadır. Bu tip alaşımlarda daha az alaşım elemanı kullanılmaktadır. Dövme alüminyum alaşımları üç kademedede elde edilirler:

- Döküm yoluyla önce büyük bloklar elde edilirler.
- 300-500°C sıcaklıklarda sıcak ve soğuk haddeleme ile uygun profiller elde edilir.
- İlk iki işlemden sonra gerekiyorsa ısıl işlemlere tabi tutulurlar.

* **2014 Alaşımı (%4.5 Cu - % 0.8 Si - % 0.8 Mn - %0.4 Mg) :** Yüksek mukavemetin ve bununla ilgili olarak iyi işlenebilirliğin ve yüksek sertliğin istendiği durumlarda kullanılır. Uçak teçhizatının yapımında geniş olarak kullanılır. 20°C’ de yoğunluğu 2.80 gr/cm³’ tür. Tam tavlama için 412°C’de 2-3 saat bekletilir. Sonra saatte 10°C’ lik bir soğuma hızıyla fırında soğutulur.

* **2024 Alaşımı (% 4.5 Cu - % 1.5 Mg - % 0.6 Mn)** : Uçak yapısında, perçinlerde, karışık şekilli elemanlarda kullanılır. 20°C’ de yoğunluğu 2.77 gr/cm³’tür. Tam tavlama 413°C’ de 2-3 saat bekletildikten sonra saate 10°C’lik bir soğuma hızıyla fırında soğutulur. 260-480°C arasındaki sıcaklıklarda çalışabilir.

* **5052 Alaşımı (%2.5 Mg - %0.25 Cr)** : Ortalama statik mukavemetin, iyi çalışabilirliğin, yüksek yorulma mukavemetinin ve korozyona çok iyi bir direncin istendiği uygulamalarda kullanılır. Uçağın yakıt ve yağ borularında, yakıt tanklarında kullanılır. 20°C’ de yoğunluğu 2.68 gr/cm³’tür. 260-510°C arasındaki sıcaklıklarda çalışabilir. 345°C’ de tavllanır. Bu sıcaklıkta tutmak gerekmez. Hemen soğutulabilir.

* **6061Alaşımı (%1.0 Mg-%0.6 Si-%0.25 Cu-%0.025 Cr)** : Yüksek mukavemetin, işlenebilirliğin, kaynak kabiliyetinin ve korozyona iyi bir direncin istendiği durumlarda kullanılır. Uçak iniş merdivenleri gibi elemanlarında uygulama alanı vardır. 20°C’ de yoğunluğu 2.70 gr/cm³’tür. Çıplak ve kaplı alaşım olarak kullanılır. 260-510°C arasındaki sıcaklıklarda çalışabilir. Tam tavlama 413°C’ de yapılır. Bu sıcaklıkta 2-3 saat bekletildikten sonra, saate 10° C hızla fırında soğutulur.

* **7075 Alaşımı (% 5.5 Zn - % 2.5 Mn - % 1.5 Cu - % 0.3 Cr)** : Yüksek mukavemetin ve korozyona iyi bir direncin gerektiği durumlarda kullanılır. Uçak yapı elemanlarının büyük bir kısmı 7075 alaşımından yapılır. 20°C’ de yoğunluğu 2.80 gr/cm³ ’tür. Rijitlik modülü 14927 N/cm² ’dir. Poisson oranı 0.33’tür. Kesme gerilmesi mukavemeti, çekme gerilmesi mukavemetinin yaklaşık %55’ dir. 260-455°C arasında sıcak çalışabilir. Tam tavlama 413°C’ de 2-3 saat bekletmeye yapılır. Sonra havada soğutulur. Eğer malzeme kullanılmadan önce bir süre depolanacaksa, 232°C’ de yeni bir ısıtmaya tabi tutulmalıdır.

* **7079 Alaşımı (%4.3 Zn - %3.3 Mg - %0.6 Cu - %0.2 Mn - %0.2 Cr)** : Yüksek mukavemetli ve ağır bölümlerde kullanılır. Uçak yapı elemanlarında uygulama alanı vardır. Yoğunluğu 20°C’ de 2.74 gr/cm³’tür. Tam tavlama, 413°C’ de 2-3 saat bekletilerek yapılır. Havada soğutulur. Havada soğutma, eğer 232°C de 6 saatlik bir stabilizasyon tavlamasınca izleniyorsa, tatmin edicidir.

* **7178 Alaşımı (%6.8 Zn - %2.7 Mg - %2.0 Cu - %0.3 Cr)** : 20° C’ deki yoğunluğu 2.82 gr/cm³’tür. Kesme gerilmesi mukavemeti, çekme mukavemetinin yaklaşık 0.55 katıdır. 260-455°C arasındaki sıcaklıklarda çalışabilir. 413°C’ de 2-3 saat bekletilerek tam tavlama tabi tutulur. Eğer sonradan 232°C’ de 6 saat tutulmak suretiyle bir stabilizasyon işlemine tabi tutulursa, havada soğutma yeterlidir.

Dökme alüminyum alaşımlar, döküm yapılarak kum veya madeni kalıplarda elde edilen alaşımlardır. Özellikleri döküm şekline bağlı olarak değişir. Alüminyum birçok metallere alaşım yapar. Alüminyumun önemli alaşım elemanlarından biri silisyumla yapılan alaşımlardır. %5-%12.5 arasında silisyum katılan alüminyum alaşımları döküm sıcaklığında akıcı olurlar. Silisyum miktarı arttıkça döküm iri taneli olur. Silisyum-Alüminyum alaşımları korozyon direnci, tokluluk, dövülebilme ve dökülebilme özellikleri bakımından Al-Cu alaşımlarından üstündür. Mimaride, süslemecilikte, deniz motorlarının gövde ve bloklarının yapımında, motor parçalarında, sızdırmazlık istenen yerlerde ve korozyon direnci istenen yerlerde Al-Si alaşımları kullanılır. Alüminyum, Zn ve Mg ile de alaşımlar yapar. Alüminyumun Mg ile yaptığı alaşımlar üstün korozyon direncine sahiptir ve silisyum oranı az olan alaşımlardan daha dayanıklıdır. Alüminyumun Zn ile yaptığı alaşımlar ucuzdur ve sertlik bakımından iyidir. Buna karşılık ağırdır ve korozyon direnci azdır.

* **142 Alaşımı (%4 Cu - %2 Ni - %1.5 Mg) :** Çok yüksek sıcaklık mukavemeti istenen yerlerde kullanılır. Uçak jeneratör yuvalarında, pistonlarında, hava soğutmalı silindir kafalarında kullanılır. 20°C' deki yoğunluğu 2.81 gr/cm³. Elastiklik modülü 14927.53, rijitlik modülü 5579.7 N/cm²' dir. Poisson oranı 0.33'tür. Kum döküm tipleri 345 °C' de tavllanır. Döküm sıcaklığı kum döküm de 677-788 °C arasındadır. Sürekli dökümde de bu sıcaklık aralığında döküm yapılır. 142 alaşımından parçalar, 2117-T4, 2017-T4 dövme alüminyum alaşımlarından yapılma perçinlerle birbirlerine bağlanabilir. 4043 alaşımıyla metal ark kaynağı, karbon ark kaynağı ve argon koruyucu gaz atmosferinde TIG kaynağı yapılabilir. Kaynak tozu gerekmez.

* **195 Alaşımı (%4.5 Cu) :** Yüksek çekme özelliklerinin ve iyi işlenebilirliğin istendiği durumlarda uygulama alanı vardır. Uçak tekerleğinde, bağlantılarında kullanılır. 20°C' deki yoğunluğu 2.81 gr/cm³'tür. Elastiklik modülü 14492, rijitlik modülü 5434 N/cm²' dir. 345°C de tavllanır. Bu sıcaklıkta 2-4 saat beklenir. 2117-T4 ve 2017-T4 alaşımlarıyla perçin bağlantısı yapılabilir. 4043 alaşımıyla atomik-hidrojen kaynağı, metal ark kaynağı, karbon ark kaynağı ve argon atmosferi altında TIG kaynağı yapılabilir.

* **B195 Alaşımı (%4.5 Cu - %2.5 Si) :** Yüksek çekme özelliklerinin ve iyi işlenebilirliğin aynı anda gerektiği durumlarda uygulanır. Uçak bağlantıları, silah kontrol parçaları, uçak tekerleri uygulama alanlarıdır.

* **220 Alaşımı (%10 Mg) :** Yüksek mukavemet ve uzama, korozyona direnç ve çok iyi işlenebilirlik istendiğinde kullanılır. Uçak bağlantılarında, gerilme ve şok direnci

gerektiren karışık dökümlerde kullanılır. 20°C' deki yoğunluğu 2.57 gr/cm³'tür. Çekme gerilme mukavemeti 69.56, basma gerilmesi mukavemeti 39.13, elastiklik modülü 13768.1, kesme mukavemeti 49.3 N/cm²' dir. Yorulma limiti 500 milyon tur kullandıktan sonra 11.6 N/cm²' dir. 6053-T4 alaşımı ile perçin bağlantıları, nokta ve alın kaynakları yapılabilir.

* **355 Alaşımı (%5 Si - %1.3 Cu - %0.5 Mg) :** İyi dökülebilirliğin, kaynak edilebilirliğin ve basınç altında sızdırmazlığın gerektiği uygulamalar, tipik kullanımlarıdır. Uçak kompresör kaplamalarında, sıvı soğutmalı uçak motor kraterlerinde kullanılır. 20°C 'deki yoğunluğu 2.71 gr/cm³ 'tür. Elastiklik modülü 14782.6, rijitlik modülü 5507 N/cm²' dir.

* **356 Alaşımı (%7 Si - %0.3 Mg) :** Çok iyi bir dökülebilme ve kaynak edilebilme, basınç altında sızdırmazlığa ve korozyona çok yüksek direncin istendiği yerlerde kullanılır. Uçak pompa parçaları, uçak bağlantı ve kontrol parçaları tipik kullanımlarıdır. 20°C' de yoğunluğun 2.64 gr/cm³'tür [40-44].

Alüminyum kolay soğuyup ısıyı emen bir metal olması, yumuşak ve işlenmesinin kolay olması nedeniyle birçok sektörde kullanılan bir metaldir. Alüminyum ve alaşımlarının ham madde halinden belirli bir şekle dönüştürülürken, parça resmine uygun geometrik boyut ve yüzey özelliklerini dikkate alarak üretim işlemini gerçekleştirmek oldukça önemlidir [39,45]. Bu da talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğini oluşturmaktadır. Klasik talaşlı işleme metotları arasında, endüstriyel mekanik parçaların üretiminde genellikle son adım olan ve sanayide en yaygın kullanılan talaş kaldırma işlemlerinden biri de delik delme işlemidir [45]. Alüminyum ve alaşımlarının işlenmesinde delme işlemi önemli bir yer tutmaktadır. Burada sağlanacak performans artışları maliyetlere ve kaliteye kayda değer katkılarda bulunacaktır.

1.3.2. Delme İşlemi

Malzemeler üzerinde silindirik boşluklar oluşturma işleminin tümüne delme adı verilir. Delme iki amacı gerçekleştirmek için yapılır:

- 1) Yüzeyler arasında perçin, vida ve pim gibi ara elemanlar ile bağlantı sağlamak,
- 2) Kavrama, mil ve aks gibi makine elemanlarının yataklamasını sağlamak [45].

Talaş oluşumunun makine parçalarının imalatında ve diğer endüstriyel işlemlerde önemli bir sorun olduğu bilindiğinden, matkapla delme işlemi sırasında minimum talaş

oluşmasına neden olacak kesme hızı, uç açısı, devir başına ilerleme miktarı gibi parametrelerin optimum değerlerini belirlemek, maliyetin minimuma indirgenmeye çalışıldığı günümüz teknolojisi açısından çok önemlidir [46].

Delme sırasında talaş oluşumunun temel nedeni, matkap ucunun iş parçasını belli bir hızda ve devirde kesmesi ve malzemenin buna verdiği mekanik tepkidir. Matkap ucunun hareketi esnasında, matkap tezgâhına uygulanan güç matkap kesici kenarının iş parçasına baskı yapmasını sağlar. Matkap kesme ağzının etkisiyle iş parçası belirli bir baskıya maruz kalır ve işlenen malzemedен talaş adı verilen parçalar kopmaya başlar. Bu olay matkap ucunun bağlı olduğu milin matkap motorundan aldığı güce bağlı olarak gerçekleşir. Yeterli bir kuvvet ile bastırılan matkap ucu iş parçasını daha etkili bir şekilde keserek, iş parçasında arzu edilen deliklerin elde edilmesini sağlar [45-47].

Delme olayında matkap ucu ile iş parçası arasındaki sürtünme kuvvetine bağlı olarak ısı açığa çıkar. Bu durum ısı işlem görmüş matkap ucunun iç yapısında değişikliklere ve matkabın dönme hareketinde zorlanmaya neden olur. Bu ısı oluşumunu azaltmak için genellikle madeni ve organik kesme sıvıları kullanılır.

Matkapla yapılan delme işlemi üç farklı eksenlerdeki kesme hareketinin birleşiminden meydana gelir. Birincisi, matkap ucunun kendi çevresinde dönmesi ile diğer ikisi ise matkap ucunun eksenine doğrultusunda ilerlemesi ile meydana gelir [48]. Bu işlemi gerçekleştiren matkap tezgâhları üç kısımdan oluşur:

- 1- Matkap ucunun dönme hareketini veren elektrik motoru
- 2- Matkap ucunun dönme sayısını belirleyen bir hız kutusu yada kayış-kasnak sistemi
- 3- Matkap ucunun takıldığı iş mili

Matkap tezgâhı çeşitleri;

- El breyizi
- Masa tipi sütunlu matkap tezgâhları
- Sütunlu matkap tezgâhı
- Radyal matkap tezgâhı
- Yatay delik delme tezgâhı
- Çok milli matkap tezgâhı
- Hidrolik kumandalı matkap tezgâhları

El breyizleri, kolla ve elektrikle çalışanlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kolla çalışanlar basit yapıdadırlar. Bir dayanak, mandren ve dairesel hareketi sağlayan bir koldan

ibarettir. Elektrikle çalışanlar ise kumanda tertibatı, elektrik motoru ve doğrudan doğruya motor miline takılı bir mandrenden ibarettir.

Masa tipi sütunlu matkap tezgâhları, endüstride kullanılan en basit matkap tezgâhlarıdır. Talaşı elle verilen bu tezgâhlara talaş sesinin duyulmasından dolayı duyarlı tezgâhlar da denir. Büyük yapılı tezgâhların üzerinde bulunan organların aynısı masa tipi matkap tezgâhları üzerinde de vardır. Masa üzerine montaj edildikleri gibi bir sehpa üzerine de bağlanabilir. Bu tezgahlarla genellikle 12.5 mm çapa kadar delikler delinebilir.

Sütunlu matkap tezgâhları, daha çok orta büyüklükteki işler için elverişli olup, çalışma prensipleri masa matkaplarına benzerdir. Kayış kasnaklarla veya dişli çarklı sistemlerle çalışır. Silindirik ve prizmatik sütunlu olmak üzere değişik tiplerde yapılırlar. Silindirik sütunlularda tablanın eksen etrafında hareketi kolaylaşırken, prizmatik sütunlularda bu kolaylık yoktur. Yalnız, prizmatik sütunlularda tabla aşağı yukarı hareket eder. Yer tipi olarak sağlam yapılı olan bu tezgâhlar hassas işler için elverişlidir [49].

Radyal matkap tezgâhı, sütunlu matkap tezgâhlarında sütun ile matkap mili arasındaki mesafe yeterli olmadığı durumlarda yaygın olarak kullanılır. Ayrıca ağır parçaları eksenli olarak delmek daha güç, hatta imkânsızdır. Bu elverişsizlikler, radyal matkap tezgâhları ile giderilmiştir. Büyük ve ağır parçalar üzerine birden fazla delik delmek için elverişlidirler. Radyal matkap tezgâhının geniş bir çalışma alanı vardır. Büyük iş kapasitesi ve ayar kolaylığı bakımından çok daha büyük ölçülü tezgâhların yerini almıştır. Bu tezgâhlar genel olarak bir sütun etrafında 360° dönebilen ve üzerinde yatay kayıt bulunan bir kol ve bu kolun yatay kaydı üzerinde ileri geri hareket edebilen bir matkap durumundadır. Çok çeşitli devir sayılarına sahip oluşu hem büyük hem de küçük matkaplarla delmeyi mümkün kılar. 300-400 mm derinliğe kadar delikler delinebilir.

Yatay delik delme tezgâhlarında, kesici alet yatay bir eksen etrafında döner. Kesici aleti taşıyan fener mili kendi taşıyıcısı içerisinde yatay olarak ilerleyebilmekle beraber düşey olarak da hareket edebilir. Bu tezgâhlarla delme işleminden başka frezeleme, tormalama ve raybalama işlerini de yapmak mümkündür. Ayrıca, yatay delik delme tezgâhlarında, diğer tezgâhlarda işlenmesi zor, ağır ve büyük gövdeli parçalar üzerine delikler açmak mümkün olmaktadır [48-50].

Çok milli matkap tezgâhları, seri imalatta kullanılan tezgâhlardır. İş parçası üzerinde birden fazla delik delmek için kullanılır. Miller düşey konumda olmak üzere tek bir tablası vardır. Mil sayısı 4 ile 48 arasındadır. Çalışma prensipleri bakımından diğer tezgâhların

aynısıdır. Yalnız gördükleri iş bakımından özel tezgâhlardır. Peş peşe gelen işlemler için bir milden ötekine kaydırılarak delme işlemleri tamamlanmış olur.

Hidrolik kumandalı matkap tezgâhları, yeni teknoloji ile üretilen tezgâhlar olup, çok sayıda özdeş parçalanın yapımı için elverişlidirler. Bu tezgâhlar hidrolik prensiplerle basınçlı yağ vasıtası ile mekanik hareketler elde edilerek çalıştırılır. Matkabın dönmesi hidrolik motorlarla sağlanır. Tablanın ileri geri ve aşağı yukarı hareketi elektronik kumanda ile hidrolik güçle sağlanır. Bu tezgâhlarda hidroliğin avantajlarından yararlanılarak zamandan tasarruf ve iş çabukluğu sağlanmış olur.

Delme işlemi malzemenin cinsine, deliğin türüne ve çalışma şartlarına bağlı olarak farklı tipte matkap uçları ile gerçekleştirilebilir [45-51]. Bu matkap ucu tipleri aşağıda açıklanmıştır:

- a. Helisel matkap uçları,
- b. Doğrusal oluklu matkap uçları,
- c. Düz (namlu) matkap uçları,
- d. Yağ delikli matkap uçları,
- e. Havşa veya yuva matkap uçları,

a. Helisel Matkap Uçları: Teknikte en çok kullanılan matkaplardır. Silindirik bir gövde ve üzerine açılmış iki helis oluk ile bir saptan ibarettir (Şekil 1.11). Matkap sapları 10 mm çapa kadar silindirik, daha büyük çaplarda ise konik olarak üretilirler. Helisel matkaplar aşağıda belirtilen kısımlardan oluşur:

Uç: Matkabın konik kısmıdır. Taşlama sonunda elde edilir.

Gövde: Matkabın helisel oluk bulunan kısmıdır.

Sap: İş miline giren kısımdır.

Helisel Oluk: Oluklar, matkabın boşaltılmış kısımlarıdır. Bu kısımlar talaşın dışarı atılmasına ve soğutucunun içeri girmesine yardımcı olur.

Dil: Matkabın konik sapının düzeltilmiş kısmıdır. Matkabın çıkarılmasını sağlar.

Ağızlar: Matkabın kesici ayrıtlarıdır.

Zırh: Helisel kanallar boyunca meydana getirilmiş dar bir yüzeydir. Matkabın çapını belirterek merkezlemesini sağlar.

Öz: İki helisel oluk arasında kalan dar kısımdır, omurgayı oluşturur.

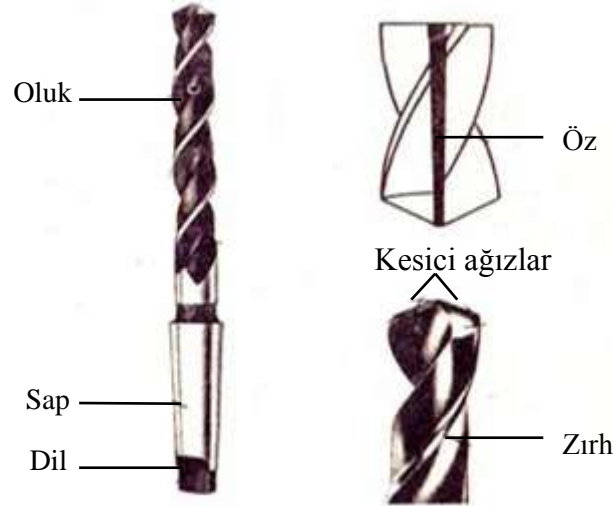
Ölü Merkez: Matkap iyi bilenmişse iki kesici ağzın kesiştiği noktadır.

b. Doğrusal Oluklu Matkaplar: Pirinç, bakır ve yumuşak metalleri delmek için kullanılan matkaplardır. Soğutucu olarak terebentin kullanıldığı zaman, yumuşatılmamış çeliklerin ve benzeri malzemelerin delinmesinde kullanılabilir.

c. Düz Namlulu Matkaplar: Derin veya uzun delikleri açmak için kullanılır. Talaşları dışarı çıkarmak için matkap sık sık dışarı çıkarılır. Düz matkaplar kolay ve çabuk yapılırlar. Uçlarına punta açılarak sap kısmı istenilen şekilde silindirik olarak işlenir.

d. Yağ Delikli Matkaplar: Büyük çaptaki delik parçalar üzerine seri halde delikler açmak için matkapların gövdesine boydan boya helisel yağ delikleri açılarak kesici ağızların yağlanması sağlanır.

e. Havşa veya Yuva Matkabı: Delinmiş deliklerin ağız kısımlarına havşa veya silindirik yuva açar. Bu matkaplar delik delmez. Punta matkapları da bu gruba girer.



Şekil 1.11. Helisel matkabın yapısı

Matkap uçlarının delme işlemlerini gerçekleştirmesi için belirli uç açılara sahip olması gereklidir. Delinecek malzemenin cinsine göre matkap kalitesi ve tipi seçilmeli, matkap ucu delinecek malzemeye uygun biçimde bilenmelidir. Matkapların dört adet kesme açıları vardır (Şekil 1.12). Bunlar:

- Uç açısı
- Helis (talaş) açısı
- Boşluk açısı
- Uç kenar açısı (yardımcı kesici kenar açısı)

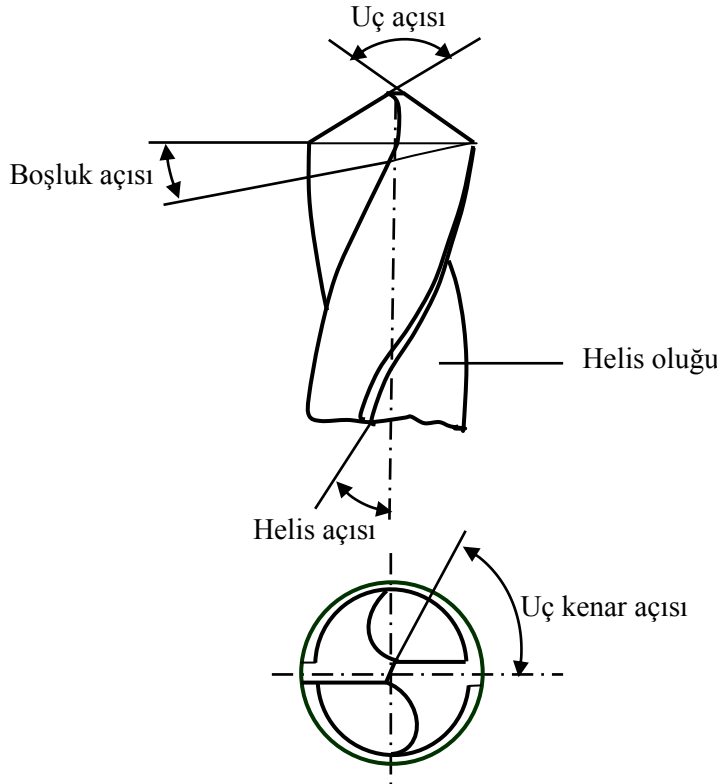
Uç Açısı: Matkap uçlarının uç açısı standardı 118° olarak belirlenmiştir. Ancak değişik metallerin delinmesi işleminde malzemeye uygun olarak uç açıları değişebilir. Çelik ve

alaşımını delmek için uç açısı 118° , kırılğan malzemelerin delinmesinde ise, 130° 'lik uç açısı kullanılır.

Helis Açısı: Matkap üzerindeki helis kanallarını oluşturan açıdır. Kesme sonucunda ortaya çıkan talaşlar helis kanallarından dışarıya çıktıkları için helis açısı olarak da adlandırılır. Helis açısı fabrika üretimi sırasında oluşturulmaktadır, daha sonradan değiştirilmesi olanaksızdır. Bundan dolayı delinecek malzemeye göre matkap alırken dikkat edilmelidir [51].

Boşluk Açısı: Kesme esnasında matkabın kesici ağızlarının arka yüzeyinin kesilme yüzeyine sürtünmesini önlemek için verilen açılara boşluk açısı denir. Matkap ucunu bileme esnasında uç açısının bulunduğu yerden arka yüzeye doğru $6^\circ - 8^\circ$ 'lik boşluk açısı verilmektedir. Boşluk açısının az yada çok verilmesi matkap ağzının kırılmasına ve körelmesine neden olur. Bu yüzden bileme esnasında boşluk açısına dikkat edilmelidir.

Uç Kenar Açısı: Boşluk açısı ile oluşan kenarın matkap eksenini ile yaptığı açıdır. Yardımcı kesici kenar olarak da adlandırılan bu kısım tam manasıyla kesme yapmaz. Matkabın üretimi sırasında 55° olarak belirlenmiştir. Matkabın körelmesi durumunda yapılan bileme işleminde, uç kenar açısının tekrar 55° olacak şekilde ayarlanması gerekir [45-52].

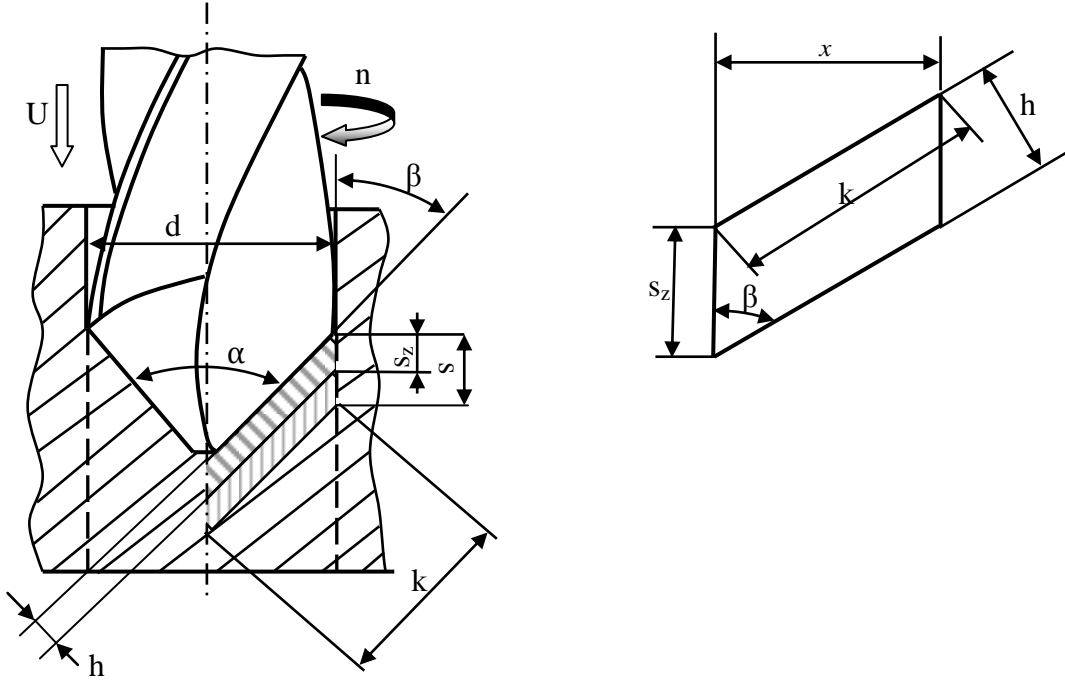


Şekil.1.12. Matkabın kesme ucu

Delik delmede kesme hızı, matkap çapı ve devir sayısı ile doğru orantılı olduğundan kesme hızı;

$$V = \pi \cdot d \cdot n / 1000 \quad (1.1)$$

bağıntısı ile ifade edilir (Şekil 1.13). Burada: d- matkabin çapı (mm), n-devir sayısıdır (d/dak). Kesme ağzının çapına bağlı olarak, kesme hızı ağız boyunca değiştiğinden matkabin çevresinde maksimum, merkezinde ise sıfır olmaktadır. Bu olay, talaş kaldırma olayını ağırlaştırıran bir etkendir. Kesme hızı tayin edildikten sonra $n = 1000V / \pi \cdot d$ bağıntısından matkabin devir sayısı hesaplanır ve tezgâhın kademelerinden, bu hıza en yakın değer seçilir [45,52].



Şekil 1.13. Matkap ile delik delme

İlerleme s (mm/dev), matkabin bir devirde eksenel yönde katettiği mesafedir. Genel olarak matkap ucundaki ağız sayısı "z" ile ifade edilirse, bir ağza karşılık gelen ilerleme ve hız sırası ile aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$s_z = s / z \quad (1.2)$$

$$U = s \cdot n = z \cdot s_z \cdot n \text{ (mm/dak)} \quad (1.3)$$

Şekil 1.13 yardımıyla talaş boyutları ve kesiti için ise aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

$$h = s_z \cdot \sin \beta \quad (1.4)$$

$$k = x / \sin \beta \quad (1.5)$$

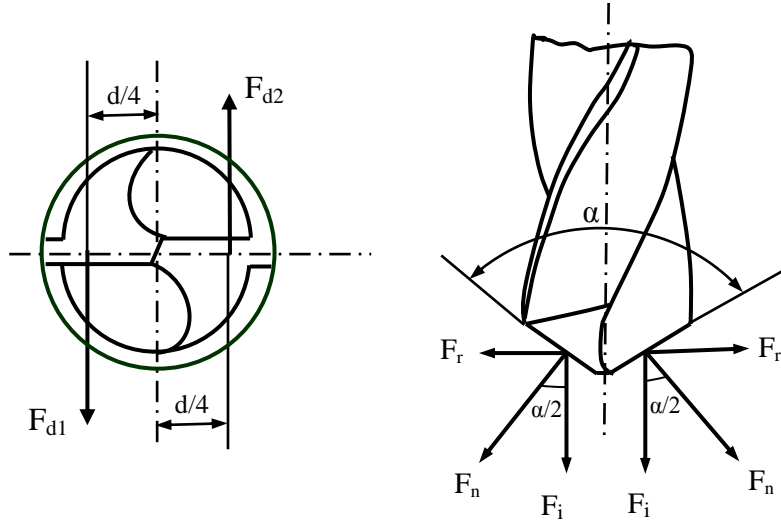
Bu durumda, iki ağızlı bir matkapta bir ağza karşılık gelen talaş kesiti için, $s_z = s/2$ değeri ile aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$A_{s_z} = k \cdot h = s_z \cdot \sin \beta \cdot \frac{x}{\sin \beta} = \frac{s_z \cdot d}{2} = \frac{s \cdot d}{4} \quad (1.6)$$

Toplam talaş kesiti için ise aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$A_s = 2 \cdot A_{s_z} = 2 \cdot s_z \cdot x = s \cdot x = \frac{s \cdot d}{2} \quad (\text{mm}^2) \quad (1.7)$$

Bu ifadelerde, k ve h sırasıyla talaş genişliği ve kalınlığıdır. Kesme kuvvetleri ve delme sırasında bir ağza karşılık gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin bileşenleri Şekil 1.14'de görüldüğü gibidir. Burada F_d kesme kuvveti, F_i ilerleme kuvveti ve F_r radyal kuvveti göstermektedir.



Şekil 1.14. Matkapla delmede kesme kuvvetleri

Görüldüğü gibi ağzların konumu itibarıyla her ağzda oluşan radyal kuvvetler birbirini dengelemektedir. Dolayısıyla delme işleminde sadece F_d ve F_i kuvvetleri etkili olmaktadır. Bu durumda matkap ucundaki toplam kesici ağız sayısı dikkate alındığında toplam kesme kuvveti aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$F_d = z \cdot F_{d1} \quad (1.8)$$

Burada F_{d1} bir ağza karşılık gelen kesme kuvvetidir. Bu kuvvet $F_{d1} = A_{sz} \cdot k_s$ bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntıdaki k_s toplam özgül kesme kuvveti olup, $k_s = 1.2k_{sh}$ ifadesi ile hesaplanır. Buradaki k_{sh} özgül kesme kuvveti değerleridir ve 1.2 katsayısı ise matkapla talaş kaldırma işleminin özelliklerini yansıtan düzeltme faktörüdür. İki ağızlı bir matkap için toplam kesme momenti ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$M_s = F_d \cdot \frac{d}{4} \quad (\text{kp.mm}) \quad (1.9)$$

Bu denklemde gerekli düzenlemeler yapılırsa kesme momenti için 1.10 ifadesi yazılabilir.

$$M_s = \frac{d^2 s k_s}{8 \cdot 10^3} \quad (\text{kp.mm}) \quad (1.10)$$

Toplam ilerleme kuvveti ise aşağıdaki bağıntı ile tayin edilir.

$$F_i = 2 \cdot F_{i1} = 2 \cdot F_{d1} \cdot \sin \beta = F_d \cdot \sin \beta \quad (1.11)$$

Delme sırasında harcanan güç, kesme ve ilerleme için gereken güçtür. $\omega = \pi \cdot n/30$ ve $M = P/\omega$ bağıntıları dikkate alınırsa kesme gücü için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$P_d = M_d \cdot \omega = \frac{\pi}{30} M_d \cdot n = \frac{M_d \cdot n}{9550} \quad (\text{kp.m/sn}) \quad (1.12)$$

İlerleme gücü ise aşağıdaki ifade ile hesaplanır [52].

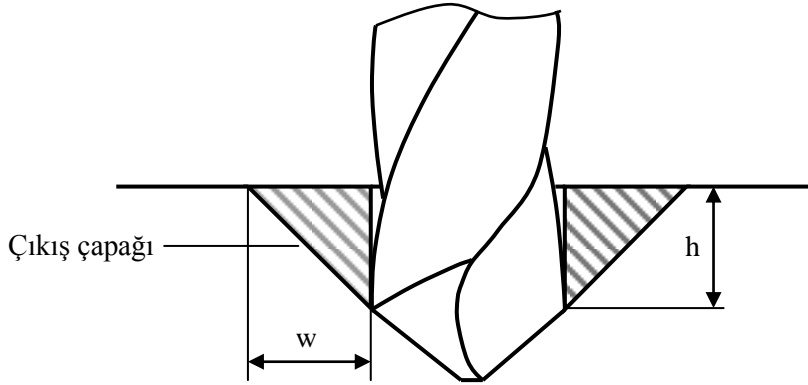
$$P_i = F_i \cdot v = \frac{F_i \cdot s \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad (\text{kp.m/sn}) \quad (1.13)$$

1.3.3. Delme İşleminde Çapak Oluşumu

Delme işlemi hassas bir işlem olup, işlemin iyi bir şekilde sonuçlanması gerek kullanılan malzemenin özelliklerine gerekse seçilen matkap parametrelerine bağlıdır. Bu parametreler doğru seçilmediği takdirde çeşitli problemler meydana gelmektedir. Bu problemlerin en önemlilerinden biri çapak oluşumudur. Çapak, malzemenin işlenmesi sırasında plastik akış sonucu oluşan çıkıntılara verilen genel bir isimdir. İşlenmiş parçaların özellikle kenar kısımlarında meydana gelen çapak oluşumunun sebeplerini anlayabilmek

oldukça önemlidir. Çünkü çapak oluşumu iş parçasının hassasiyetini ve kalitesini önemli derecede etkilemektedir. Örneğin kenar kısımlarda çarpılma payı oluşturması, montajı zorlaştırması ve bir sonraki talaş kaldırma işleminde, işlenmiş yüzeyde deformasyonlar oluşturması gibi birçok alanda etkisini göstermektedir [53].

Delme işleminde çapak oluşumu işleme koşulları, malzemenin mekanik özellikleri ve takım geometrisi gibi birçok parametreden etkilenen karmaşık bir problemdir. İstenilen yüzey koşullarını sağlayabilmek için, çalışma parametreleri parçanın yüzey özelliği ve işlevselliğine uygun bir şekilde seçilmelidir [54]. Oluşan çapak istenmeyen bir yan üründür ve işlenen parçanın üretim maliyetini önemli derecede etkiler. Eğer işleme sürecinde oluşan parça, görevini normal bir şekilde yerine getiriyor ve kullanıcının talebine cevap veriyorsa, oluşan çapaklar dikkate alınmaz ve ihmal edilebilir. Çapak, işlenen parçanın hem girişinde hem de çıkışında oluşabilir. Çıkış çapakları, büyük boyutlu olmaları ve çapak temizleme işlemlerinin çok zor olması nedeniyle giriş çapaklarına göre daha önemlidir. Bu yüzden birçok araştırma çıkış çapakları üzerine odaklanmıştır. Çapak büyüklüğü Şekil 1.15’ de görüldüğü üzere, çapak yüksekliği (h) ve kalınlığı (w) şeklinde tanımlanır [53-55].



Şekil 1.15. Çapak yüksekliği ve kalınlığı

Çapak şekli ve boyutu oldukça önemlidir, çünkü bu boyutlar hassas delikler ve parçanın karmaşıklığına bağlı olarak maliyeti arttırmaktadır. Çapak temizleme maliyeti, yüksek hassasiyet gerektiren uçak motorları gibi parçalarda, üretim maliyetinin %30’ unu, otomobil parçalarının üretiminin ise %14’ ünü oluşturur. Bu maliyeti azaltmak için en iyi stratejilerden biri çapak oluşumuna neden olan temel olayları tespit ederek, bu olaylara karşı önlem almaktır [56,57].

Çapak temizleme işlemi genellikle zımpara kullanılarak el ile veya ince işleme takımları ile gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple bu işlem oldukça zaman almakta, özellikle el ile yapılan çapak temizleme işlemlerinde, çapak büyüklüğüne bağlı olarak zaman üssel olarak artmaktadır. Oluşan çapakların delik ve yüzey kalitesini düşürmesi, önemli hasarlara neden olması, temizleme işlemlerinin el ile yapılması ve bu işlemin oldukça maliyetli olması, üreticileri otomasyonel çapak temizleme işlemlerine yöneltmiştir. Fakat çapaklar kontur eğrilerine sahip oldukları için, çapak temizleme işleminde, otomasyonel uygulamalar oldukça zor ve maliyetlidir. Bu yüzden yapılması gereken, çapak oluşumunun nedenlerini araştırarak, iş parçası daha üretim aşamasındayken çapak boyutlarını minimum seviyeye indirmektir. Çapak şeklinin oldukça karmaşık olması sebebiyle, çapakların sınıflandırılması da oldukça zordur. Bu nedenle çapak oluşumunun etkin bir şekilde önlenmesi için tasarım aşamasından üretim aşamasına kadar bütün imalat zinciri göz önüne alınmalıdır [53,57-62].

Eğer delinecek malzeme sünek ise, malzeme delme sırasında üzerine gelen ilerleme kuvvetinden dolayı uzama eğilimindedir ve sonuç daha büyük bir çapak oluşumudur. Bununla beraber, delinecek malzeme gevrek bir malzeme ise delme esnasında sünek malzemeye göre daha az uzayacağından daha küçük bir çapak oluşmaktadır. Çapak temizleme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle çapak boyutuna bağlı olarak çapak şeklinin belirlenmesi önemlidir. Şekil 1.16' da delme işlemi sonrası meydana gelen çapak şekillerinin sınıflandırılması verilmiştir. Çapaklar şekilden de görüldüğü üzere, üç farklı şekilde oluşmuştur. Bu çapaklar daha önceki araştırma sonuçlarına göre, üniform çapak, yarı sürekli veya yarı taç çapak ve taç çapak olmak üzere üçe ayrılırlar. Delik çevresinde kalınlığı ve yüksekliği düzgün şekilde değişen çapak üniform çapak olarak adlandırılır. Taç çapak, deliğin çevresine dağılır, yükseklik ve kalınlığı düzenli olmayan bir yapıya sahiptir. Bu çapak türüne daha büyük ilerleme kuvveti ve plastik deformasyonun daha erken oluşması neden olur. Malzemenin en yoğun tabakasının alt kısmında plastik deformasyon başlar ve matkap ilerleme kuvvetine bağlı olarak delik çıkışına doğru ilerler. Bundan dolayı genellikle, deliğin çıkış yüzeyinin merkez bölgesinde ilk kırılma meydana gelir ve taç çapak oluşur. Değişken çapak ise taç çapak ile üniform çapak arasında değişken durumda oluşan bir çapak türüdür [56-63].



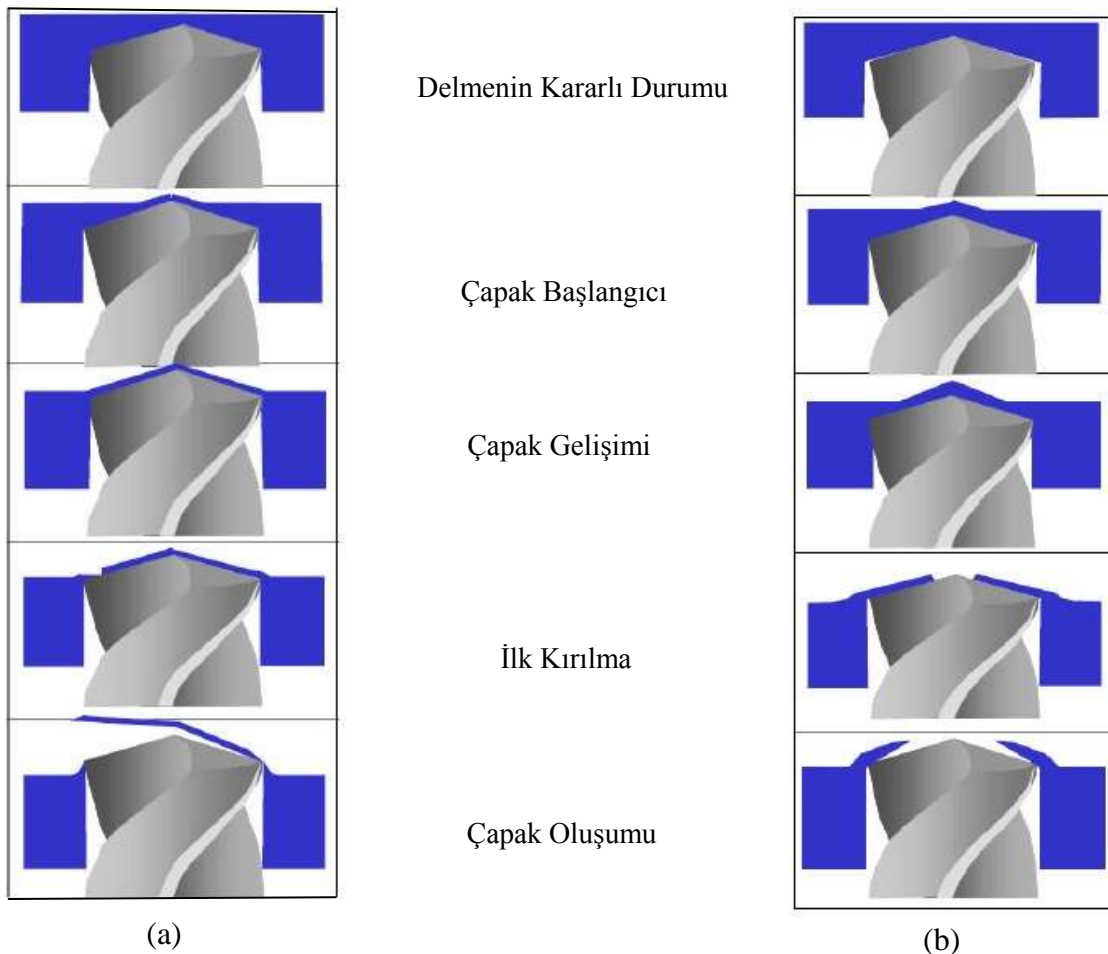
Şekil 1.16. AISI 4118 malzemenin delinmesi sonrası oluşan çapak tiplerinin sınıflandırılması

Metal malzemelerin delinmesinde, çapak oluşumu ve plastik deformasyon sıkça görülen bir durumdur. Özellikle alüminyum malzemelerde çapak oluşumu ve oluşan çapakların minimum seviyeye indirilmesi gün geçtikçe önem kazanan bir problemdir. Çapak, delme işlemi esnasında deliğin merkezinde matkabın ilerlemesinden kaynaklı, yüksek basınçtan dolayı oluşan plastik şekil değiştirme durumudur [61, 62].

Çapak oluşumu sonlu elemanlar yönteminden yararlanılarak Dornfeld ve Park [59] tarafından, kararlı durum, çapak başlangıcı, gelişimi, ilk kırılma ve çapak oluşumu olmak üzere beş kısımda modellenmiştir (Şekil 1.17). Delmenin kararlı durumunda matkap ucu tamamen iş parçasına girmiştir, çapak başlangıcı evresinde matkap, deliğin çıkışına doğru ilerlerken plastik deformasyondan dolayı bir çıkıntı oluşur. Çapak gelişim evresinde, plastik deformasyondan dolayı oluşan çıkıntı bütün yönlerde büyür ve genişler. İlk kırılma durumunda, çıkıntı maksimum noktasına kadar genişler ve büyümesi sona erer, bunun sonucu olarak matkap ucunun esnekliğinin düşük olmasından dolayı ilk kırılma meydana gelir. Son durumda ise çıkıntı yırtılır ve içeri doğru kıvrılarak çapağı oluşturur. Uniform çapakta ilk kırılma, kesme kenarında meydana gelir ve kapak şeklinde bir çıkıntının oluşmasına neden olur. Taç çapak da ise ilk kırılma, matkabın merkezinde meydana gelir ve diğer kısımlarda plastik deformasyon oluşur.

Çapak üzerine yapılan araştırmalarda karşılaşılan en önemli sorunlardan biri çapağın karmaşık ve düzensiz şekline ve boyutuna bağlı olarak, oluşan çapakların hassas bir şekilde ölçülememesidir. Bu yüzden çapağın olduğu kenar yüzeyleri birkaç kısma ayrılarak, işlenen parçaya ait çapak yüksekliği ve kalınlığı ayrı ayrı ölçülür. Bu kısımların her birinde çapağın en yüksek tepe noktası ile en düşük çukur noktasının boyu ölçülür. Daha sonra bu ölçümlerin ortalama değeri alınır. Bu ölçüm, çapak kalınlığını ve yüksekliğini baz alarak işlenen kenarın kalitesi hakkında önemli bilgiler sunar [63-66].

Çapak geometrisini, özellikle de yüksekliğini ve kalınlığını ölçmek amacıyla kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler temaslı ve temassız ölçüm yöntemleri olarak ikiye ayrılabilir. Temaslı ölçüm yönteminde çapak geometrisini ölçmek için genelde bir iğne ve yükseklik ölçüm aleti kullanılır. Temassız yöntemler ise optik mikroskop, Koordinat Ölçüm Makinesi (CMM), lazer-beyaz ışık metodu ve görüntü işleme (imaj proses) tekniği olmak üzere dörde ayrılır. Optik mikroskop metodunda iş parçası çıkış yüzeyi düzlemi ile çapağın tepe yüzeyi arasındaki odaksal nokta mesafesi çapak yüksekliğini verir. Geçiş teli çapağın tabanına getirilerek bu nokta sıfır noktası olarak ayarlanır ve sonra çapağın en üst noktasına hareket ettirilerek okunan değer kaydedilir. İstenen doğruluk derecesi ve hassasiyete bağlı olarak delik çevresi boyunca birçok noktadan ölçümler alınarak, çapak yüksekliği ölçülen değerlerin ortalaması olarak belirlenir. Bu yöntemle yapılan ölçümler, çapağın boyutuna ve yönelimine (oryantasyon) bağlı olarak çok hassas olmayabilir ancak bu sınırlamaların üstesinden gelebilmek için çapak ölçümü amacıyla ışık kaynağını birincil ortam olarak kullanan başka ölçüm teknikleri geliştirilmiştir [63-66].



Şekil 1.17. Çapak oluşumunun aşamaları a) Uniform çapak oluşumu b) Taç çapak oluşumu

Lazerle apak ölüm yönteminde, lazer ışını nokta boyutu ve çapağın kenarından gelen yayılma yansıması, çok hassas lazer sensrlerince algılanarak çapağın boyutu ve şekli belirlenir. Genelde lazer ışınının nokta boyutu 30 μm'dir. Lazerden saçılan ışık lensler üzerinden Hassas Görüntü Algılayıcı'ya (Charged Couple Device-CCD) kaydedilir. apak yüksekliğı değıstike, buna karşılık gelen yansıma açısı değışir ve buna bağlı olarak da CCD'deki ışının ışık şiddetinin tepe noktası değışir. CCD cihazı bu değışimleri ve bu değışimlere karşılık gelen apak yüksekliklerini bir yazılım yardımıyla hesaplar.

apağın kalınlığını ve yüksekliğini belirlemek amacıyla son zamanlarda geliştirilen yöntemlerden biri de imaj proses yöntemidir. Bu teknikte iş parçasının üstüne CCD cihazı yerleştirilmiştir. Lenslerin znrlğine bağlı olarak oluşan görüntünün grnebilirliğı değışebilir. İş parçasının anlık görüntüleri alınır ve bu görüntüler deliğın çevresi boyunca apak profilini ölçmek amacıyla kullanılır. Delik evresi boyunca farklı pozisyonlarda pek çok sayıda görüntü alınır ve bu görüntülerin ortalama değeri bir yazılım yardımıyla hesaplanarak apak yüksekliğı belirlenir. Ölüm hassasiyetinin arttırılması amacıyla daha yüksek çözünürlüğe sahip kameralar kullanılabilir.

1.3.4. Yüzey Pürüzlülüğü

İmalatta istenilen yüzey hassasiyetinin elde edilmesi her zaman önemli performans parametrelerinden biridir. Yüzey hassasiyeti; yüzey pürüzlülüğü, yüzey çatlakları, kimyasal değışme, yanma gibi termal hasarlar ve kalıcı gerilme gibi birçok parametreyi içine alan bir terimdir. Bunlardan yüzey pürüzlülüğü talaş kaldırma işleminde önemli bir performans parametresi olmakta iken; diğerleri ise genelde taşlama işleminin birer çıkış parametresidir.

Bir parçanın yüzeyi iki önemli görüntüsü ile tanımlanır ve kontrol edilir. Birincisi yüzeyin geometrik düzensizlikleri, ikincisi ise yüzey ve yüzey katmanındaki metalürjik değışikliklerdir. Yüzey yapısı; przllğ, dalgalık, yaygınlık, çatlaklar ve çukurluklar ile belirlenir. Yüzey pürüzlülüğü yüzey yapısındaki ince yapıdaki düzensizliklerin bileşiminden oluşmaktadır ve talaş kaldırmanın etkisiyle oluşmaktadır. Dalgalılık; yüzey yapısı üzerindeki daha geniş aralıkların bileşimi şeklinde oluşmaktadır ve genelde, makine ve iş parçasındaki titreşimler sonucu oluşmaktadır. Yaygınlık ise yüzey izlerindeki baskın olan ynlenmelerdir. Çatlaklar ve çukurluklar ise yüzey üzerinde istenmeyen kesintilerdir.

Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi sürtünme, temas deformasyonu, ısı ve elektrik akım yoğunluğu ve temaslı birleştirmelerin sıklığı gibi birçok malzeme problemlerinin yok edilmesi için çok önemlidir. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğü son yıllarda deneysel ve teorik olarak araştırma konusu olmuştur. Gerçek pürüzlülük geometrisi oldukça karmaşıktır ve bu tam olarak tanımlanamaz. Eğer kullanılan parametrelerin sayısı artarsa daha güvenilir bir tanımlama elde edilebilir.

Yüzey pürüzlülük parametreleri fonksiyonellik açısından genlik parametreleri, boşluk parametreleri ve hibrid (karma) parametreler olmak üzere genel olarak üç grupta sınıflandırılır. Pürüzlülük parametreleri iki boyut (2D) yada üç boyutlu (3D) formda hesaplanabilir. 2D profil analizi bilimsel alanlarda ve mühendislik dallarında yarım yüzyıldır çok sık kullanılmaktadır. Son yıllarda 3D yüzey analizlerine olan ihtiyaç artmaktadır. 3D pürüzlülük parametreleri tek bir çizgi yerine bir alan için hesaplanır. 3D pürüzlülük parametrelerini hesaplamak için değişik yazılımlar kullanılmaktadır. Talaşlı imalatta bitirme yüzeylerinin pürüzlülüklerinin tanımlanmasında 2D pürüzlülük ölçüm yöntemleri önemli yer tutmakta ve özdeş parçaların üretilmesinde pürüzlülüğün tanımlanması için sık olarak kullanılmaktadır [67,68].

Yüzey yapısı üç boyutlu yüzey topografisinden oluşan nominal yüzeyden rastgele veya tekrarlı ayrılma şeklindedir. Bu ayrılmaları iş parçasının profilini örnekleyerek ölçmek için mekanik, elektronik ve optik aygıtlar mevcuttur. Gerek ANSI gerekse ISO standardına göre yüzey kalitesi, kabalık, dalgalık, izler ve hatalar olmak üzere dört elemandan oluşmaktadır. Yüzey yapısı ile ilgili olan bu dört bileşenin tanımları şöyle özetlenebilir.

Pürüzlülük veya kabalık: İmalat işlemlerinden kaynaklanan genellikle daha ince düzensizliklerden oluşur. İlerleme izlerindeki belirsizlikler örnekleme uzunluğunu sınırlar.

Dalgalık: Dalgalık, pürüzlülük örnekleme uzunluğundan daha büyük olan geniş aralıklı düzensizlikleri kapsar ve dalgalık, tezgâh, titreşim, ısıl davranış veya kesici takım aşınmasından ileri gelebilir. Pürüzlülük dalgalı bir yüzey üzerinde konumlanmış olabilir. Her ikisi de aynı anda görülebilir. İzlerde, yüzey işleme tarzının doğrultusu normal olarak kullanılan üretim metodu ile belirlenir.

Hatalar: hatalar, bir yerde olan amaçsız düzensizlikler veya yüzey üzerinde geniş aralıklı olarak oluşabilir ancak sıkça oluşmayabilir. Yüzey üzerinde bulunan bu kusurlar; çatlaklar, delikler, artıklar ve çizgiler şeklinde olup bütün bunları kapsar. Aksi belirtilmedikçe kusurların etkisi ortalama pürüzlülük ölçüsüne dahil edilmez.

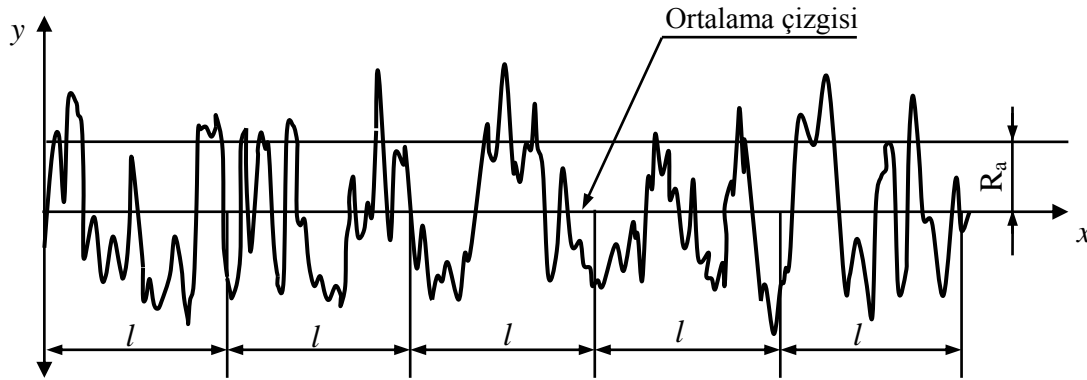
Bitirme yüzeyi: Bir yüzeyin genel kalitesini göstermek için kullanılan geniş bir terimdir. Bitirme yüzeyi, yüzeyin karakteristik tarzı olup spesifik pürüzlülük değerine bağlı değildir. Bitirme yüzeyinin yapısı ve gösterimi ANSI standardında ve ISO 1302’de belirtildiği gibi semboller aracılığıyla da gösterilir. Pürüzlülük ortalama merkez doğrusunda mikro-metre (μm) olarak ifade edilen yüzeyden Aritmetik Ortalama Sapması (AA) olarak tanımlanır. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde kullanılan parametreler aşağıda belirtilen şekilde gösterilir ve adlandırılırlar:

Ra: Pürüzlülük aritmetik ortalama sapması,

Rz: 5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalaması,

Rt (R_v): Tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı.

Ra; Merkez Ortalama Çizgisi (CLA) olarak ta bilinen yükseklik aritmetik ortalaması kalite kontrolünde oldukça sık kullanılan pürüzlülük parametresidir. Şekil 1.18’de gösterildiği gibi, bir örnekleme boyu üzerindeki ortalama çizgisinin altında ve üstünde kalan mutlak düzensiz pürüzlülüklerin aritmetik ortalamasıdır. Bu parametreyi tanımlamak ve ölçmek çok kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında iyi ve genelde küçük değişiklikler için hassas değildir. Burada, X eksenini merkezi çizgiyi ve Y eksenini ise dikey yöndeki salınım doğrultusunu gösterir.

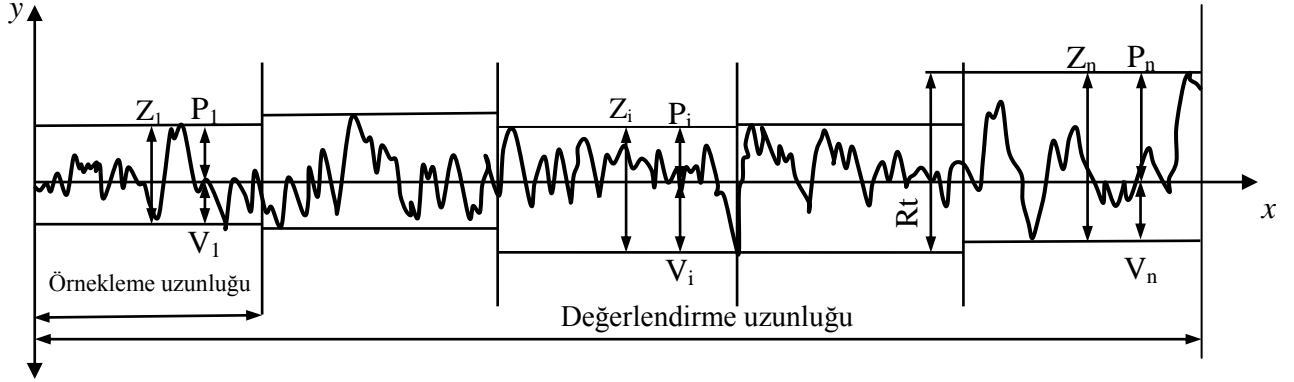


Şekil 1.18. Pürüzlülük aritmetik ortalamasının tanımlanması

Ra, aritmetik ortalama sapması, profilin toplam değerlendirme uzunluğu ($l.n$) boyunca merkezi çizgiden sapmasının mutlak değeridir. Pürüzlülük profili $Y=f(x)$ ile ifade edilir ve (1.14) denklemi ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{1}{l.n} \int_0^{l.n} |f(x)| dx \quad (1.14)$$

Alman Standardı (DIN) ise R_z ' yi profil değerlendirme boyunca en yüksek beş tepe ve en düşük beş çukurun toplamının ortalaması olarak tanımlar. Şekil 1.19'da on nokta yüksekliği parametresinin tanımı gösterilmektedir. R_t (maksimum profil yüksekliği); bu parametre yüksek tepeleri yada derin çukurları ifade etmesi açısından çok hassastır. R_{max} yada R_t , profil değerlendirme boyunca en yüksek tepe ile en düşük çukur arasındaki düşey mesafe olarak tanımlanır (Şekil 1.19).



Şekil 1.19. On nokta yükseklik parametresinin tanımlanması

Pürüzlülük profilinin merkez hattı boyunca beş numune uzunluğunun her birinin zirve (P_i) ve alt değerinden (Z_i) gidilerek DIN standartlarına göre ortalama R_z ve en yüksek değer R_t aşağıdaki formül ile hesaplanır [69].

$$R_z = \frac{(z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5)}{5}, \quad (1.15)$$

$$R_t = Z_{i \max} \quad (1.16)$$

1.3.5. Mikro Sertlik

Kesme işlemi sonrasında, numunelerde meydana gelen ısıdan etkilenen bölgede derinlik boyunca sertlik değişimini belirlemek için mikrosertlik ölçümü oldukça önemlidir. Mikro sertlik ölçümü özellikle çok küçük numunelerin ve ince saçların sertliklerini

ölçmede elverişlidir. Deney malzemesinin sertliğine göre seçilen uygun yükler için, batıcı ucun malzemeye girdiği derinlik hiç bir zaman “ μ ”u geçmez. Mikrosertlik aleti hassas bir alet olup kontrolü otomatiktir. Diğer sertlik ölçme aletlerinden farklı olan yanı, aletin komple metal mikroskobunu ihtiva etmesidir. Mikrosertlik deneyi için iki standart uç kullanılır. Birincisi 136° ’lik tabanı kare olan piramit uçtur (vickers ucu). Diğeri ise knoop ucu diye bilinen $172^\circ 30'$ ’lik piramit uçtur. 136° ’lik uç, malzeme üzerine kare şeklinde iz bırakmasına rağmen, knoop ucu eşkenar dörtgen şeklinde bir iz bırakır [70-72].

1.3.6. Yapay Sinir Ağları

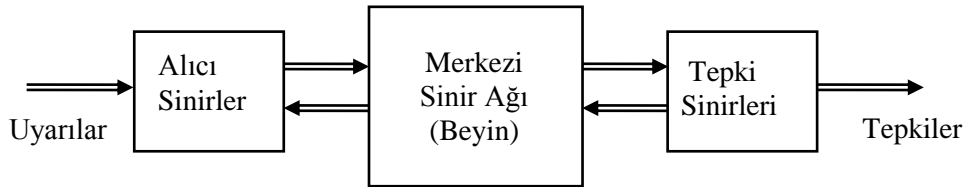
Bu çalışmada, delme deneylerinden elde edilen sonuçlara göre çapak boyutlarını (yükseklik ve kalınlık) modellemede YSA kullanılacağı için bu bölümde kısaca YSA modeli tanıtıldı. Yapay sinir ağları eğitim aşaması bittikten sonra klasik programlama tekniklerinden hız ve gerektirdikleri kapasite açısından bazı avantajlara sahiptir [73]. Ülkemizde bu konuda her geçen gün yeni bir çalışma yapılmakta ve metodun kullanılabilirliği ve üstünlüğü zaman zaman kendisini göstermektedir. Makine mühendisliği problemlerinin gerçekli karar verme durumuna sahip olması yani istenen sonuca farklı bir kaç teknikle ulaşılabilmesi nedeniyle yapay zekâ tekniği için büyük bir potansiyel teşkil etmektedir. Buna ilaveten deney sonuçları ile ağın eğitilmesi halinde, YSA model ile tahmin edilen sonuçların bir hayli sağlıklı olacağı öngörülmektedir [74]. Tekniğin klasik programlamadan üstün olacağını söylemek ise her zaman mümkün değildir. Ancak klasik programlama ile çok uzun sürede çözülebilecek problemler daha hızlı ve eğitim tamamlandıktan sonra daha seri bir şekilde çözülebilir.

Esasında YSA’nın en önemli ve ayırt edici özelliklerinden birisi de; yeni durumlara adaptasyon ve hiyerarşik yapılarının esnek olması ve sonradan veri girişini kabul etmeleridir. Kullanılan metot ve yapılan kabul ne olursa olsun sayılar mühendise dizayn aşamasında sadece bir fikir vermek için vardır ve yapının gerçekteki davranışının tam olarak anlaşılması ise daha da önemlidir. YSA hesaplamalara tamamen farklı bir yaklaşım getirmektedir. Yani belirli bir problemi çözmek için programlama yerine direkt olarak mevcut örnekleri kullanır ve ne kadar fazla örnekle eğitilirse problemin çözümündeki teşhisi o kadar doğru olur.

1.3.6.1. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Son yıllarda, insan beyninin çalışma prensibini yapay olarak modellemeyi amaçlayan YSA; nesne/örüntü tanıma, sinyal işleme, arıza analizi ve tespiti, sistem tanılama (modelleme) ve denetimi v.s. gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve kullanıldığı alanlardaki problemlerin çözümüne yeni yaklaşımlar getirmiştir. Genel olarak bir YSA, tek katmanlı yada çok katmanlı olarak düzenlenebilen ve paralel olarak çalışan çok sayıda doğrusal olmayan yapay hücreden (işlem elemanı) meydana gelen bir sistem yada matematiksel model olarak tanımlanır. Hücreler arasındaki ağırlıklar, arzu edilen tasarım amaçlarını sağlayacak şekilde çeşitli öğrenme kuralları ile ayarlanır. Bu yapısı ile YSA, öğrenme sürecinde bilgiyi toplayan ve ağırlıkları yardımıyla bu bilgiyi saklayan paralel bir işlemcidir. Bugün, çeşitli YSA yapıları ve öğrenme algoritmaları geliştirilmiştir. Herhangi bir uygulama için uygun YSA yapısını ve öğrenme algoritmasını seçmek yada geliştirmek gerekmektedir [74].

Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin (merkezi sinir ağı) bulunduğu 3 katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Alıcı sinirler (receptor) organizma içerisinden yada dış ortamlardan algıladıkları uyarıları, beyne bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri (effector) ise, beynin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 1.20’de bir sinir sisteminin blok gösterimi verilmiştir. Merkezi sinir ağında bilgiler, alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yönünde değerlendirilerek uygun tepkiler üretilir. Bu yönüyle biyolojik sinir sistemi, kapalı çevrim denetim sisteminin karakteristiklerini taşır. Merkezi sinir sisteminin temel işlem elemanı, sinir hücresidir (nöron) ve insan beyninde yaklaşık 10 milyar sinir hücresi olduğu tahmin edilmektedir.

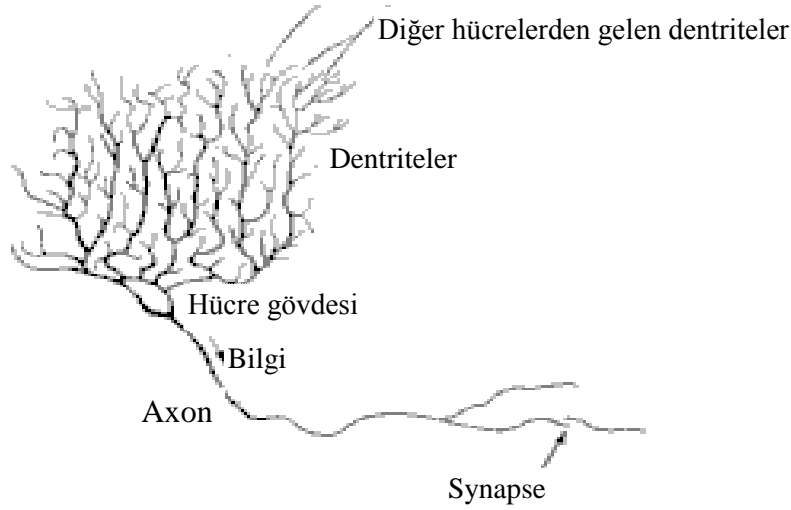


Şekil 1.20. Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi

Sinir hücresi; hücre gövdesi, dendritler ve aksonlar olmak üzere 3 bileşenden meydana gelir. Dendritler, diğer hücrelerden aldığı bilgileri hücre gövdesine bir ağaç yapısı şeklinde ince yollarla iletir. Aksonlar ise elektriksel darbeler şeklindeki bilgiyi

hücreden dışarı taşıyan daha uzun bir yoldur. Aksonların bitimi, ince yollara ayrılabilir ve bu yollar, diğer hücreler için dendritleri oluşturur. Şekil 1.21’de görüldüğü gibi akson-dendrit bağlantı elemanı sinaps olarak adlandırılır [75].

Sinapsa gelen ve dendritler tarafından alınan bilgiler genellikle elektriksel darbelerdir ancak sinapsdaki kimyasal ileticilerden etkilenir. Belirli bir sürede bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik değerine ulaştığında hücre bir tepki üretir. Hücrenin tepkisini artırıcı yöndeki girişler uyarıcı, azaltıcı yöndeki girişler ise önleyici girişler olarak söylenir ve bu etkiyi sinaps belirler.



Şekil 1.21. Biyolojik sinir hücresi ve bileşenleri

İnsan beyninin 10 milyar sinir hücresinden ve 60 trilyon sinaps bağlantısından oluştuğu düşünülürse son derece karmaşık ve etkin bir yapı olduğu anlaşılır. Diğer taraftan bir sinir hücresinin tepki hızı, günümüz bilgisayarlarına göre oldukça yavaş olmakla birlikte duyuşal bilgileri son derecede hızlı değerlendirebilmektedir. Bu nedenle insan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarılma ve genelleştirme yeteneği nedeniyle son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir.

Yukarıda verilen açıklamalardan, YSA'nın hesaplama ve bilgi işleme gücünü, paralel dağılmış yapısından, öğrenme ve genelleme yeteneğinden aldığı söylenebilir. Genelleme, eğitim yada öğrenme sürecinde karşılaşılmayan girişler için de YSA'nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu üstün özellikleri, YSA'nın karmaşık problemleri çözebilme yeteneğini gösterir. Günümüzde birçok bilim alanında YSA, aşağıdaki özellikleri nedeniyle etkin olmuş ve uygulama yeri bulmuştur.

Doğrusal Olmama: YSA'nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli araç olmuştur.

Öğrenme: YSA'nın arzu edilen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak ayarlanması gerekir. Bu, hücreler arasında doğru bağlantıların yapılması ve bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması gerektiğini ifade eder. YSA'nın karmaşık yapısı nedeniyle bağlantılar ve ağırlıklar önceden ayarlı olarak verilemez yada tasarlanamaz. Bu nedenle YSA, istenen davranışı gösterecek şekilde ilgilendiği problemde aldığı eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenmelidir.

Genelleme: YSA, ilgilendiği problemi öğrendikten sonra eğitim sırasında karşılaşmadığı test örnekleri için de arzu edilen tepkiyi üretebilir. Örneğin, karakter tanıma amacıyla eğitilmiş bir YSA, bozuk karakter girişlerinde de doğru karakterleri verebilir yada bir sistemin eğitilmiş YSA modeli, eğitim sürecinde verilmeyen giriş sinyalleri için de sistemle aynı davranışı gösterebilir.

Uyarlanabilirlik: YSA, ilgilendiği problemdeki değişikliklere göre ağırlıklarını ayarlar. Yani, belirli bir problemi çözmek amacıyla eğitilen YSA, problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilir, değişimler devamlı ise gerçek zamanda da eğitime devam edilebilir. Bu özelliği ile YSA, uyarlamalı örnek tanıma, sinyal işleme, sistem tanılama ve denetim gibi alanlarda etkin olarak kullanılır.

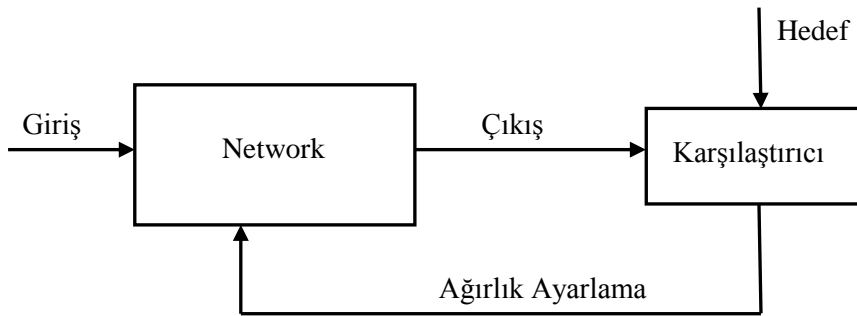
Hata Toleransı: YSA, çok sayıda hücrenin çeşitli şekillerde bağlanmasından oluştuğundan paralel dağılmış bir yapıya sahiptir ve ağırlıklı bilgi, ağdaki bütün bağlantılar üzerine dağılmış durumdadır. Bu nedenle, eğitilmiş bir YSA'nın bazı bağlantılarının, hatta bazı hücrelerinin etkisiz hale gelmesi, ağırlıklı doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez. Bu nedenle, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir.

Donanım ve Hız: YSA, paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli entegre devre (VLSI) teknolojisi ile gerçekleştirilebilir. Bu özellik, YSA'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini artırır ve gerçek zamanlı uygulamalarda arzu edilir.

Analiz ve Tasarım Kolaylığı: YSA'nın temel işlem elemanı olan hücrenin yapısı ve modeli, bütün YSA yapılarında yaklaşık aynıdır. Dolayısıyla, YSA'nın farklı uygulama alanlarındaki yapıları da standart yapıdaki bu hücrelerden oluşacaktır. Bu nedenle, farklı uygulama alanlarında kullanılan YSA'ları benzer öğrenme algoritmalarını ve teorilerini

paylaşabilirler. Bu özellik, problemlerin YSA ile çözümünde önemli bir kolaylık getirmektedir. Genel olarak bir YSA öğrenme blok diyagramı Şekil 1.22’de verilmiştir.

Son yıllarda YSA’ ları, özellikle günümüze kadar çözümü güç ve karmaşık olan yada ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmış ve genellikle başarılı sonuçlar alınabilmiştir. YSA’lar çok farklı alanlara uygulanabildiğinden bütün uygulama alanlarını burada sıralamak zor olmakla birlikte genel bir sınıflandırma ile YSA’nın uygulama alanları aşağıdaki gibi 6 grup içerisinde toplanabilir.



Şekil 1.22. YSA öğrenme blok diyagramı

Arıza Analizi ve Tespiti: Bir sistemin, cihazın yada elemanın düzenli (doğru) çalışma şeklini öğrenen bir YSA yardımıyla bu sistemlerde meydana gelebilecek arızaların tanımlanma olanağı vardır. Bu amaçla YSA; elektrik makinelerinin, uçakların yada bileşenlerinin, entegre devrelerin v.s. arıza analizinde kullanılmıştır.

Tıp Alanında: EEG ve ECG gibi tıbbi sinyallerin analizi, kanserli hücrelerin analizi, protez tasarımı, transplantasyon zamanlarının optimizasyonu ve hastanelerde giderlerin optimizasyonu v.s gibi uygulama yeri bulmuştur.

Savunma Sanayi: Silahların otomasyonu ve hedef izleme, nesnelere/görüntüleri ayırma ve tanıma, yeni algılayıcı tasarımı ve gürültü önleme v.s gibi alanlara uygulanmıştır.

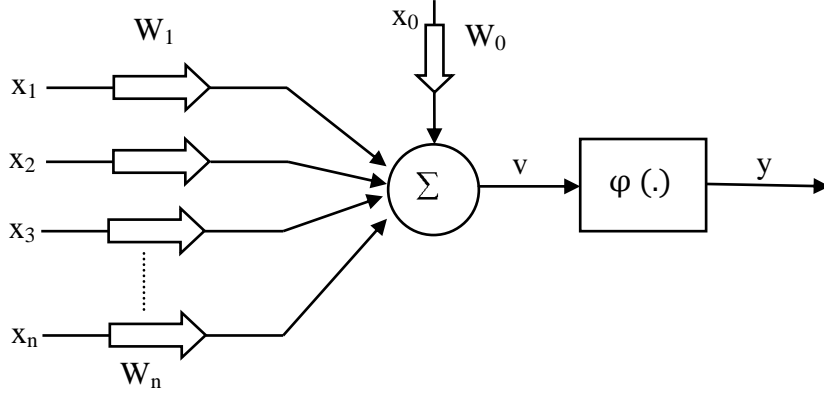
Haberleşme: Görüntü ve veri sıkıştırma, otomatik bilgi sunma servisleri, konuşmaların gerçek zamanda çevirisi v.s gibi alanlarda uygulama örnekleri vardır.

Üretim: Üretim sistemlerinin optimizasyonu, ürün analizi ve tasarımı, ürünlerin (entegre, kağıt, kaynak v.s.) kalite analizi ve kontrolü, planlama ve yönetim analizi v.s. alanlarına uygulanmıştır.

Otomasyon ve Kontrol: Uçaklarda otomatik pilot sistemi otomasyonu, ulaşım araçlarında otomatik yol bulma/gösterme, robot sistemlerin kontrolü, doğrusal olmayan

sistem modelleme ve kontrolü, elektrikli sürücü sistemlerin kontrolü v.s. gibi yaygın bir uygulama yeri bulmuştur [74-79].

Şekil 1.23’de ağırlıkların sabit olduğu ve hücrede geri besleme yada geciktirilmiş sinyaller kullanılmadığı dikkate alınır, bu hücre statik işlevi gerçekleştireceğinden statik hücre modeli olarak tanımlanabilir.



Şekil 1.23. Yapay hücre modeli

Şekil 1.23’e göre, sıfır indisler polarma girişini ve ağırlığını göstermek üzere (yada polarma girişi birim değerli olduğundan sadece polarma ağırlığı b ile gösterilmek üzere) statik hücrenin matematiksel modeli denklem 1.17’deki gibi yazılabilir.

$$v = \sum_{i=0}^n W_i x_i \quad \text{veya} \quad v = \sum_{i=1}^n W_i x_i + b \quad , \quad y = \varphi(v) \quad (1.17)$$

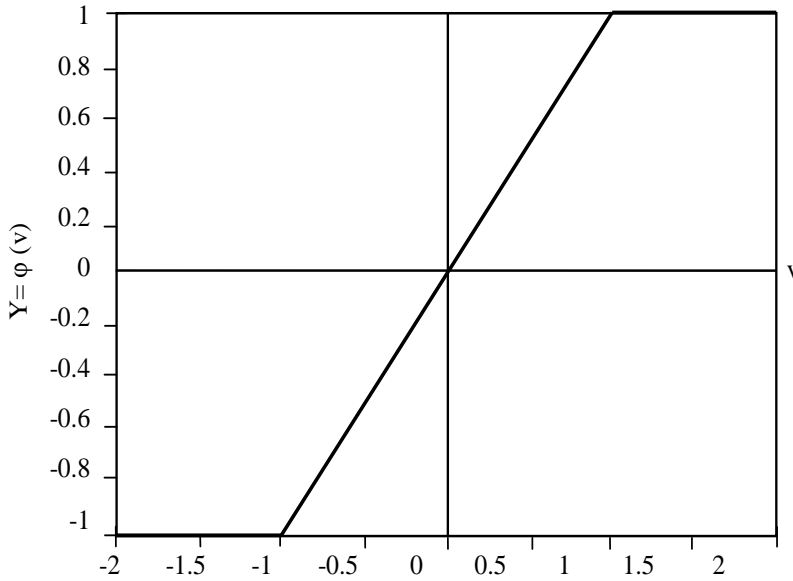
Burada; W - hücrenin ağırlıklar matrisini, x - hücrenin giriş vektörünü, v - hücrenin net girişini, y - hücre çıkışını ve $\varphi(v)$ - hücrenin aktivasyon fonksiyonunu göstermektedir. Denklem 1.17’de, x , giriş vektörünün bileşenlerinin dış (geri beslemesiz) girişler olması durumunda hücrenin doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştireceği görülmektedir.

Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aktivasyon fonksiyonları sabit parametrelili yada uyarlanabilir parametrelili seçilebilir. Aşağıda, hücre modellerinde yaygın olarak kullanılan çeşitli aktivasyon fonksiyonları tanıtılmıştır [76-79].

1.3.6.2. Doğrusal ve Doyumlu-Doğrusal (Purelin) Aktivasyon Fonksiyonu

Doğrusal bir problemi çözmek amacıyla kullanılan doğrusal hücre ve YSA'da yada genellikle katmanlı YSA'nın çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon, hücrenin net girdisini doğrudan hücre çıkışı olarak verir. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu matematiksel olarak $y = v$ şeklinde tanımlanabilir. Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonu ise aktif çalışma bölgesinde doğrusaldır ve hücrenin net girdisinin belirli bir değerinden sonra hücre çıkışını doyuma götürür [74]. Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonunun Denklem 1.18'de matematiksel tanımı, Şekil 1.24'de ise grafiği görülmektedir.

$$y = \begin{cases} 1 & v > 1 \\ v & -1 < v < 1 \\ -1 & v < -1 \end{cases} \quad (1.18)$$



Şekil 1.24. Doyumlu doğrusal aktivasyon fonksiyonu

1.3.6.3. Sigmoid (Tansig) Aktivasyon Fonksiyonu

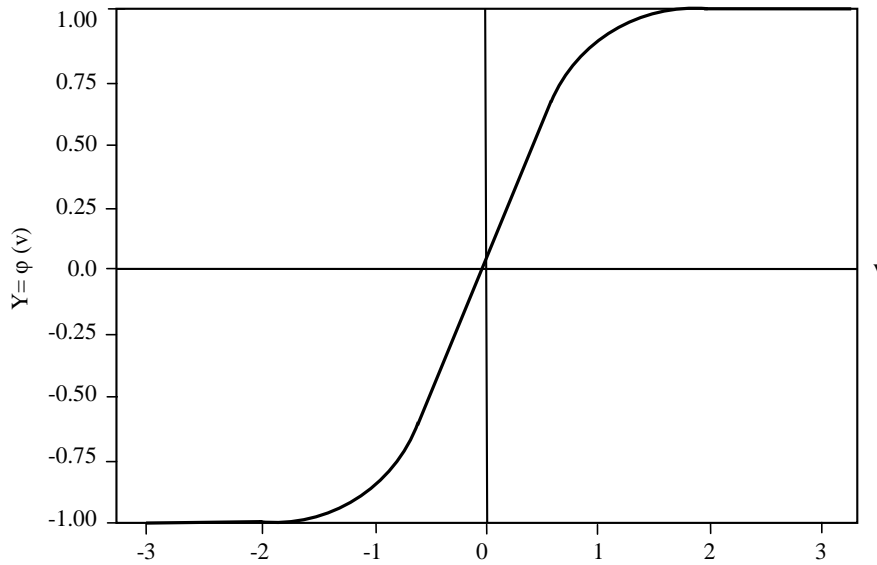
Şekil 1.25'de grafiği verilen çift yönlü Sigmoid (Tanh) fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan

problemlerin çözümünde kullanılan YSA'da tercih edilir. Çift yönlü sigmoid fonksiyonun tanımı Denklem 1.19'da ve tek yönlü sigmoid fonksiyonunun matematiksel ifadesi ise Denklem 1.20'de verilmiştir.

$$\varphi(v) = a \frac{1 - e^{-bv}}{1 + e^{-bv}} \quad (1.19)$$

Sigmoid fonksiyonlarında a ve b katsayıları genellikle birim olarak alınır ancak, YSA'nın eğitiminde öğrenme oranını hızlandırıcı etkilerinin olduğu ve en uygun değerleri ise $a=1.716$, $b=2/3$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, a ve b katsayılarının YSA'nın eğitim sürecinde uyarlanmasıyla sabit katsayılı fonksiyona göre daha iyi bir performans elde edilebilmektedir [74-79].

$$\varphi(v) = a \frac{1}{1 + e^{-bv}} \quad (1.20)$$



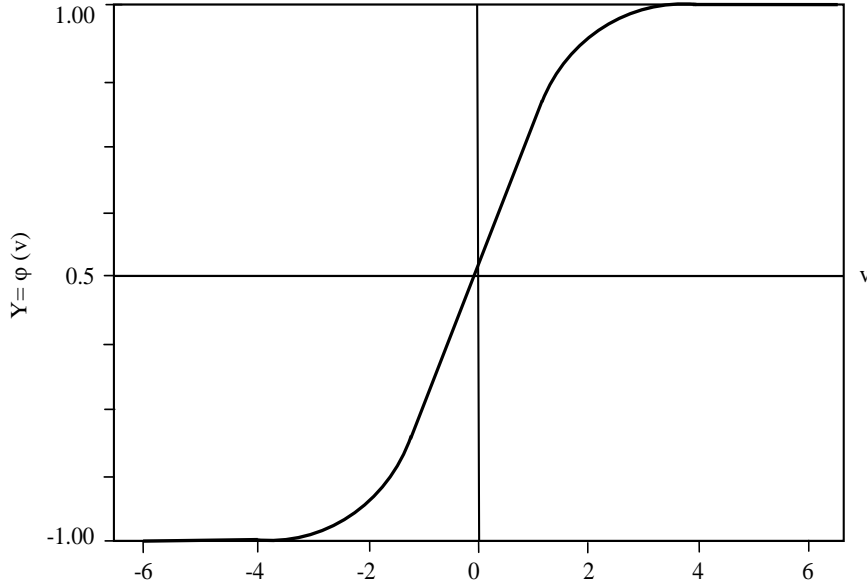
Şekil.1.25. Sigmoid (Tanh) aktivasyon fonksiyonu

1.3.6.4. Logsig Aktivasyon Fonksiyonu

Sigmoid fonksiyonu olarak da isimlendirilen bu aktivasyon fonksiyonunun giriş-çıkış ifadesi ve fonksiyonun girişe göre değişimi sırasıyla (1.21) ifadesinde ve Şekil 1.26'da

verilmektedir. Fonksiyonun dinamik değişim aralığı [0 1] aralığıdır ve fonksiyon bu aralıkta lineer olmayan bir değişim sergiler.

$$a = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (1.21)$$

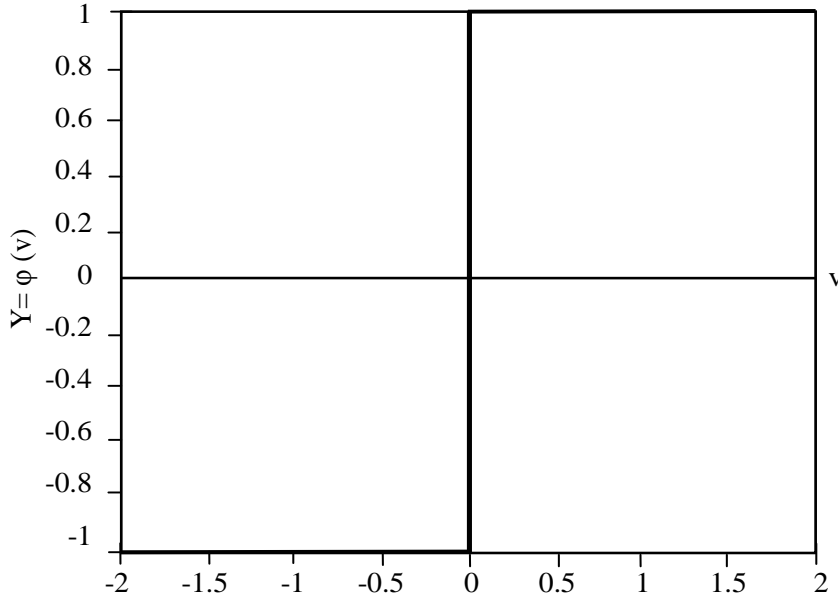


Şekil 1.26. Logaritmik Sigmoid fonksiyonu giriş-çıkış eğrisi

1.3.6.5. Eşik Aktivasyon Fonksiyonu

McCulloch-Pitts modeli olarak bilinen eşik aktivasyon fonksiyonlu hücreler, mantıksal çıkış verir ve sınıflandırıcı ağlarda tercih edilir, Şekil 1.27 Perceptron (Algılayıcı) olarak da söylenen eşik fonksiyonlu hücrelerin matematiksel modeli aşağıdaki gibi tanımlanabilir [74-78].

$$y = \begin{cases} 1 & v \geq 0 \\ -1 & v < 0 \end{cases} \text{ ise} \quad (1.22)$$



Şekil 1.27. Eşik aktivasyon fonksiyonu

YSA'nın en önemli özelliklerinden biri, ilgilendiği problemde aldığı örneklerle problemi öğrenerek öz yeteneğini düzeltebilmesidir. YSA, tanımlanan bir ölçüte göre ağırlık serbest parametrelerinin ardışık olarak uyarlanmasıyla problemi öğrenir. YSA açısından öğrenme aşağıdaki gibi tanımlanır.

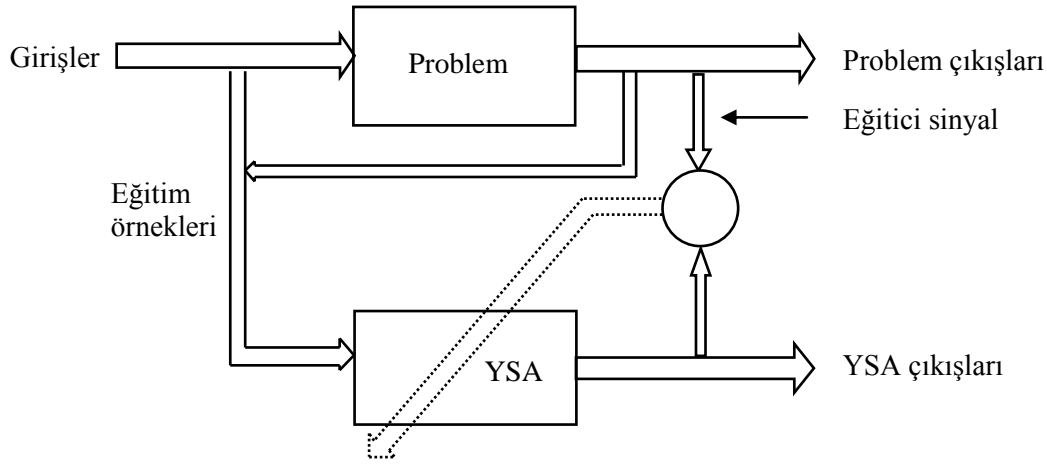
Öğrenme, YSA'nın ilgilendiği ortam tarafından ağırlık belirli bir süre uyarılmasıyla YSA'nın serbest parametrelerinin, arzu edilen öz yeteneği sağlayacak şekilde ayarlanması işlemidir ve öğrenmenin tipi, parametre değişikliklerinin yapılaş şekline bağlıdır. Bu tanıma göre öğrenme (veya eğitim) sürecinde; ağırlık uyarılması, bu uyarının sonucu olarak ağırlık parametrelerinin uyarlanması ve ağırlık probleme yeni tepkisini vermesi gerekir. YSA'daki herhangi bir ağırlık ele alınırsa öğrenme, matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$W_{yeni} = W_{eski} \pm \Delta W \quad (1.23)$$

Burada ΔW , belirli bir kurala göre hesaplanarak o anki ağırlıklara uygulanacak düzeltme miktarını verir ve ΔW 'yi belirlemek için tanımlanmış kurallara öğrenme algoritmaları ya da kuralları denir. YSA'nın ilgilendiği ortam tarafından uyarılma yöntemi de öğrenmede önemli bir etkidir ve bu tanımlara göre öğrenme çeşitli sınıflara ayrılır [75]. Öğrenmenin tanımından, YSA'nın bir problemi çözebilmesi için ilgilendiği problem tarafından uyarılması gerektiği anlaşılmaktadır. YSA'nın ağırlıklarının uyarlanabilmesi için ihtiyaç duyduğu uyarı sinyallerine göre öğrenme 3 gruba ayrılır.

- Eğitici Öğrenme – YSA'nın öğrenebilmesi için ağırlık ilgilendiği ortamın (problemin) davranışlarını ihtiva eden bir eğitici sinyal kullanılır ve bu sinyal, YSA için arzu edilen

tepkiyi temsil eder. Eğitici sinyalle birlikte problemden alınan ağ girişleri eğitim örneklerini oluşturur. Eğitici çıkış ile gerçek ağ çıkışı arasındaki hata sinyaline göre YSA ağırlıkları uyarlanır. Sonuçta, eğitici sinyalde bulunan ilgili problemin davranışları YSA tarafından bilinir ve eğitimsiz de aynı davranışı gösterebilir. Bu özelliği ile eğitici öğrenme fonksiyon yaklaşırma, nesne tanıma, sistem tanılama ve uyarlamalı denetim alanlarında kullanılan YSA'ları için etkin bir öğrenme yöntemidir [74]. Eğitici öğrenme yöntemi, Şekil 1.28'de verilen blok şema ile gösterilebilir.

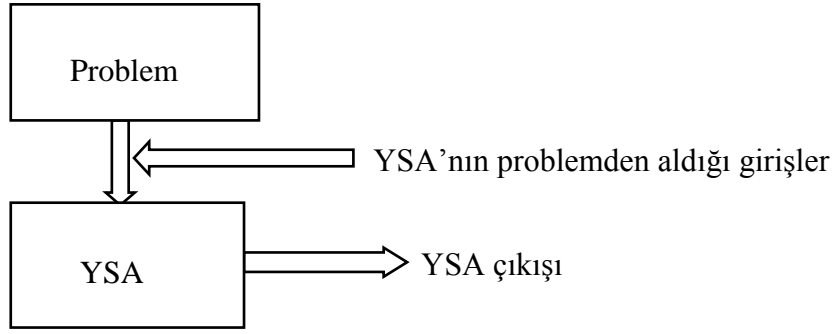


Şekil 1.28. Eğitici öğrenme yöntemi

- Eğitici öğrenme - Eğitici yada kendiliğinden düzenlemeli öğrenme yönteminde ağın öğreneceği belirgin davranış örnekleri yani eğitici bir sinyal yoktur. Ağ girişleri üzerinden gerçekleştirilmek istenen bir amaca göre YSA ağırlıkları ayarlanır. Eğitici öğrenme genellikle,

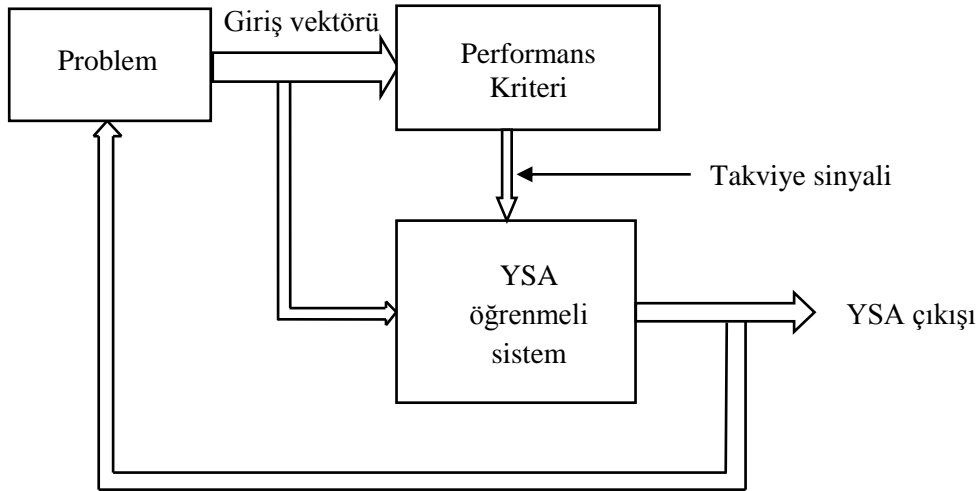
- Ağ giriş verilerini kümelemek,
- Sürekli zaman ağ girişlerini nitelendirmek,
- Ağ giriş verilerini daha farklı boyutlu uzayda göstermek,
- Ağ giriş sinyalini temsil eden özellikleri belirlemek

gibi amaçlar için kullanılır. YSA tekniği olarak Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağlarında (RTFA), YSA'nın giriş verilerini kümeleyerek en iyi taban fonksiyonu merkezlerinin belirlenmesi, bir sinyalin öz niteliklerini çıkararak sinyal, nesne ve ses tanıma v.s. gibi uygulamalarda eğitici öğrenme yöntemleri kullanılmıştır. Bu Şekil 1.29'da verilen blok şema ile gösterilebilir.



Şekil 1.29. Eğiticiyiz öğrenme yöntemi

- Takviyeli Öğrenme - Takviyeli öğrenme yönteminde, YSA'nın öğrenmesi için bir eğitici sinyal bulunmaz ancak, ağıın davranışının uygun olup olmadığını bildiren bir öz yetenek bilgisine göre ağırlıklar ayarlanır. Bu nedenle genellikle gerçek zamanda öğrenme yöntemidir ve deneme yanılma esasına göre YSA öğrenir [74]. Bu Şekil 1.30'da verilen blok şema ile gösterilebilir.



Şekil 1.30. Takviyeli öğrenme yöntemi

- Geriye yayılma öğrenme- Geriye yayılma öğrenme kuralının ana parçası, parametre ile ilgili hata ölçümünün türevi ile tanımlanan her ağırlık gradyan vektörünü tekrar nasıl elde edileceğini ilgilendirir. Bu çok temel işlemlerle çözülebilen bileşke fonksiyonlara ayrılabilen basit formüllü zincir kuralı aracılığı ile yapılır. Ağ yapısındaki gradyan vektörünü bulma yöntemi genellikle geriye yayılma yöntemi olarak anılır. Çünkü gradyan vektörü her bir düğüm çıkışının akışına zıt yönde hesaplanır. Önce eğitim elde edilir,

parametrelerin güncelleştirilmesi için türeve dayanan uygunlaştırma ve gerileme teknikleri kullanılabilir.

Hata ölçümünü en küçük değerine indirmede en dik azalışı kullanmak için ilk olarak gradyan vektörünün elde edilmesi gerekir. Gradyan vektörünün hesaplanmasındaki temel kavram çıkış katmanlarından başlayarak giriş katmanına kadar sırayla her katmandan geriye giderek türev bilgisi şeklinin geçişidir.

Geri Yayılım algoritması, giriş katman-saklı katman ve saklı katman-çıkış katmanları arasında mevcut olan ağırlıklı bağlantıların (w_{ih} ve w_{ho}), ağ çıkışında oluşan hataya bağlı olarak optimize edilmesini amaçlar. Giriş ve ilgili çıkış vektörü ağı eğitmek için kullanılmaktadır. Giriş vektörü ağı ilk katmanına verildikten sonra aradaki gizli katmanlardan geçerek en sondaki çıkış katmanına ağırlıklar yardımı ile ulaşır. Ağdaki her bir nöron, kendisinde sonlanan ağırlık vektörlerinin aritmetiksel toplamını aldıktan sonra sonucu kendinden sonraki katmanın tüm nöronlarına kullanılan aktivasyon fonksiyonuna bağlı olarak aktarır [74]. Katmanlar arasında sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanıldığı kabulü edilirse ağırlıkların yenilenmesi için kullanılan ifadeler şu şekilde elde edilebilir:

Çıkış katmanındaki her bir nöron için nöron çıkışı $O_k = \frac{1}{1 + e^{-net_k}}$ olsun. Burada O_k çıkış katmanının aktivasyon değerini göstermektedir.

$$net_k = \sum_j W_{jk} O_j \quad (1.24)$$

Saklı katman için aktivasyon değerlerinin ifadesi aynı şekilde elde edilebilir.

$$O_k = \frac{1}{1 + e^{-net_k}}, \quad (1.25)$$

Ağırlıkların yenilenmesi $\Delta W_{jk} = W_{jk} + \Delta W_{jk}$ eşitliği ile gerçekleştirilir. Burada ΔW_{jk} ağırlık yenileme değeridir. Geri yayılım algoritmasında ortalama kare hatası olarak bilinen hata kriteri için aşağıdaki ifade kullanılabilir.

$$E = \frac{1}{2} \sum_p \sum_k (p_k - O_{pk})^2 \quad (1.26)$$

Hataların karesi alınarak beklenen değerden uzak olan çıkış değerlerinin toplam hatayı oluşturması sağlanmaktadır. Hatayı minimum yapmak amacı ile hatanın ağırlıklara

olan bağımlılığı hesaplanır ve gradiente bağlı olarak ağırlıklar hatayı düşürecek şekilde yenilir.

$$\Delta W_{jk} = -\eta(\delta E / \delta W_{jk}) \quad (1.27)$$

Zincir kuralı kullanılarak diferansiyel denklem çözümü aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\delta E / \delta W_{jk} = \delta O_j \quad (1.28)$$

Bu eşitlik, Denklem 1.26'da yerine konursa ağırlık yenileme değeri ifadesi elde edilir.

$$\begin{aligned} \Delta W_{jk} &= -\eta \cdot \delta_k \cdot O_j \\ \Delta W_{ij} &= -\eta \cdot \delta_i \cdot O_i \end{aligned} \quad (1.29)$$

Burada δ_k ve δ_j sırası ile çıkış ve saklı katman için hata terimi, η ise öğrenme oranıdır. Çıkış katmanı için hata terimi $\delta_k = (t_k - O_k) f'(net_k)$ ve saklı katman için hata terimi ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\delta_j = f'(net_j) \sum_k \delta_k W_{kj} \quad (1.30)$$

Yukarıdaki ifadelerde $f'(\cdot)$ katmanlar arası sigmoid aktivasyon fonksiyonunun türevidir. Elde edilen ifadelerde yapay sinir ağı eğitiminde data giriş setinin ağırlıkların etkisi tam olarak görülememektedir. Her bir ağırlıklı bağlantı için algoritmanın üreteceği ağırlık yenileme işareti tek tek incelenir ise bağıntıların her bir katman nöral aktivasyon seviyeleri dikkate alınarak verilmesi daha uygun olacaktır.

$$\begin{aligned} \Delta W_{jk} &= -\eta O'_{kj} \Delta O_k O_j, \quad \Delta W_{ij} = -\eta O'_j \sum_k O'_k W_{jk} \Delta O_k O_j \\ \delta_k &= O_k - \bar{O}_k, \quad \delta_j = O_j (1 - O_j) \sum_k \delta_k W_{jk} \\ O_k &= f\left(\sum_j O_j W_{jk}\right), \quad O_j = f\left(\sum_i O_i W_{ij}\right) \end{aligned} \quad (1.31)$$

Burada $\Delta O_k = O_k - \bar{O}_k$ şeklinde yazılır. Yukarıdaki ifadelerde $f(\cdot)$ -sigmoid aktivasyon fonksiyonu, Δ - hata ifadesi, t_k -hedef değer, O_k -çıkış aktivasyon seviyesi, W_{jk} - saklı katman ile çıkış katmanı arasında ağırlıklı bağlantı, ΔW_{jk} -saklı katman çıkış katmanı

arasında ağırlıklı bağlantılar için ağırlık yenilemesi, W_{ij} -giriş ve saklı katman arasında ağırlıklı bağlantı, ΔW_{ij} -giriş ve saklı katman arasında ağırlıklı bağlantılar için ağırlık yenilemesini ifade etmektedir. Elde edilen son ifadelerden yapay sinir ağında giriş değerlerinin ağırlıklı bağlantıların belirlenmesinde ve dolayısı ile nöral eğitimde önemli bir rol oynadığı görülmektedir [73-81].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Al-5005 alaşımı dik işlem merkezli CNC freze tezgâhında delme deneylerine tabi tutuldu. Delme işlemi sonrası matkap çapı, devir sayısı, ilerleme ve matkap uç açısı gibi parametrelerin delik çıkış bölgesinde meydana gelen çapağın boyutları ve şekilleri üzerine etkisi araştırıldı. Oluşan çapakların boyutları ise optik ve taramalı elektron mikroskop (Scanning Electron Microscope-SEM) cihazları kullanılarak ölçüldü. Bununla birlikte delinen yüzeyin ısıdan en çok etkilenen bölgesindeki sertlik değişimini belirlemek için mikrosertlik ve delik yüzeylerinin pürüzlülük değerleri ölçülerek bu değerlerin çapak oluşumlarına etkisi de incelendi.

Sonuç olarak, delme deneylerinden elde edilen çapak boyutlarını matematiksel olarak modellemek için deney şartları dikkate alınarak ileri beslemeli bir YSA modeli oluşturuldu. Bu model ise deneylerden elde edilen sonuçlara göre eğitildi ve test edildi.

2.1. Deney Malzemesi

Deney malzemesi olarak denizcilik uygulamalarından havacılık uygulamalarına kadar daha pek çok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan Al-5005 alaşımı seçildi. Bu malzeme kolay işlenebilir olmasının yanı sıra, düşük yoğunluğa ve yüksek korozyon direncine, mukavemete, elektrik ve ısı iletkenliğine de sahiptir. Ancak literatürde bu malzemenin delinmesi ile ilgili olarak yeterince çalışmaların yapılmadığı dikkati çekmektedir. Bu çalışmada, Al-5005 alaşımı 10mmx70mmx400mm boyutlarında Kayseri sanayi bölgesinden temin edildi. Bu malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 2.1’de, malzemeye ait mekanik, elektriksel ve ısıl özellikleri ise Tablo 2.2’ deki gibidir.

Tablo 2.1. Al-5005 alaşımının kimyasal bileşimi

Al-5005	Mg	Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Zn	Diğer ürünler	Al
%	0.5-1.10	0.3	0.3	0.20	0.20	0.10	0.25	0.15	Geriye kalan

Tablo 2.2. Al-5005 alaşımının teknik özellikleri

Özellik	Değer
Yoğunluk (kg/m ³)	2.70x10 ³
Elastisite Modülü (GPa)	69
Termal genleşme (20 � C)	23.8x10 ⁻⁶
Özgül ısı kapasitesi (J/(kg.K))	900
Isı iletkenliği (W/(m.K))	200
Elektriksel zdiren (Ohm.m)	3.32x10 ⁻⁸
Çekme Dayanımı (Tavlanmış) (MPa)	124
Akma Dayanımı (Tavlanmış) (MPa)	41
Uzama (Tavlanmış)	%25
Kesme dayanımı (Tavlanmış) (MPa)	76
Sertlik (Tavlanmış) (HB)	28
Tavlama Sıcaklığı (�C)	343
Çekme Dayanımı (MPa)	200
Akma Dayanımı (MPa)	186
Uzama	%5
Kesme dayanımı (MPa)	110
Sertlik (HB)	51

2.2. Deney Parametreleri

Yapılan literatür incelemelerine göre, malzemelerin delme işlemi sonrası delik çıkış bölgesinde meydana gelen çapağın oluşumunu en çok etkileyen faktörler kesme hızı, ilerleme ve uç açısı olduğu tespit edildi. Deneylerde kullanılan parametrelerin değerleri ise konu ile ilgili literatür çalışmaları da dikkate alınarak Tablo 2.3'deki gibi seçildi [4-33].

Tablo 2.3. Deneylerde kullanılan parametreler

Devir başına ilerleme (mm/dev)	Devir sayısı (dev/dak)	Uç açıları (derece)	Matkap malzemesi ve çapı (mm)
0.1, 0.2, 0.3	400, 800, 1200	90, 118, 130, 140	HSS, Ø5, Ø10

Bu çalışmada, soğutma sıvısı, gerek deney parametrelerinin etkilerini tam olarak gözlemek gerekse talaşlı imalatta ekstra maliyet katmasından [82-83] dolayı kullanılmadı. Deney tasarımı, faktöriyel tasarım dikkate alınarak yapıldı. Faktöriyel (çarpımsal) tasarımda genelde değişik ve birbirleri ile ilişkili olmayan faktörlerin belirli bir karaktere olan etkileri inceleme konusu yapılmaktadır. Faktöriyel tasarımda değişken parametrelerin (düzeylerinin) çaprazlama uygulaması sonucu deney tasarımı ortaya çıkartmaktadır [84]. Bu çalışmada, matkap çapı için 2, uç açısı için 4, devir sayısı ve ilerleme için ise 3 seviye kullanılarak toplam $2^1.3^2.4^1= 72$ farklı kombinasyon ile deneyler yapıldı. Her delme işlemine bir kod verildi (Tablo 2.4). Her bir koda ait deneyler literatürdeki benzer çalışmalar [4-33] dikkate alınarak üç kez tekrarlandı.

Tablo 2.4. Al-5005 alaşımlı malzemenin delme parametreleri

Deney No	Matkap Çapı (mm)	Uç Açısı (derece)	Devir (dev/dak)	Devir Başına İlerleme (mm/dev)
S1	Ø5	90	400	0.1
S2	Ø5	90	400	0.2
S3	Ø5	90	400	0.3
S4	Ø5	90	800	0.1
S5	Ø5	90	800	0.2
S6	Ø5	90	800	0.3
S7	Ø5	90	1200	0.1
S8	Ø5	90	1200	0.2
S9	Ø5	90	1200	0.3
S10	Ø5	118	400	0.1
S11	Ø5	118	400	0.2
S12	Ø5	118	400	0.3
S13	Ø5	118	800	0.1
S14	Ø5	118	800	0.2

S15	Ø5	118	800	0.3
S16	Ø5	118	1200	0.1
S17	Ø5	118	1200	0.2
S18	Ø5	118	1200	0.3
S19	Ø5	130	400	0.1
S20	Ø5	130	400	0.2
S21	Ø5	130	400	0.3
S22	Ø5	130	800	0.1
S23	Ø5	130	800	0.2
S24	Ø5	130	800	0.3
S25	Ø5	130	1200	0.1
S26	Ø5	130	1200	0.2
S27	Ø5	130	1200	0,3
S28	Ø5	140	400	0.1
S29	Ø5	140	400	0.2
S30	Ø5	140	400	0.3
S31	Ø5	140	800	0.1
S32	Ø5	140	800	0.2
S33	Ø5	140	800	0.3
S34	Ø5	140	1200	0.1
S35	Ø5	140	1200	0.2
S36	Ø5	140	1200	0.3
S37	Ø10	90	400	0.1
S38	Ø10	90	400	0.2
S39	Ø10	90	400	0.3
S40	Ø10	90	800	0.1
S41	Ø10	90	800	0.2
S42	Ø10	90	800	0.3
S43	Ø10	90	1200	0.1
S44	Ø10	90	1200	0.2

S45	Ø10	90	1200	0.3
S46	Ø10	118	400	0.1
S47	Ø10	118	400	0.2
S48	Ø10	118	400	0.3
S49	Ø10	118	800	0.1
S50	Ø10	118	800	0.2
S51	Ø10	118	800	0.3
S52	Ø10	118	1200	0.1
S53	Ø10	118	1200	0.2
S54	Ø10	118	1200	0.3
S55	Ø10	130	400	0.1
S56	Ø10	130	400	0.2
S57	Ø10	130	400	0.3
S58	Ø10	130	800	0.1
S59	Ø10	130	800	0.2
S60	Ø10	130	800	0.3
S61	Ø10	130	1200	0.1
S62	Ø10	130	1200	0.2
S63	Ø10	130	1200	0.3
S64	Ø10	140	400	0.1
S65	Ø10	140	400	0.2
S66	Ø10	140	400	0.3
S67	Ø10	140	800	0.1
S68	Ø10	140	800	0.2
S69	Ø10	140	800	0.3
S70	Ø10	140	1200	0.1
S71	Ø10	140	1200	0.2
S72	Ø10	140	1200	0.3

2.3. Deneylerin Yapılması

Delme işleminden önce ticari olarak temin edilen 10mmx70mmx400mm boyutlarındaki Al-5005 alaşımlı plakalar, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi CNC freze tezgahına bağlandı ve delme işlemine hazır hale getirildi.

Delme deneyleri DIN 338/RN standardında matkap çapı Ø5 ve Ø10 mm olan 90°, 118°, 130° ve 140° uç açlarına ve 30±3° helis açısına sahip HSS matkap uçları kullanılarak yapıldı (Şekil 2.2). Bu kesici takımların sertlik değeri ise 65 HRC’dir. Deney sonuçlarının daha iyi incelenebilmesi için her bir deney (S-1 ,S-2, S-3.....S-72) üç kez tekrarlandı ve her bir deney için yeni bir matkap kullanıldı. Bu matkap uçları Konya sanayi bölgesinden ticari olarak temin edildi.



Şekil 2.1. Deney numunesinin dik işleme merkezli CNC freze tezgahına bağlanması



Şekil 2.2. Deneylerde kullanılan matkap uçları

Deneyleer, İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan azami devri 8000 d/dak., iş mili gücü 5.5 kW olan Taksan TMC 700 V tipi dik işlem merkezli CNC freze tezgahında gerçekleştirildi. Bu tezgaha ait teknik özellikler ve işleme boyutları Tablo 2.5' deki gibidir.

Tablo 2.5. TMC 700 V tipi CNC freze tezgahının teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değer / Birim
Tezgâh Tipi	TMC-700V
X/Y/Z Eksen Hareketleri	700 mm /450 mm /550 mm
İş Mili Burnu Tabla Arası Mesafe	100 mm-650 mm
İş Mili Ekseninden Sütuna Olan Mesafe	490 mm
Tabla Ebadı	1020 mm x 510 mm
Çalışma Alanı	900 mm x 450 mm
Tabla Yüğü	750 kg
T-Kanalı genişlik x adet x aralık	18 mm x 4 x 100 mm
Tabla Yüzeyinin Yerden Yüksekliği	900 mm
Azami Devri	8000 dev/dak
İş Mili Koniği	ISO 40
Max.Tork	7.2 kg.m
Yağlama Sistemi	Gres (Sonsuz Ömür)
Hızlı İlerleme X,Y,Z	30 m/dak

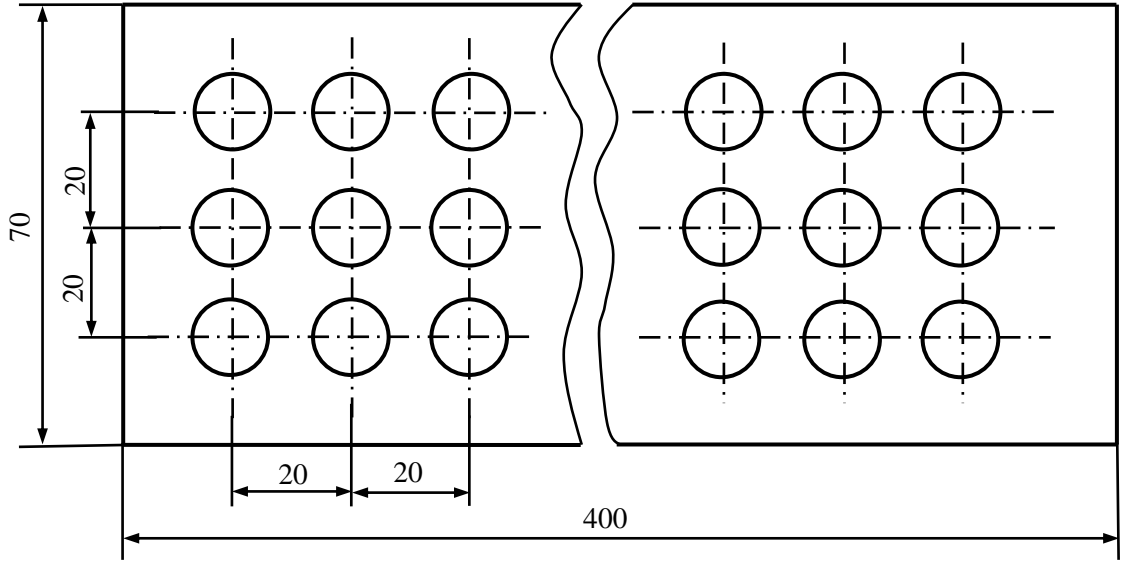
Deneyleer numuneleri üzerinde gerçekleştirilen delme deneyleeri her bir deliğin eksenleri arasındaki mesafe 20 mm olacak şekilde tasarlandı (Şekil 2.3). Deneyleeri gerçekleştirmek için delme parametreleri dikkate alınarak hazırlanan CNC programı aşağıdaki gibidir.

G00 G91 G28 X0 Y0 Z0;

T1 M6;

G95;

M3 S400 (800-1200);
G00 G90 G54 G43 X0 Y0 Z100 H1;
Z20;
G81 Z-11 R2.5 F0.1 (0.2-0.3);
G00 G80 Z100;
M02;



Şekil 2.3. Deney numunelerinin boyutları ve delikler arası mesafeler (Kalınlık 10 mm)

2.4. Çapak Yüksekliklerinin ve Kalınlıklarının Ölçümleri

Deneyle sonuçunda delik çıkış bölgesinde meydana gelen çapakların yükseklik ve kalınlıklarının ölçümü, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Merkezinde Şekil 2.4'de görülen Leo Evo 40 marka SEM cihazında ve Şekil 2.5'de görülen Leica MZ 7.5 marka mikroskop kullanılarak yapıldı. Bunun için deney numunesinden her iki mikroskoptan da anlık görüntüler alındı ve bu görüntülerden ilk önce deliğin çevresi boyunca meydana gelen çapak profilinin türü (üniform, taç ve değişken çapak) belirlendi.

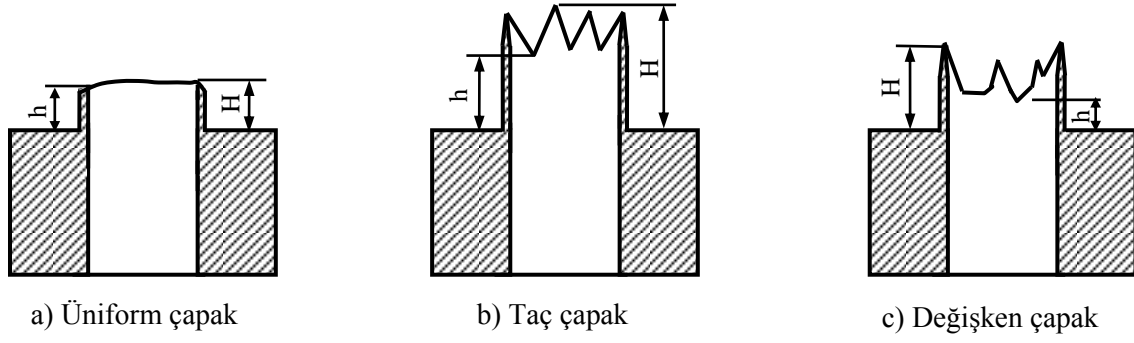


Şekil 2.4. Leo Evo 40-SEM cihazı

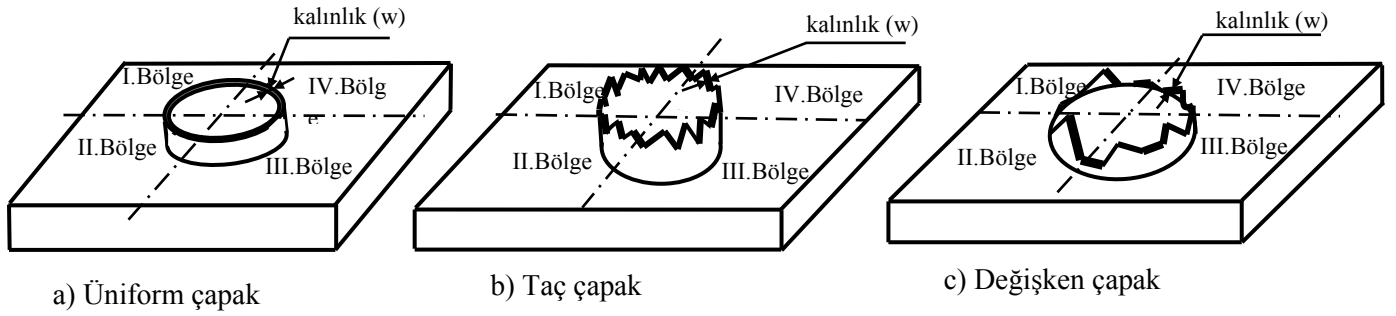


Şekil 2.5. Leica MZ 7.5 mikroskop

Daha sonra, bu çapak türlerine göre delik çevresinde oluşan çapakların boyutlarını (yükseklik ve kalınlık) literatüre uygun olarak [4-33, 53-66] hesaplamak için çapak profili dört farklı bölgeye ayırılarak her bir bölgeden ölçülen minimum ve maksimum talaş yükseklikleri (h ve H) ile kalınlıklarının (w) değerleri ölçüldü (Şekil 2.6 ve 2.7).

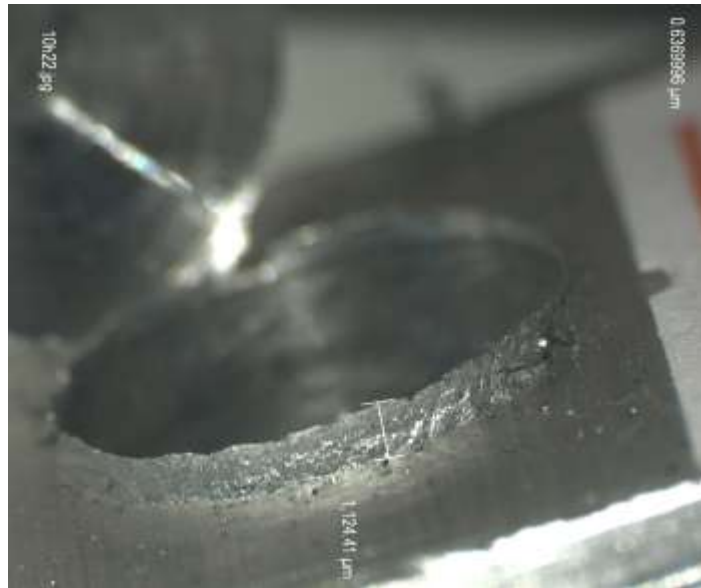


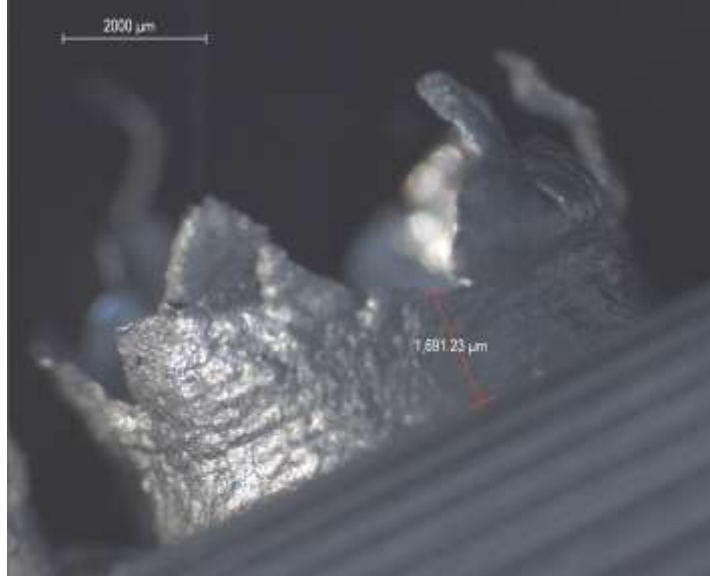
Şekil 2.6. Çapak yüksekliklerinin kesit görünüşü ve ölçümleri



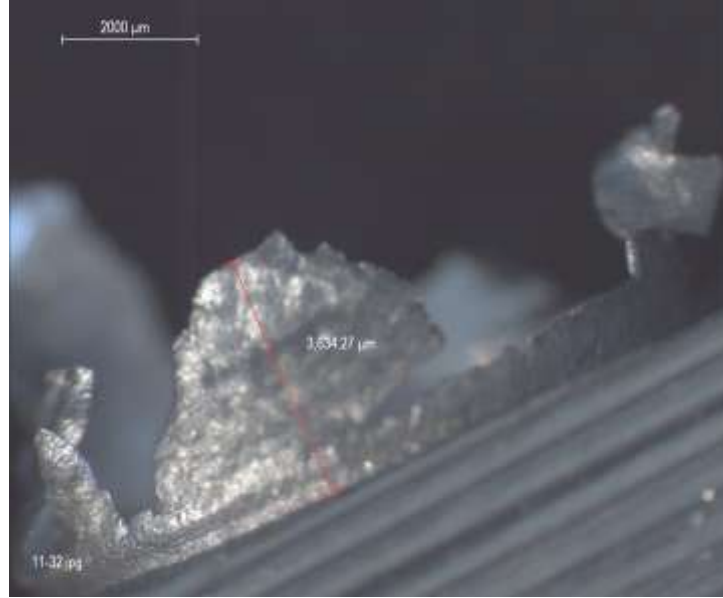
Şekil 2.7. Çapak kalınlıklarının perspektif görünüşü ve ölçümleri

Sonuç olarak, çapak yüksekliği için ölçülen tüm bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak bir deliğin çevresinde oluşan çapağın ortalama yüksekliği ve kalınlığı belirlendi. Çapak yüksekliklerinin ölçümleri ile ilgili optik mikroskop görüntüleri üniform çapak, taç çapak ve değişken çapak için sırasıyla Şekil 2.8’de görülmektedir.





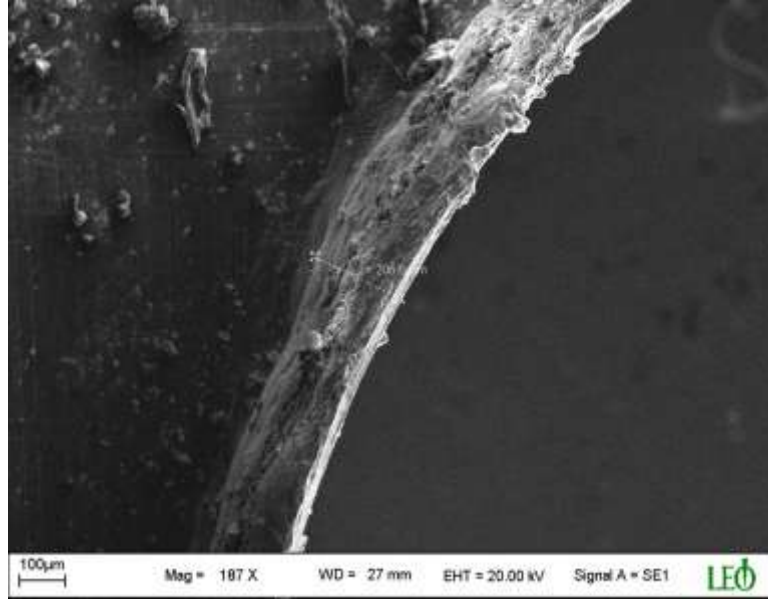
b) Taç çapak



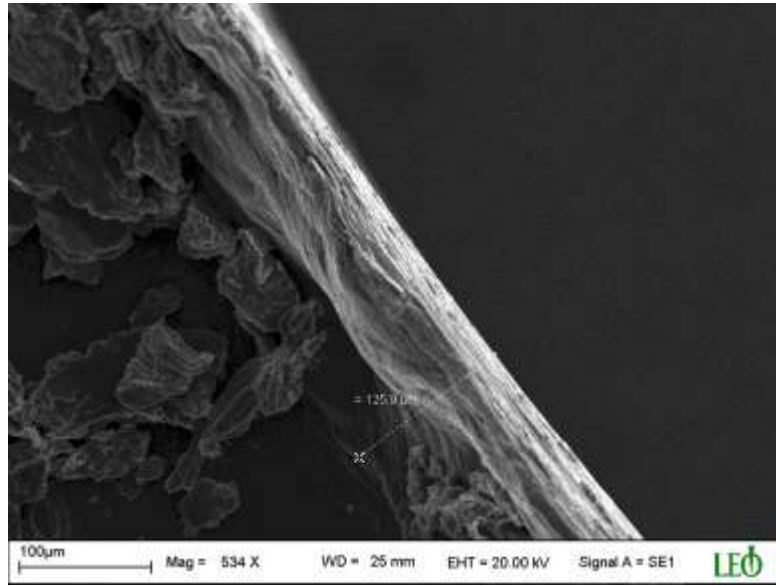
c) Değişken çapak

Şekil 2.8. Çapak yüksekliklerinin ölçümleri (Optik mikroskop görüntüleri)

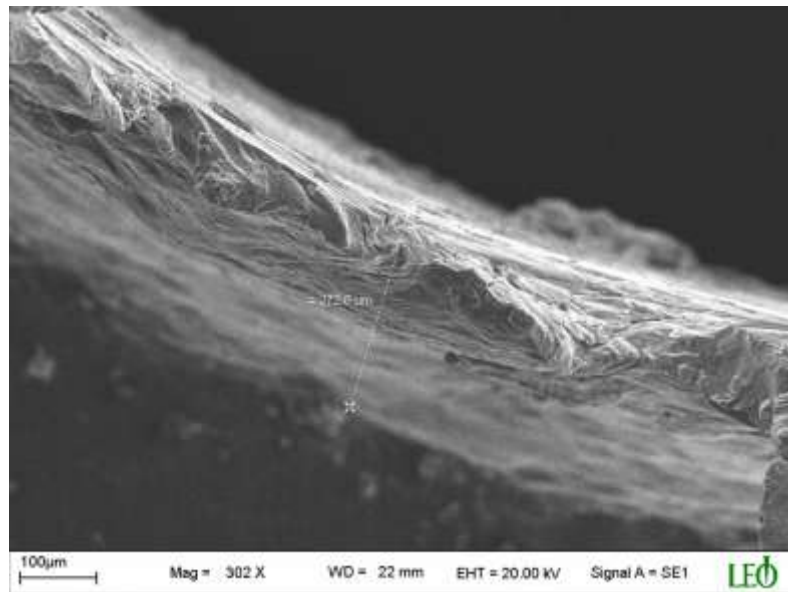
Yine çapak kalınlıklarının ölçümleri ile ilgili SEM görüntüleri de, herbir çapak türü için sırasıyla Şekil 2.9'da görülmektedir.



a) Üniform çapak



b) Taç çapak

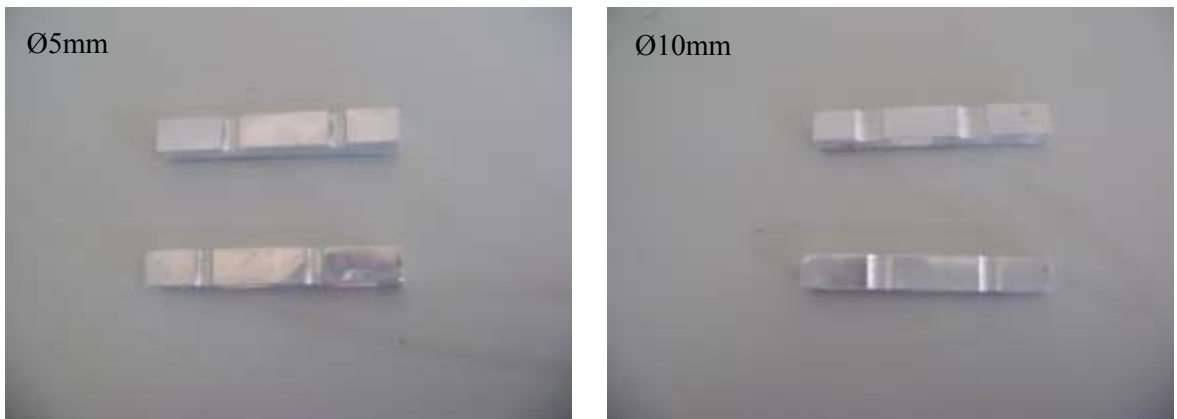


c) Değişken çapak

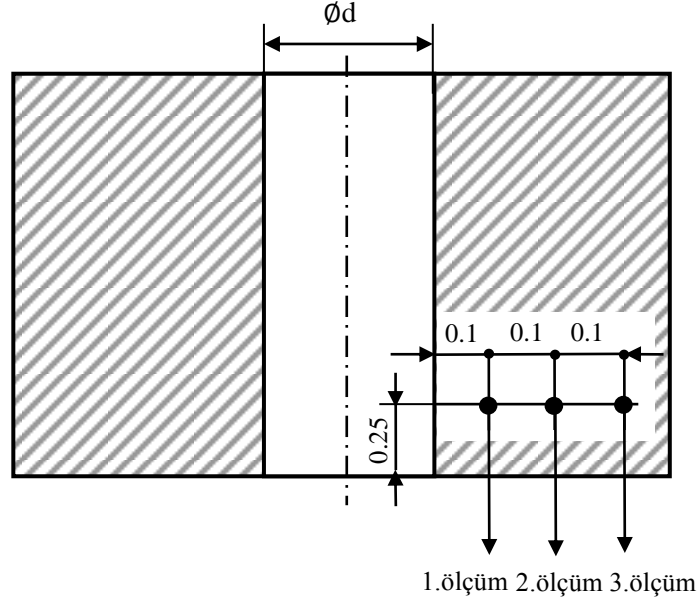
Şekil 2.9. Çapak kalınlıklarının ölçümleri (SEM görüntüleri)

2.5. Mikrosertlik Ölçümleri

Kombinasyonel olarak yapılan delme işlemleri sonrasında, delik yan yüzeyinde sıcaklık ve deformasyondan etkilenen bölgenin sertlik değişimini belirlemek amacıyla, mikrosertlik değerleri ölçüldü. Mikrosertlik ölçümü için numuneler delik eksenine paralel olarak tam ortasından kesme diski ile kesildi. Numuneleri mikroskobik incelemeye uygun hale getirmek için numuneler parlatıldı (Şekil 2.10). Bu parlatma işlemi ile daha önceki işlemler sırasında yüzey bölgesinde oluşan deformasyon zonunun (bölgesinin) azaltılması hedeflendi. Bu bakımdan, parlatma işleminin her adımında daha ince aşındırıcılar kullanıldı, basma kuvveti ve makinenin dönme hızı kademeli olarak azaltıldı. Parlatma işleminden önce zımparalama yapıldı (kaba, ince zımparalama ve son parlatma). Zımparalama SiC esaslı metal zımpara kâğıtları (sırasıyla 300-500-800-1200 meshlik) kullanılarak gerçekleştirildi. Parlatma işleminin son aşamasında aşındırıcının özel olarak dışarıdan katılması (pasta) ile çuha kullanılarak standartlara uygun yapıldı. Parlatma sırasında numune ile aşındırıcı (çuha) arasında sürtünmeden ileri gelebilecek ısınmayı engellemek için su kullanıldı. Parlatma işlemi sonunda yüzey Keller çözeltisi (2.5 ml HNO₃, 1.5 ml HCl, 1 ml HF ve 95 ml saf su) kullanarak dağlandı. Daha sonra, Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde Anton & Paar Physica MHT-10 marka cihaz ile mikrosertlik değeri HV (Vickers Sertliği) cinsinden ölçüldü. Ölçümler yapılırken literatürler [85-87] dikkate alınarak Şekil 2.11'de görüldüğü gibi delik çıkışından itibaren 0.250 mm'lik bir mesafede delik çapının sınır bölgesinden itibaren delik eksenine dik olarak 0.1 mm aralıklarla ve 20 gr ağırlık ile deney tekrar sayısına göre (3 kez) ölçümler yapıldı ve mikrosertlik değerleri tüm bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplandı.



Şekil 2.10. Malzemenin mikroskobik incelemeye uygun hale getirilmesi



Şekil 2.11. Mikrosertlik ölçüm mesafeleri

2.6. Pürüzlülük Ölçümleri

Kombinasyonel olarak yapılan delme işlemleri sonrasında, delik yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi amacıyla numuneler delik eksenine paralel olarak tam ortasından kesme diski ile kesildi. Daha sonra yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, Mitutoyo SJ-201 yüzey pürüzlülük ölçme cihazı ile yapıldı. Ölçümlerde literatür çalışmaları [88,91] dikkate alınarak, örnekleme uzunluğu 0.8 mm, örnekleme sayısı 5 olarak (0.8x5) seçildi. Bu cihaza ait diğer örnekleme uzunluğu değerleri ise sırasıyla 0.25mm ve 2.5mm 'dir. Ölçme işlemi literatürde [88-91] genellikle delik eksenine paralel olarak üç farklı noktadan yapılmıştır. Ancak bu çalışmada ölçümlerin hassas bir şekilde değerlendirilmesi için beş farklı noktadan ölçümler alındı ve daha sonra bu değerlerin ortalamasına göre Ra değerleri belirlendi.

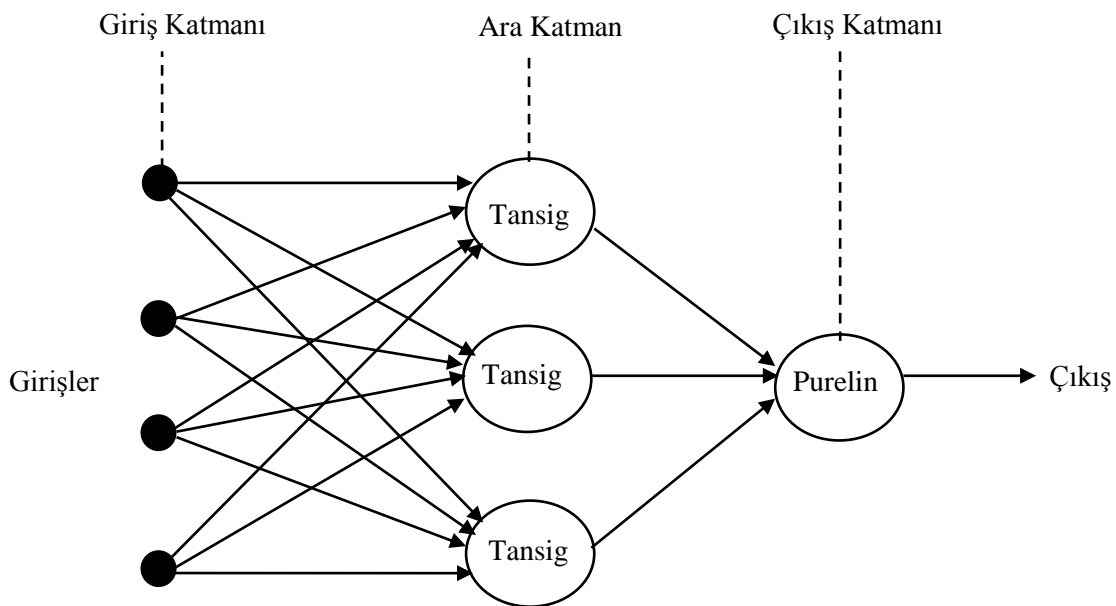
2.7. YSA Modelinin Oluşturulması

Çapak şeklinin çok karmaşık olması ve çok sayıda parametreye bağlı olmasından dolayı formüllerle ifade edilmesi oldukça güçtür. Bu durumda genellikle literatürde YSA modellemenin kullanılacağı önerilmektedir [28-33,73-81]. Bu çalışmada da yapılan deneyler sonucunda elde edilen çapak boyutlarının modellenmesi için ileri beslemeli YSA

modeli kullanıldı ve geliştirilen bu model Şekil 2.12’de görüldüğü gibi üç katmandan (4-3-1) oluşturuldu.

Buna göre birinci katman giriş katmanı olup giriş parametrelerini ihtiva etmektedir. Giriş değerleri için çap, uç açısı, devir sayısı ve ilerleme parametreleri kullanıldı. İkinci katman ise ara katman olup 3 nörondan oluşturulmuştur ve aktivasyon fonksiyonu olarak deneme yanılma yöntemi ile “tansig” fonksiyonu belirlendi. Üçüncü katman çıkış katmanı olup tek nörondan oluşturuldu ve aktivasyon fonksiyonu deneme yanılma yöntemi ile lineer bir fonksiyon olan “purelin” kullanıldı. Model yapı eğitilirken katmanları ve nöronları birbirine bağlayan ağırlık katsayıları optimum değerlerde seçildi. Bunun için çeşitli eğitim teknikleri kullanılmaktadır. YSA modellerinin eğitiminde kullanılan en yaygın metot “backpropagation” tekniğidir [28-33,73-81] ve bu çalışmada da bu teknik kullanıldı. Modelin çıkış değeri ile eğitim verileri karşılaştırılarak çıkış hataları bulundu ve bu hata değeri kullanılarak çıkış katmanından geriye doğru bir önceki katmana ait nöron çıkışlarındaki hatalar hesaplandı.

Daha sonra, bu hataları minimum yapacak yeni ağırlık katsayıları belirlendi. Bu şekilde belli bir sayıda iterasyon ile devam edilerek çapak boyutunu minimuma indirmeye yönelik model geliştirildi. Deneysel verilerin %75 ’i modellerin eğitiminde kullanılırken, geriye kalan %25 ’i modellerin test edilmesinde kullanıldı. Ayrıca yukarıda bahsedilen işlemler için MATLAB “Neural Network Toolbox” yapay sinir ağı araç kutucuğu kullanıldı.



Şekil 2.12. Çapak yüksekliği ve kalınlığı için oluşturulan YSA modelin yapısı

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu tez çalışmasında, deney parametrelerinin fazla olması sebebiyle deney sonuçlarının daha iyi tartışılabilmesi için deneyler mikrosertlik, yüzey pürüzlülüğü, çapak yükseklikleri, kalınlıkları ve şekillerinin ölçümleri gibi aşağıda beş ana başlık altında değerlendirildi.

3.1. Mikrosertlik Ölçümüne Ait Bulgular

Yapılan delme deneyleri sonrasında, Şekil 2.12 dikkate alınarak delik içerisinde oluşan ısıdan en fazla etkilenen bölgedeki sertlik değişimine ait ölçüm sonuçları toplu olarak Tablo 3.1’de verildi. Bu Tabloda verilen S1-S72 ifadeleri daha önce Bölüm 2.2’de belirtildiği gibi her bir delme deneyine karşılık gelen deney kodlarını göstermektedir. Mesela S1-S36 aralığı Ø5 mm çapında matkap ile S37-S72 aralığı da Ø10 mm çapındaki matkap ucu ile yapılan deneyleri ifade etmektedir (Bkz. Bölüm 2.2 ‘de Tablo 2.3).

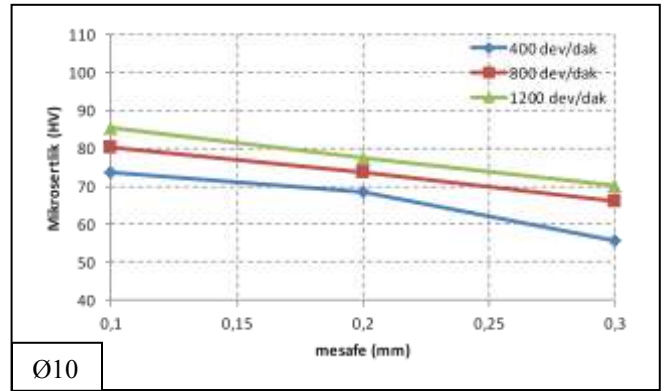
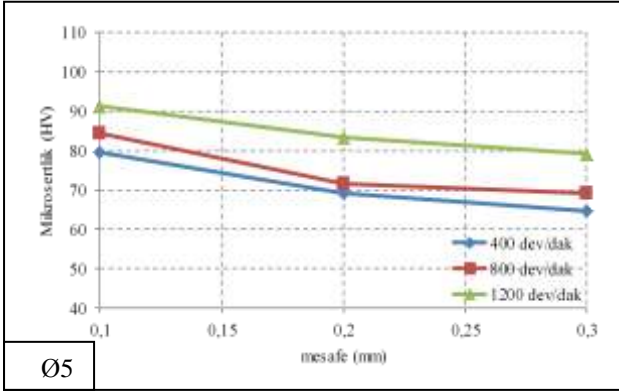
Tablo 3.1. Ölçülen ortalama mikrosertlik değerleri (HV)

Deney No	Mesafe						
	0.1 mm	0.2 mm	0.3 mm				
S1	73.5	68.3	55.8	S14	78.4	69.9	60.3
S2	78.5	70.2	57.5	S15	79.7	72.4	62.5
S3	80.5	73.1	59.4	S16	81.9	70.0	62.4
S4	80.2	73.5	66.2	S17	83.2	73.5	67.1
S5	83.4	75.5	70.2	S18	87.2	74.2	68.4
S6	89.9	78.1	72.5	S19	70.1	57.4	51.1
S7	85.3	77.4	70.1	S20	71.4	58.7	55.8
S8	88.4	79.0	72.3	S21	74.7	61.2	57.1
S9	92.3	88.0	78.1	S22	73.3	61.2	55.5
S10	71.4	58.1	54.4	S23	74.2	62,9	57.2
S11	74.4	62.9	55.1	S24	77.4	67.9	60.1
S12	79.1	63.9	58.1	S25	79.2	64.4	60.2
S13	75.4	66.9	59.3	S26	84.2	67.3	62.7

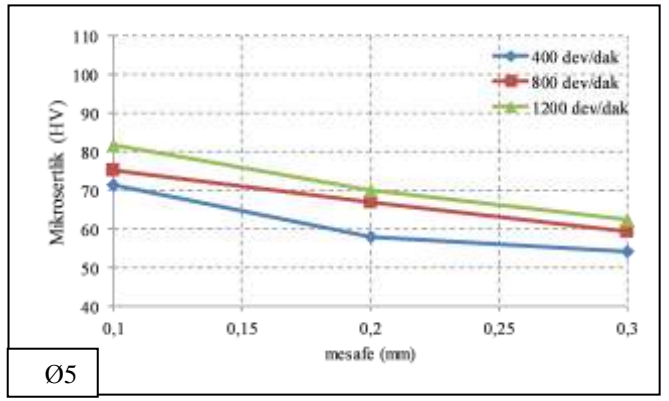
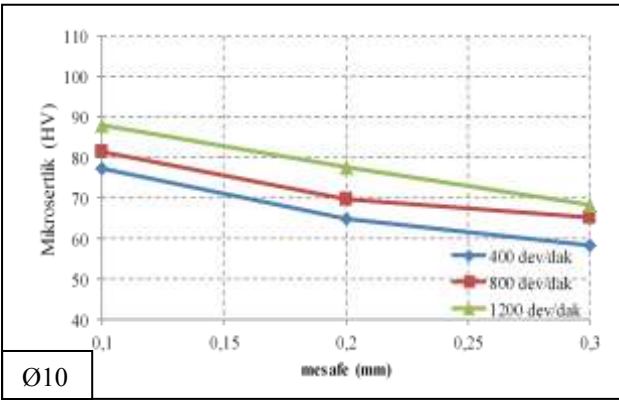
S27	86.5	69.4	64.6	S50	86.4	71.9	67.0
S28	61.4	53.1	51.2	S51	89.2	81.9	76.2
S29	67.3	55.3	53.2	S52	88.1	77.7	68.4
S30	71.4	56.3	54.7	S53	89.9	79.0	71.4
S31	70.2	58.9	54.9	S54	91.9	85.0	81.9
S32	73.1	59.9	56.1	S55	72.4	63.7	53.4
S33	74.5	62.3	57.8	S56	74.7	66.1	54.1
S34	72.2	66.4	58.5	S57	75.7	67.7	59.1
S35	76.3	67.4	62.6	S58	74.1	65.2	58.0
S36	78.2	70.4	64.2	S59	75.2	67.9	63.0
S37	79.5	69.1	64.8	S60	78.4	72.9	70.1
S38	80.5	72.2	68.8	S61	75.2	76.4	63.9
S39	87.5	73.2	72.8	S62	78.2	78.4	72.6
S40	84.2	71.5	69.2	S63	79.3	79.4	77.6
S41	87.2	76.5	70.2	S64	70.4	55.1	52.2
S42	89.2	84.5	78.2	S65	74.4	56.3	53.2
S43	91.3	83.3	79.3	S66	76.1	59.3	56.2
S44	98.4	93.0	81.0	S67	75.1	57.9	55.8
S45	100.4	98.0	84.3	S68	76.1	61.7	57.8
S46	77.4	64.9	58.4	S69	78.1	68.9	60.8
S47	81.4	66.9	59.1	S70	76.3	62.4	59.6
S48	84.4	75.9	69.1	S71	77.2	68.4	63.6
S49	81.4	69.9	65.2	S72	79.2	74.3	67.6

3.1.1. Devir Sayısının Mikrosertlik Üzerine Etkisi

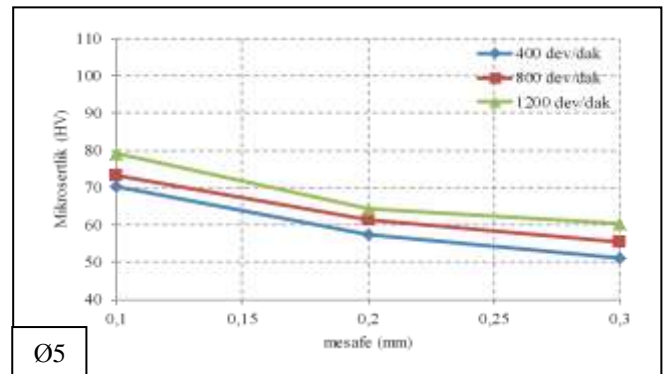
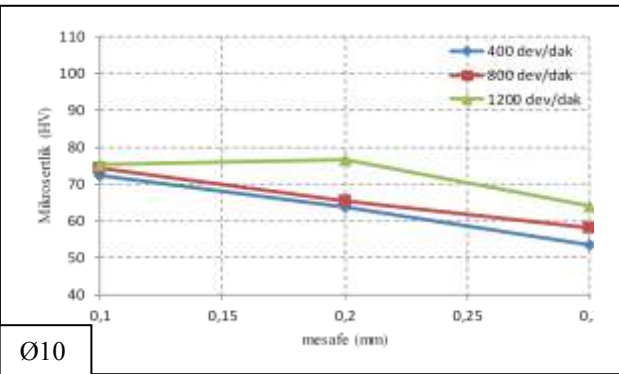
Bu bölümde, delme parametrelerine göre devir sayısının mikrosertlik üzerindeki etkilerini daha açık bir şekilde görebilmek için Tablo 3.1 dikkate alınarak aşağıdaki grafikler çizildi.



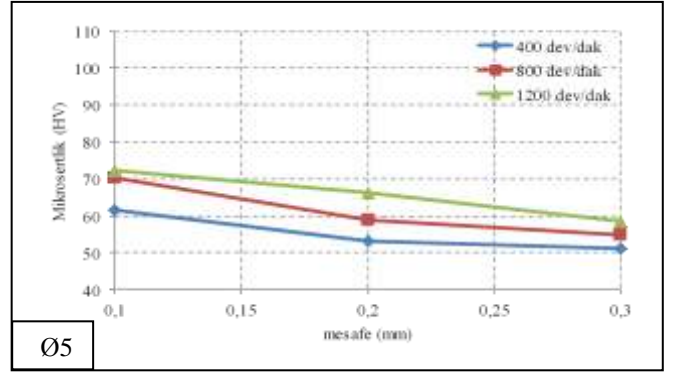
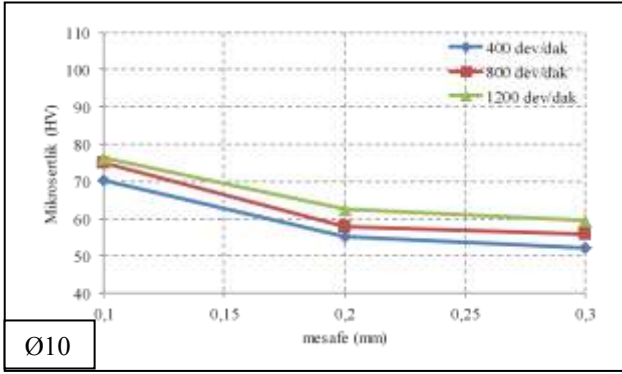
a) Matkap uç açısı 90°



b) Matkap uç açısı 118°

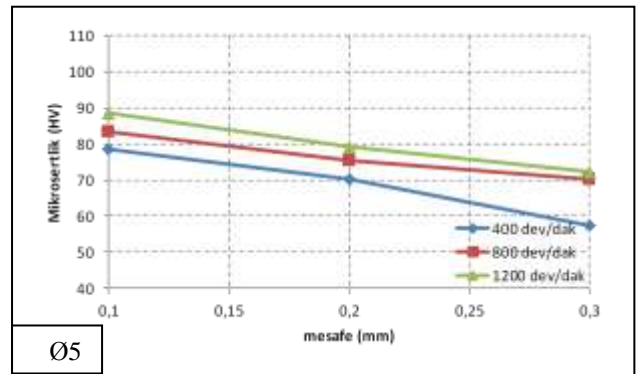
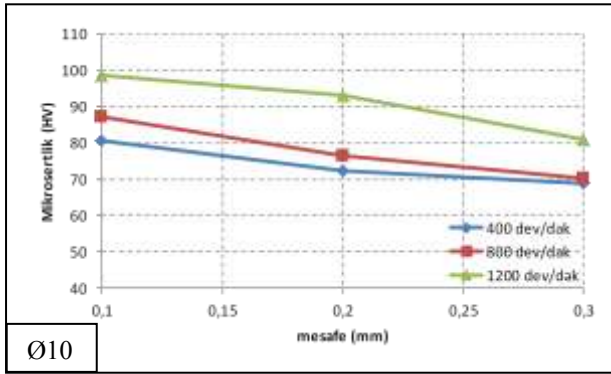


c) Matkap uç açısı 130°

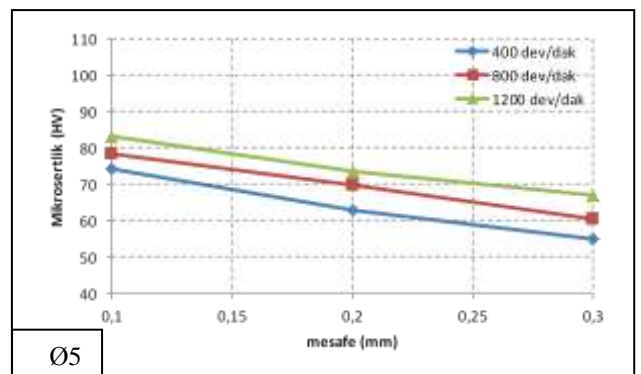
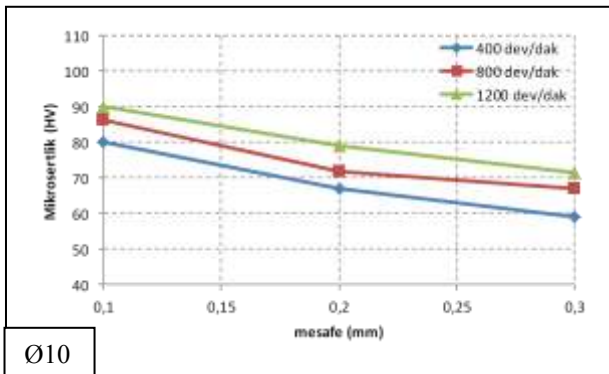


d) Matkap uç açısı 140°

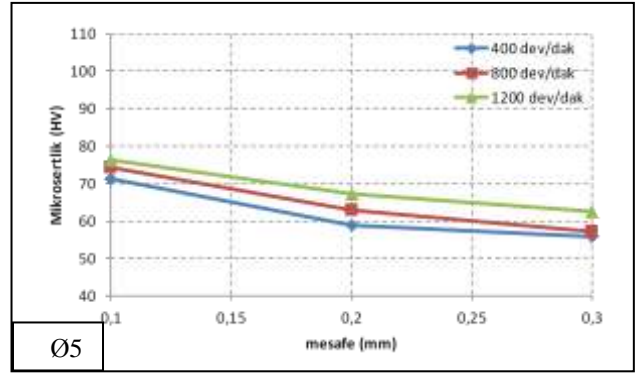
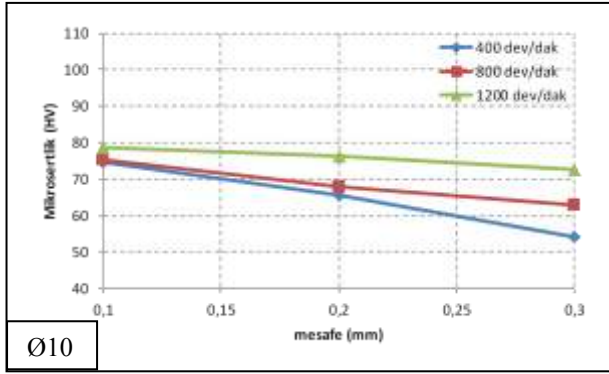
Şekil 3.1. 0.1 mm/dev için mikrosertliklerin devir sayısına göre değişimleri



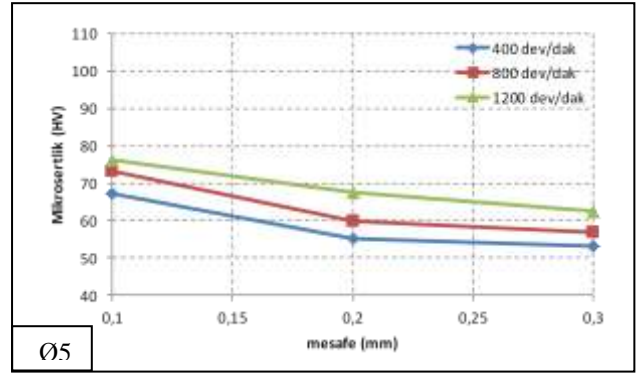
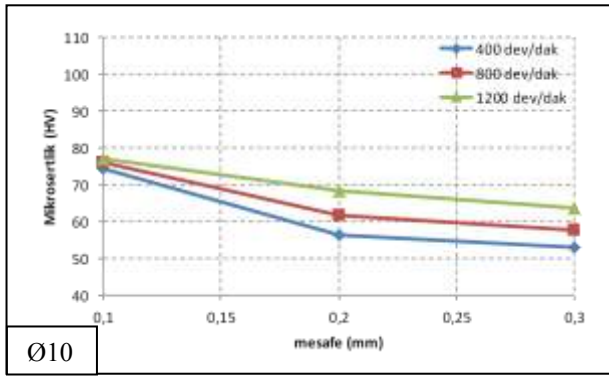
a) Matkap uç açısı 90°



b) Matkap uç açısı 118°

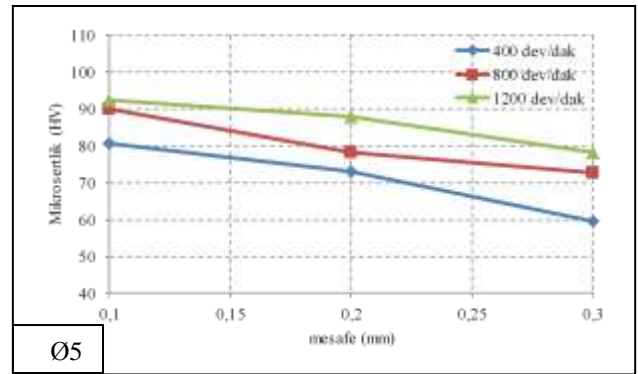
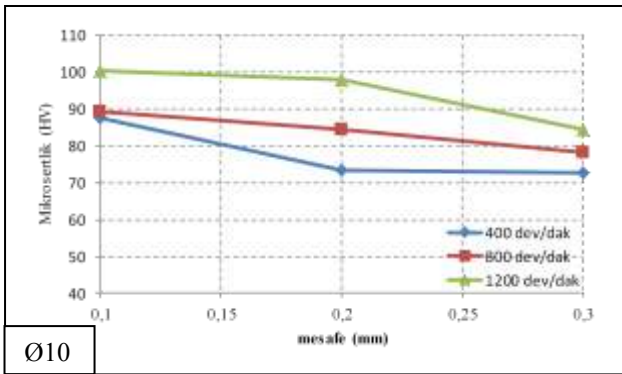


c) Matkap uç açısı 130°

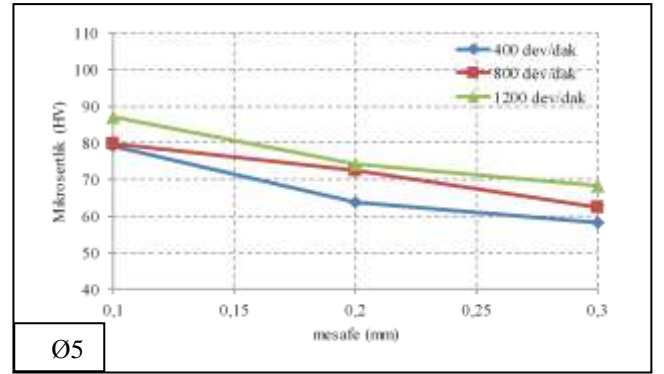
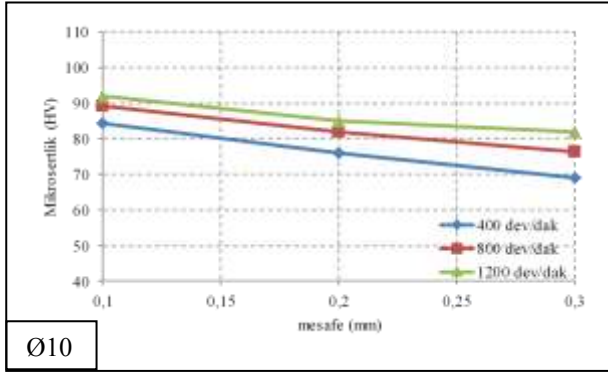


d) Matkap uç açısı 140°

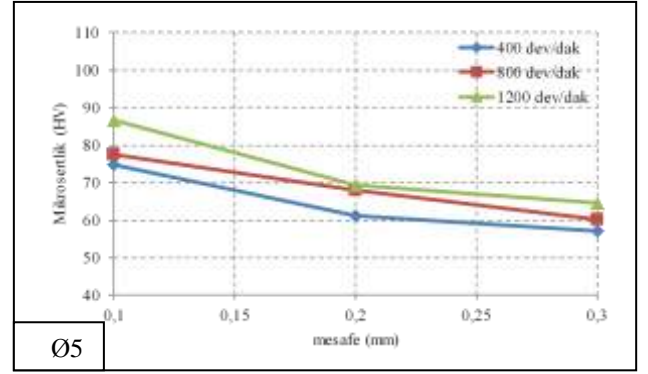
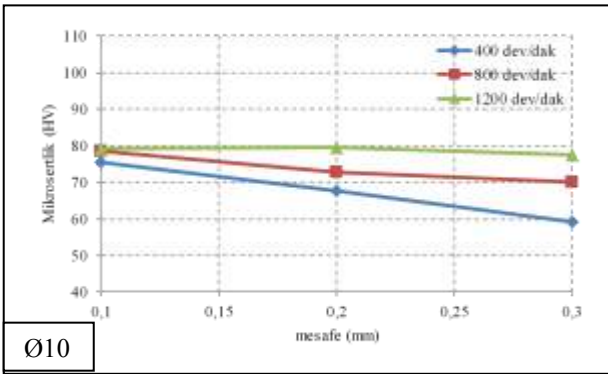
Şekil 3.2. 0.2 mm/dev için mikrosertliklerin devir sayısına göre değişimleri



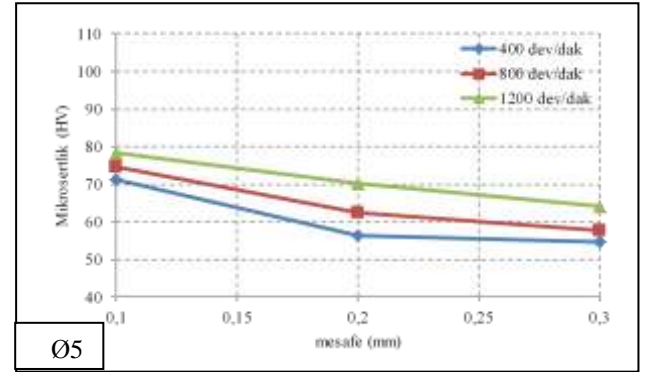
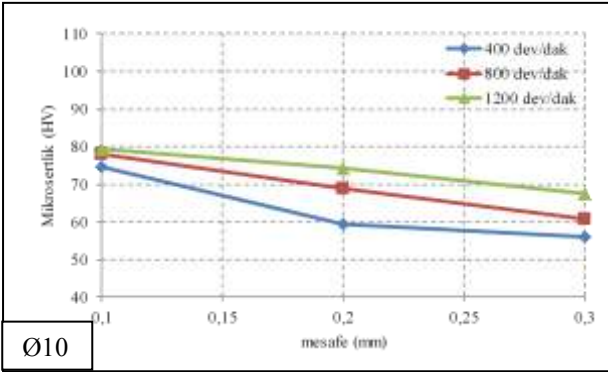
a) Matkap uç açısı 90°



b) Matkap uç açısı 118°



c) Matkap uç açısı 130°



d) Matkap uç açısı 140°

Şekil 3.3. 0.3 mm/dev için mikrosertliklerin devir sayısına göre değişimleri

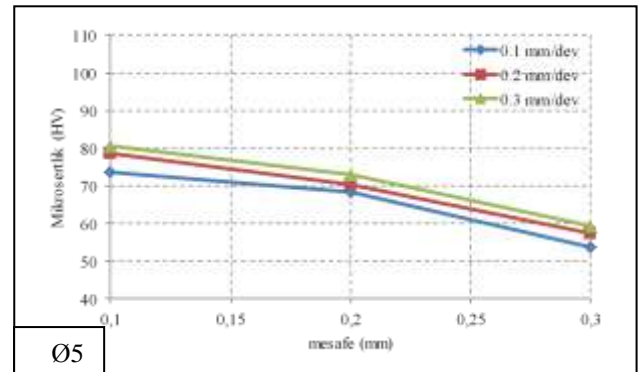
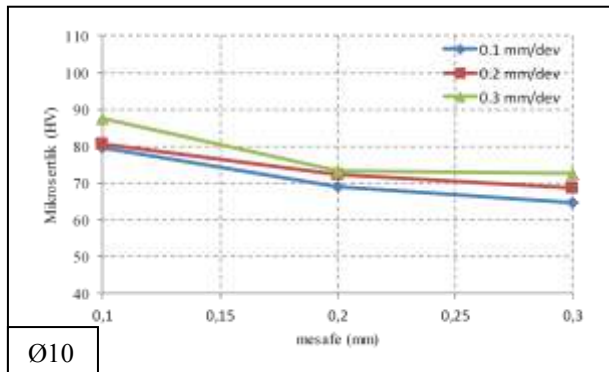
Grafikler toplu olarak incelendiğinde, genel olarak delik yüzeyine yakın bölgelerde devir sayısı arttıkça mikrosertliğin de arttığı görülmektedir. Bu durum yüksek kesme hız değerlerinde yüksek kesme sıcaklıklarının oluşması ile açıklanabilir [92]. Çünkü yüksek kesme sıcaklıkları deformasyon işlemini kolaylaştırarak iş parçasının işlenen yüzeyinde

pekleşemeye neden olmaktadır [93]. Bu çalışmada da bu durumun delik çevresinde mikrosertlikleri artırdığı görülmektedir (Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3 a, b, c ve d).

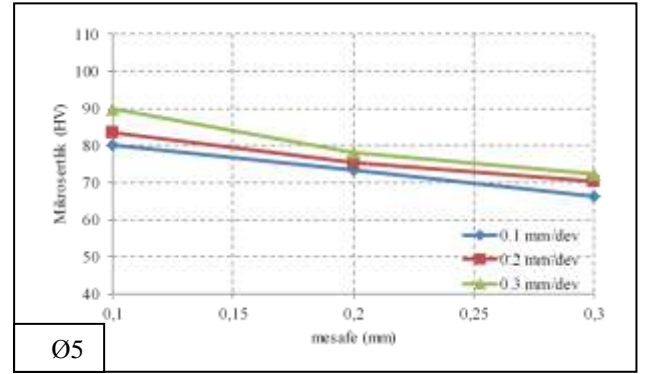
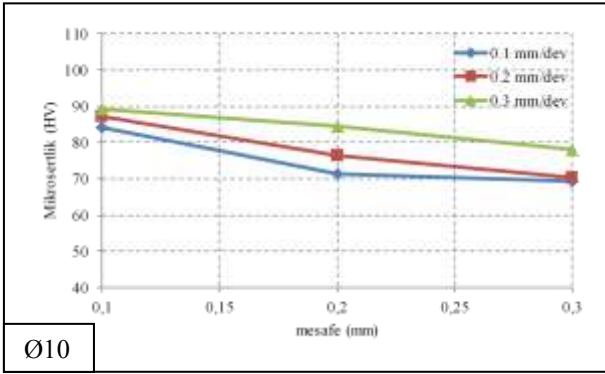
İş parçasının işlenmesi sırasında maruz kaldığı mekanik gerilmelerden dolayı meydana gelen dislokasyonlar, dışarı atılamayıp işlenen yüzeye yakın kısımlarda birikerek dislokasyon yoğunluğu artırmaktadır. Bu da mukavemetin artmasına ve sünekliğin azalmasına neden olmaktadır [92-93]. Delik yüzeyine yakın kısımlarda bu yoğunluk daha fazla olduğundan bu bölgelerde ölçülen mikrosertlik değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3 a, b, c ve d). Ayrıca daha önceki çalışmalarda [85,94], yüksek kesme hızına bağlı olarak artan sıcaklığın nüfuz ettiği bölgelerin, ısınıp soğumadan dolayı yeni metalürjik özellikler kazandığı ve mikrosertliği artırdığı ifade edilmektedir. Yine, delik kenar bölgesinde sıcaklığın fazla olması, delik kenarına yakın bölgelerin ısıdan daha fazla etkilenmesine ve bunun sonucu olarak da, bu bölgelerin mikrosertlik değerinin diğer bölgelerden farklı olması anlamına gelmektedir. Diğer yandan matkap çapındaki değişimin de literatürde delme sıcaklığını ve deformasyon miktarını etkilediği söylenmektedir [95]. Matkap çapının artması kesme yüzey alanını artırdığından, daha fazla sürtünmeye ve deformasyona neden olmaktadır [95]. Bu çalışmada da matkap çapındaki değişimin mikrosertlik değerlerini etkilediği görülmektedir (Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3 a, b, c, d).

3.1.2. İlerlemenin Mikrosertlik Üzerine Etkisi

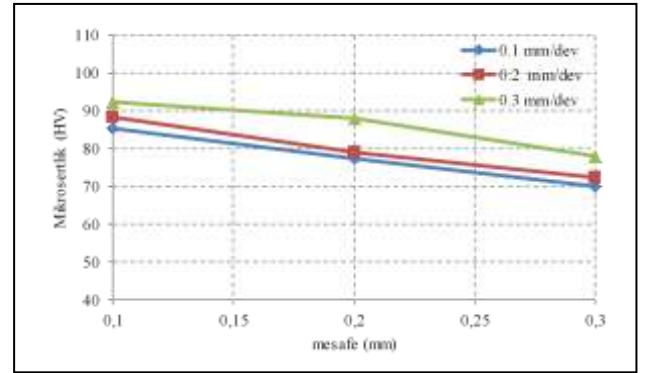
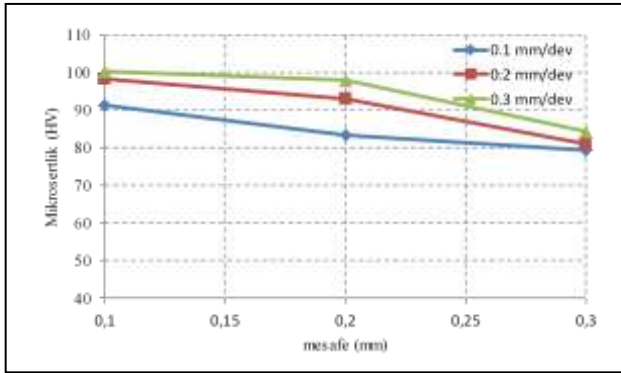
Bu bölümde de, delme parametrelerine göre devir başına ilerlemenin mikrosertlik üzerindeki etkilerini inceleyebilmek için Tablo 3.1'deki deneyler dikkate alınarak aşağıdaki grafikler çizildi (Şekil 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7).



a) 400 dev/dak

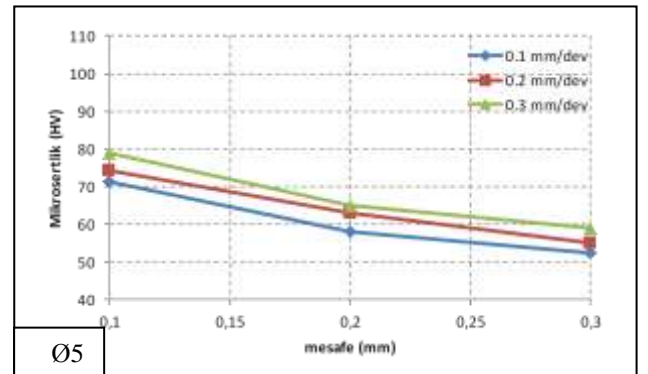
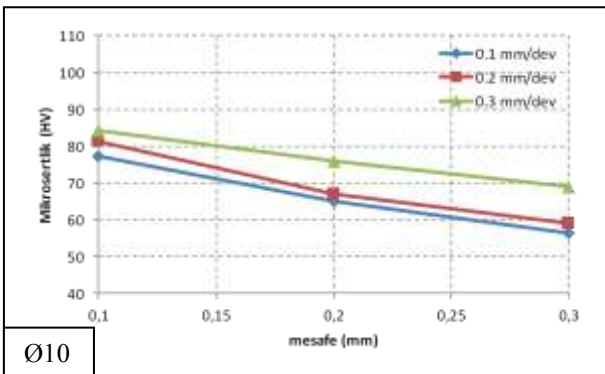


b) 800 dev/dak

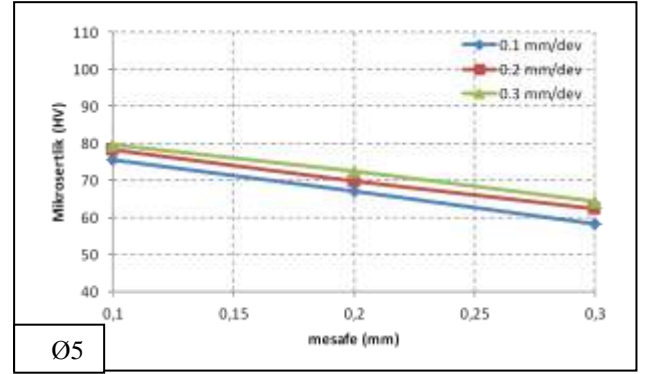
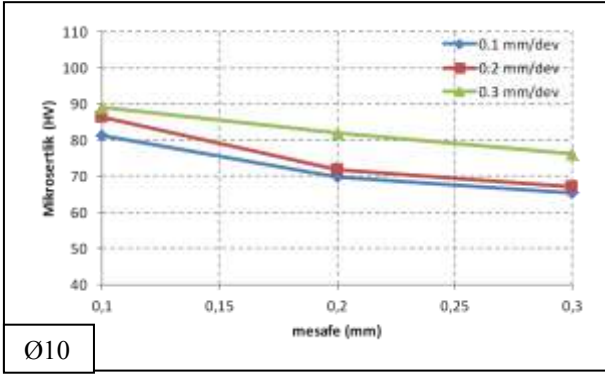


c) 1200 dev/dak

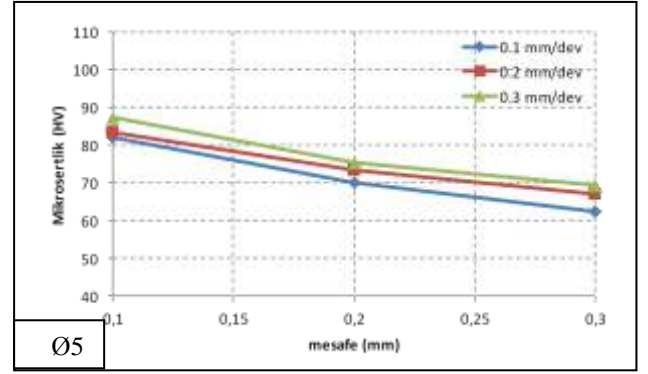
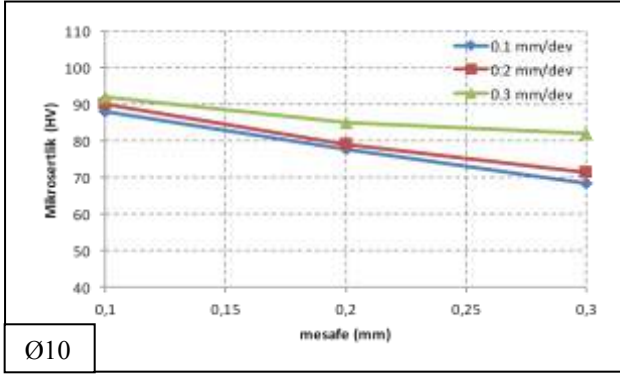
Şekil 3.4. Matkap uç açısı 90° için mikrosertliklerin ilerlemeye göre değişimleri



a) 400 dev/dak

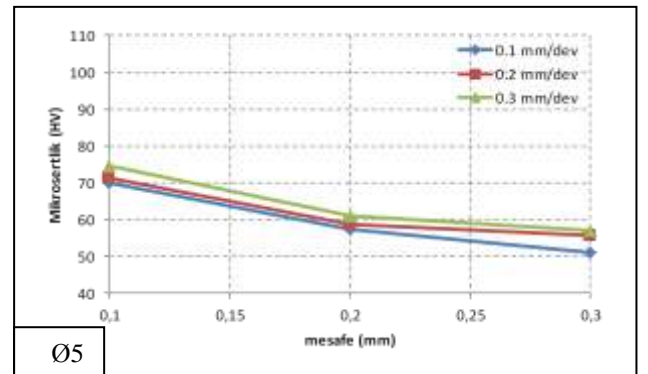
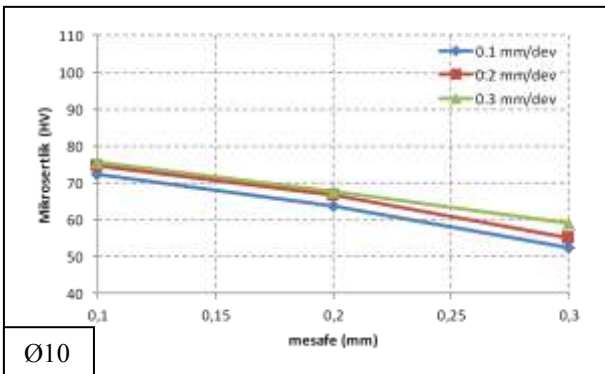


b) 800 dev/dak

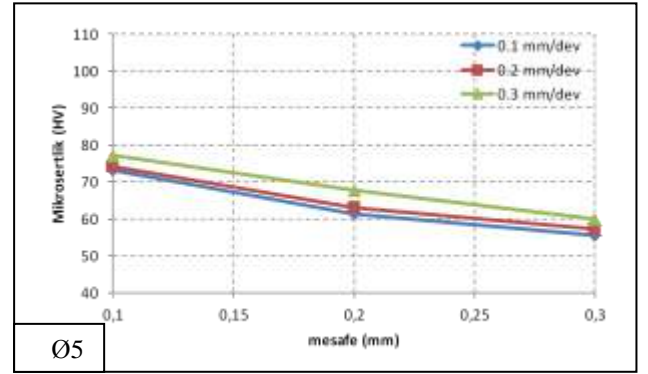
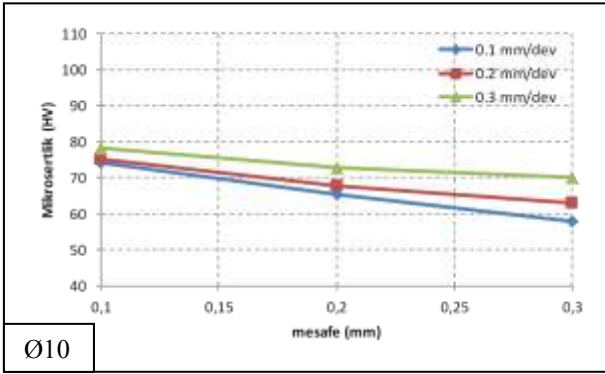


c) 1200 dev/dak

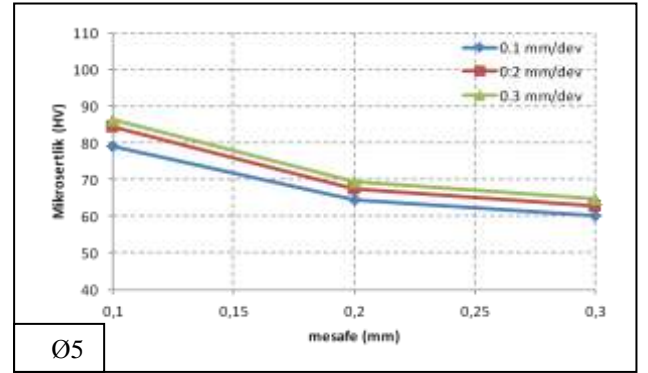
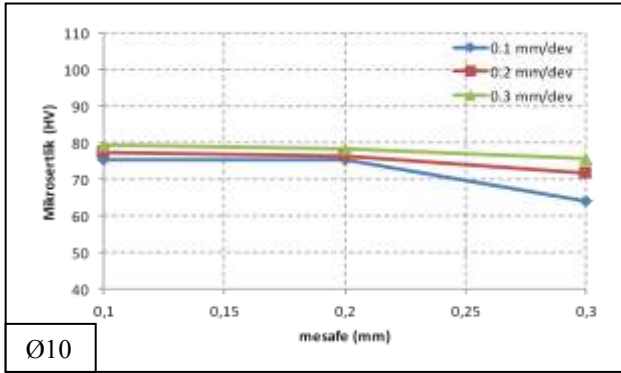
Şekil 3.5. Matkap uç açısı 118° için mikrosertliklerin ilerlemeye göre değişimleri



a) 400 dev/dak

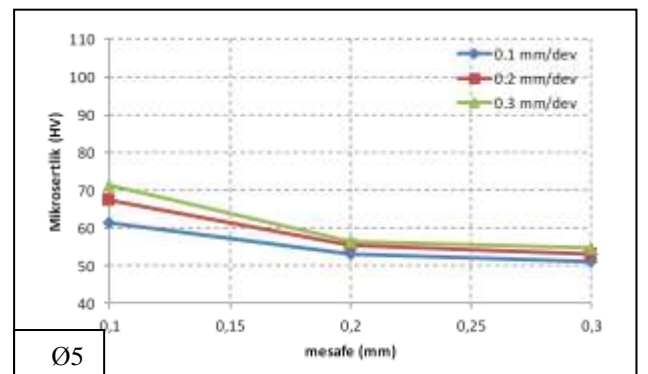
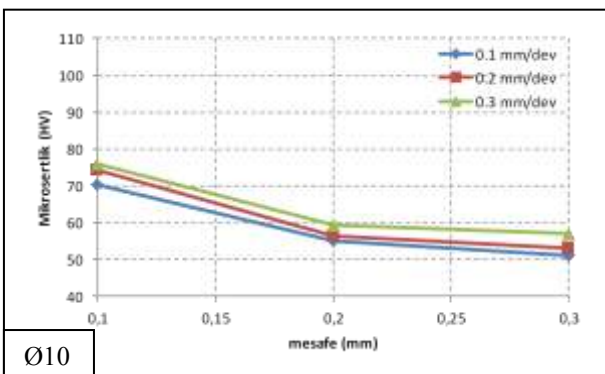


b) 800 dev/dak

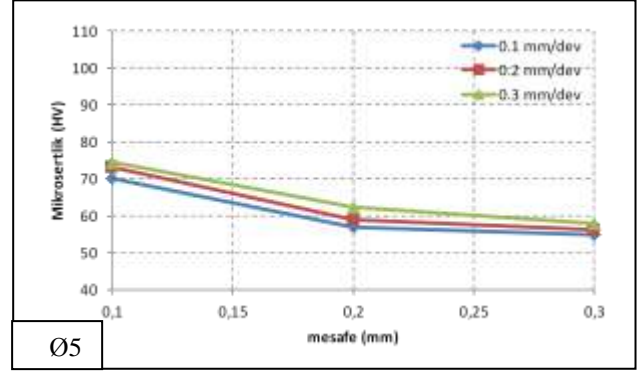
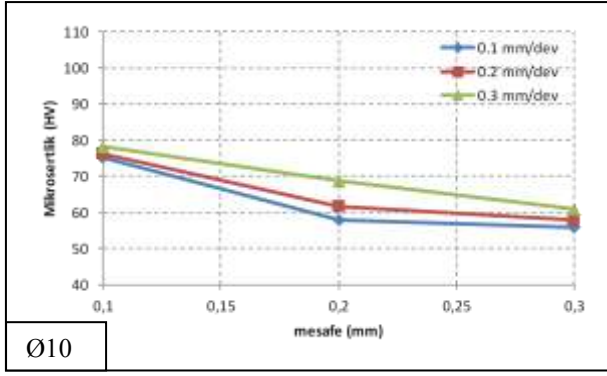


c) 1200 dev/dak

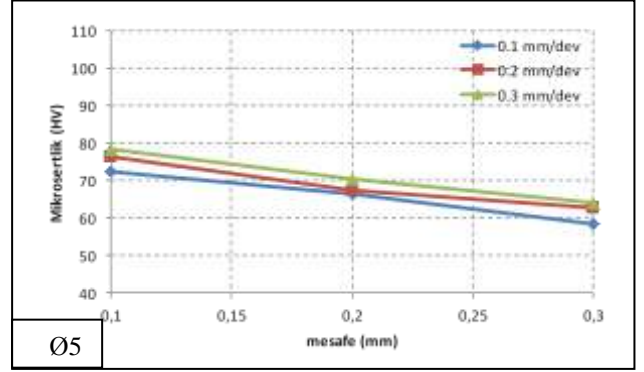
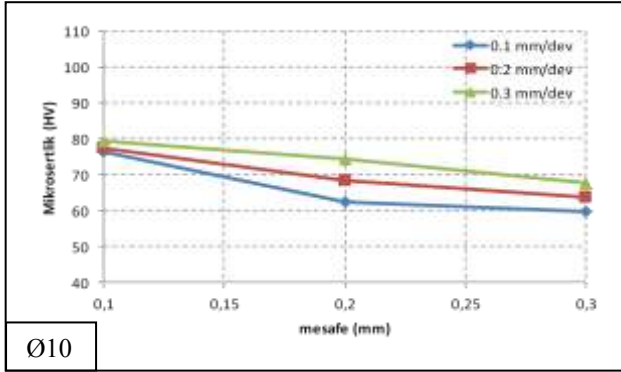
Şekil 3.6. Matkap uç açısı 130° için mikrosertliklerin ilerlemeye göre değişimleri



a) 400 dev/dak



b) 800 dev/dak



c) 1200 dev/dak

Şekil 3.7. Matkap uç açısı 140° için mikrosertliklerin ilerlemeye göre değişimleri

Grafiklerden de görüldüğü gibi, ilerleme miktarının artmasıyla mikrosertliğin de arttığı görülmektedir (Şekil 3.4-3.7). Artan ilerlem miktarına bağlı olarak devir başına kesilen talaş kalınlığı artacaktır. Bu artış hem delik ekseninde hem de yan yüzeyde daha fazla gerilme uygulaması anlamına gelir. Benzer şekilde de literatürde [96], yoğun plastik deformasyon sonucunda deformasyon sertleşmesi ile yüzeyde sert bir katmanın meydana geldiği ifade edilmektedir. Bu çalışmada da delik yüzeyine yakın yerlerde deformasyon etkisi daha fazla olduğu için, delik yüzeyinden uzaklaştıkça mikrosertlik değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 3.4-3.7 a, b, c).

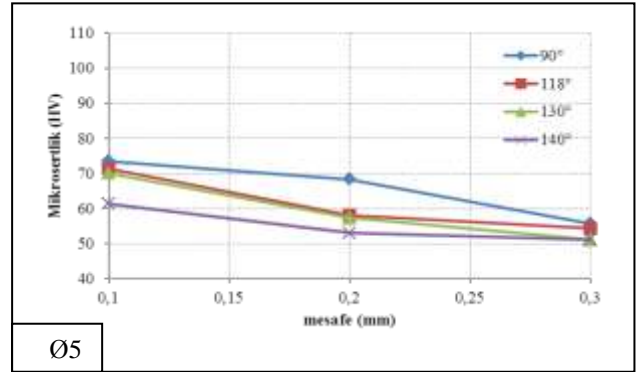
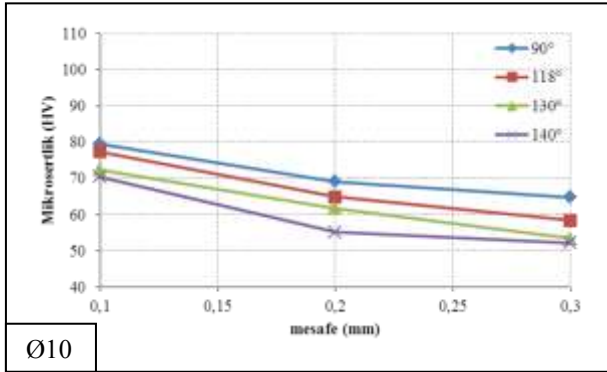
Ayrıca konu ile ilgili benzer çalışmalar incelendiğinde [97,98] yüksek devir sayılarında ilerleme lineer olarak arttıkça matkabın yüzeyle temas süresi azalmakta ve ilerleme kuvveti artmaktadır. Bu durumun ise sıcaklığın doğrusal olmayan şekilde artmasına neden olduğu belirtilmektedir. Düşük devir sayılarında ise ilerleme lineer olarak arttıkça, sıcaklık kararlı bir yapıya ulaşmaya kadar sürekli artar ve kararlı yapıyı yakaladıktan sonra doğrusal olmayan şekilde azalır. Bu durumda ise, belirli bir kesme süresine kadar kesme kuvvetinin etkisi, temas süresinin etkisine göre nispeten daha baskın olmakta ve bu süreye kadar ilerleme lineer arttıkça sıcaklığın da eğri şeklinde arttığı belirtilmektedir. Ancak bu süreden sonra temas süresi ilerleme kuvvetine göre daha baskın

oluğundan, ilerleme arttıkça sıcaklığın eğri şeklinde azaldığı ifade edilmektedir. Bu çalışmada devir başına ilerlemenin artmasına bağlı olarak mikrosertlik değerlerinin arttığı, düşmesine bağlı olarak da azaldığı görülmektedir (Şekil 3.4-3.7 a, b, c). Elde edilen bu sonuçlara göre literatürde bahsedilen ilk durumun daha etkili olduğu söylenebilir.

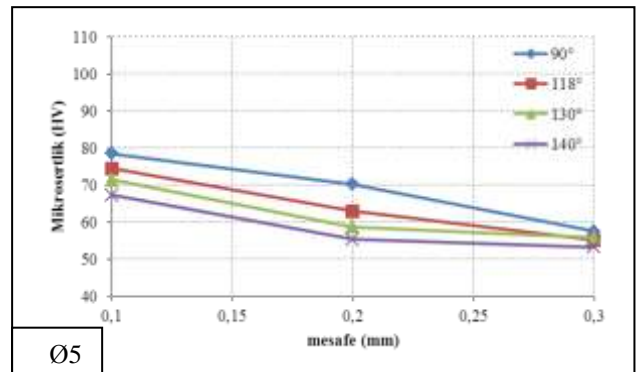
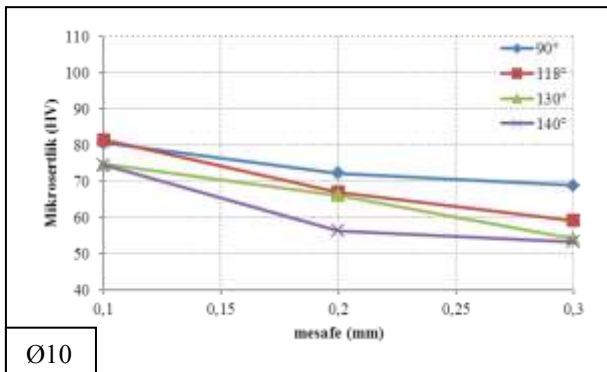
Ayrıca, Ø10 mm'lik matkap ile yapılan delme deneylerinde oluşan mikrosertlik değerlerinin Ø5 mm'lik matkaba göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.4-3.7 a, b, c). Matkap çapı arttıkça çevresel kuvvetin artmasına bağlı olarak delik yan yüzeyi üzerinde daha büyük deformasyon etkisi oluşturmaktadır. Bu durumda mikrosertliğin artmasına neden olmaktadır.

3.1.3. Uç Açısının Mikrosertlik Üzerine Etkisi

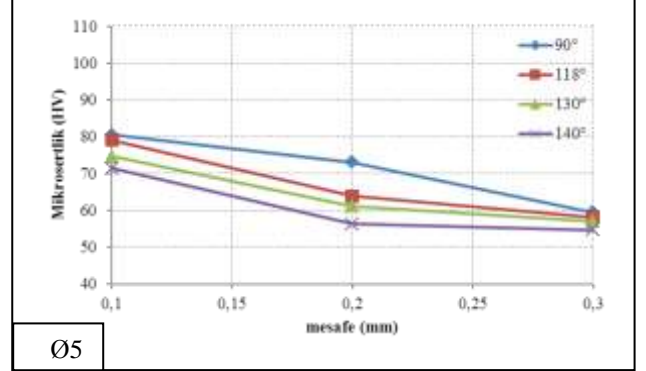
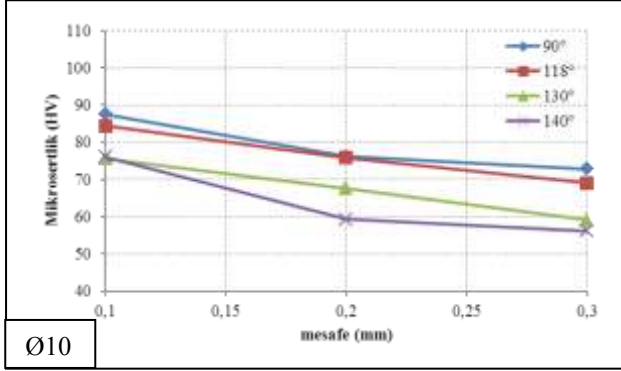
Bu bölümde de, delme parametrelerine göre uç açısının mikrosertlik üzerindeki etkilerini inceleyebilmek için yine Tablo 3.1 dikkate alınarak aşağıdaki grafikler çizildi (Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10).



a) 0.1 mm/dev

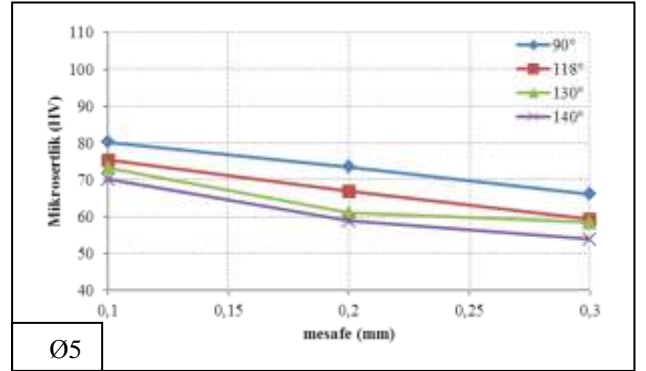
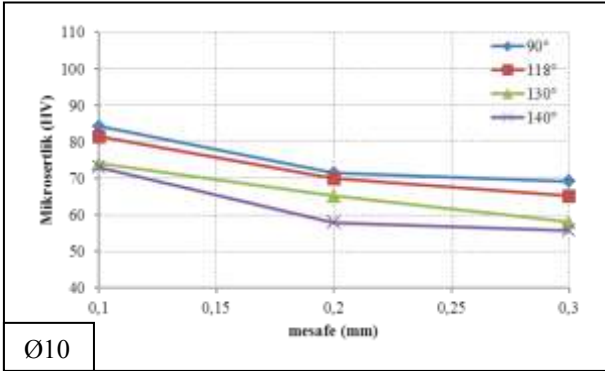


b) 0.2 mm/dev

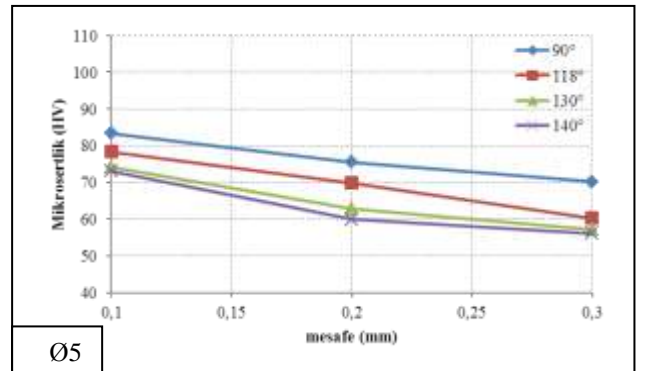
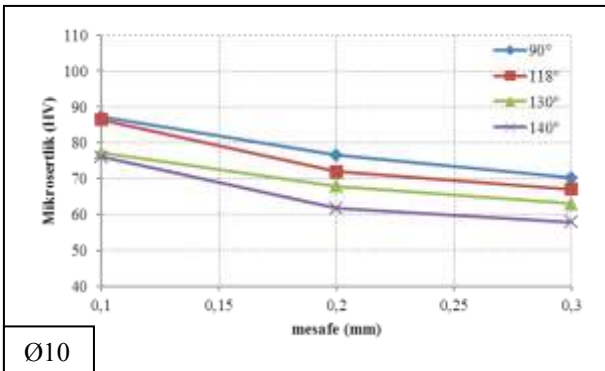


c) 0.3 mm/dev

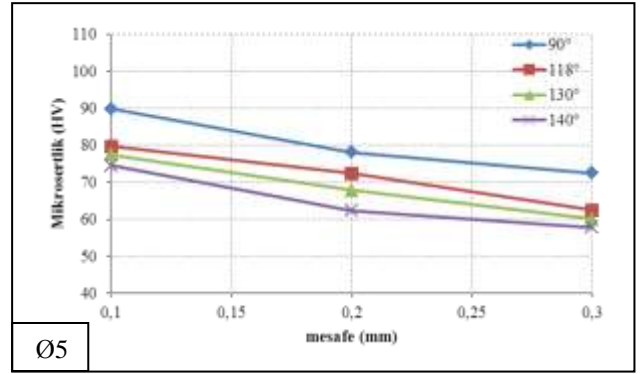
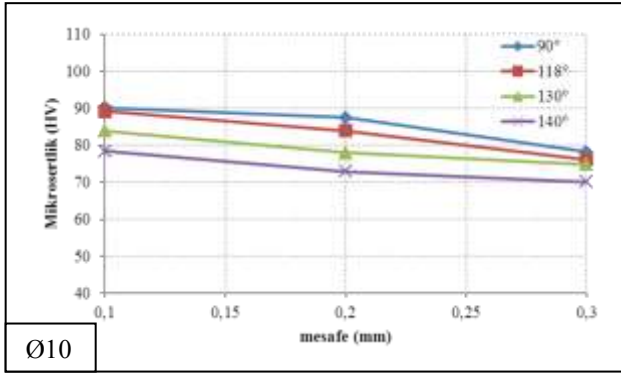
Şekil 3.8. 400 dev/dak için mikrosertliklerin uç açısına göre değişimleri



a) 0.1 mm/dev

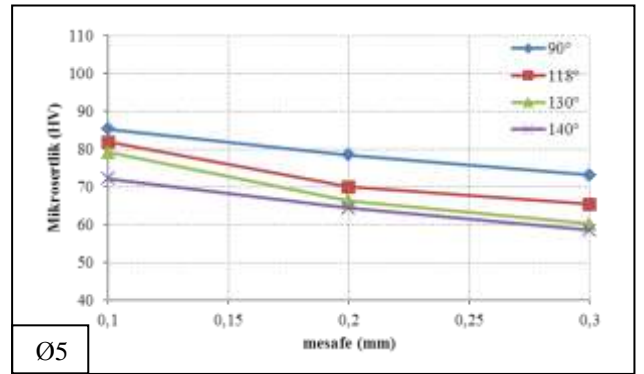
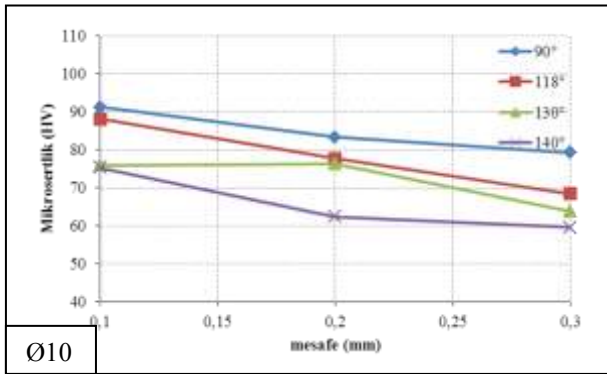


b) 0.2 mm/dev

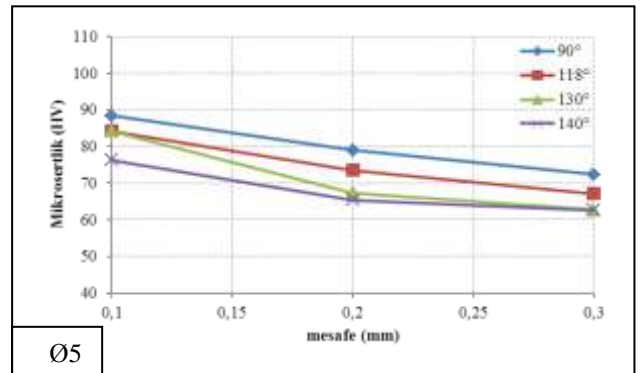
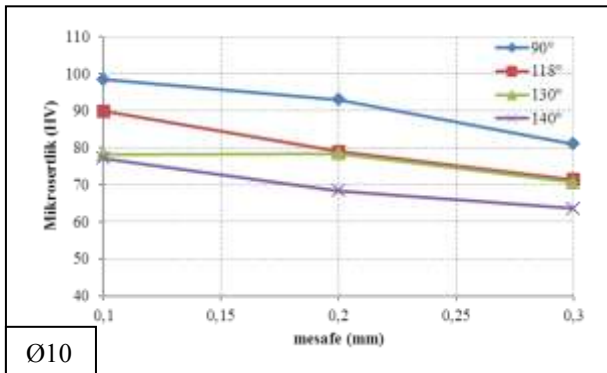


c) 0.3 mm/dev

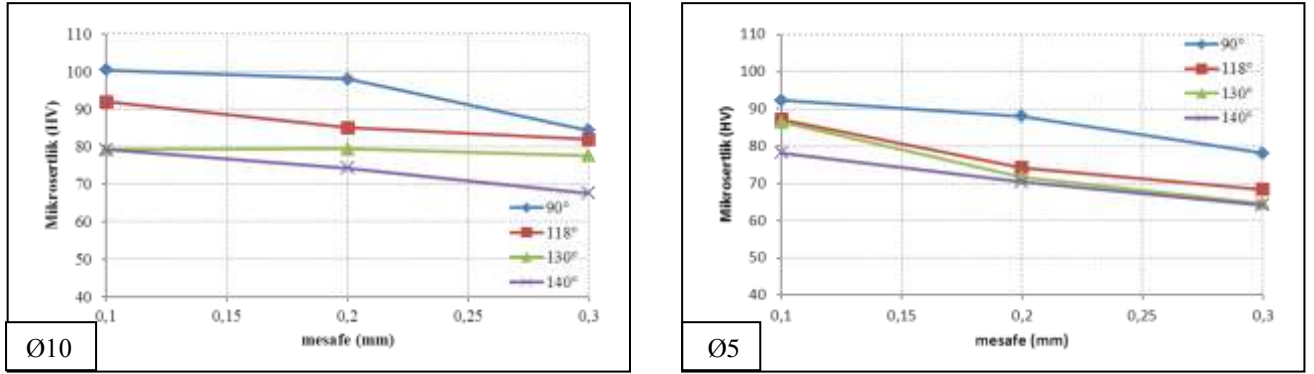
Şekil 3.9. 800 dev/dak için mikrosertliklerin uç açısına göre değişimleri



a) 0.1 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



c) 0.3 mm/dev

Şekil 3.10. 1200 dev/dak için mikrosertliklerin uç açısına göre değişimleri

Grafiklerden de görüldüğü gibi, uç açısının artmasıyla mikrosertlik değeri azalmakta ve her dört uç açısı değeri için de delik kenarından radyal yönde uzaklaştıkça mikrosertlik değerinin azaldığı görülmektedir. Önceki çalışmalarda [92,95,99] delme işlemi sırasında meydana gelen yoğun plastik deformasyon sonucu oluşan pekleşmenin bu durum üzerinde etkin olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmada da literatüre benzer olarak en yüksek mikrosertlik değerlerinin, delik kenarına yakın yerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10 a, b, c).

Uç açısı 90° olan matkap ile delinen deney malzemesinin mikrosertlik değerinin ise 118°, 130° ve 140°'lik açılarla delinen deney malzemesine göre çok daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun öncelikli sebebi uç açısı arttıkça matkabın malzemeye uyguladığı radyal kuvvetin azalmasındandır. Çünkü 90°'lik uç açısına sahip matkabın kesme kenar uzunluğu, diğer uç açılara sahip matkaplara göre daha fazladır. Bu da daha fazla sürtünmenin oluşması anlamına gelmektedir [95]. Dolayısıyla bu çalışmada da küçük uç açılarında hem radyal kuvvetin hem de kesme kenar uzunluğunun büyük uç açılı matkaplara göre daha fazla olması, küçük uç açılı matkaplarla malzemenin delinmesi sırasında malzemenin daha fazla ısınmasına ve deformasyonun artmasına neden olarak [85,86, 99], mikrosertlik değerlerini arttırdığı görülmektedir (Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10 a, b, c).

Delme işlemi sırasında artan ilerleme ve kesme kuvvetine bağlı olarak oluşan basınç, deliğin yakın çevresinde daha fazla etkili olmaktadır [87]. Bu durum deliğe yakın kısımlarda mikrosertlik artışına neden olmaktadır (Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10 a, b, c). Ayrıca delme işlemi esnasında açığa çıkan ısı enerjisi özellikle de deliğin yakın çevresinde atomlar arası bağları zayıflatarak malzemenin yumuşamasına neden olur [92,93]. Isınmayla yumuşayan bu bölgelerin (deliğin yakın çevresi) basınç altında soğuyarak

sertleşmesi, bu bölgelere ait mikrosertlik değerinin diğer bölgelere göre daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Ancak deney malzemesi olarak kullanılan Al-5005 malzemesinin yüksek ısı iletkenliğine sahip olmasından ve oluşan ısının hızlı bir şekilde yayılmasından dolayı, mikrosertlik değerlerinin mesafeye göre düşük eğimli bir değişim gösterdiği görülmektedir (Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10 a, b, c).

Bunun yanı sıra matkap çapı arttıkça, temas yüzeyi arttığından daha fazla ısı açığa çıkmakta ve Ø10 mm çaplı matkap ile yapılan delme deneylerinde oluşan mikrosertlik değerlerinin daha büyük olduğu görülmektedir (Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10 a, b, c).

3.2. Delik Pürüzlülük Ölçümüne Ait Bulgular

Yapılan delme deneyleri sonrasında, delme parametrelerine göre oluşan delik yüzey pürüzlülüklerinin çapak oluşumları ile ilişkisini belirlemek için pürüzlülük ölçüm sonuçları da sırasıyla Tablo 3.2’de verildi.

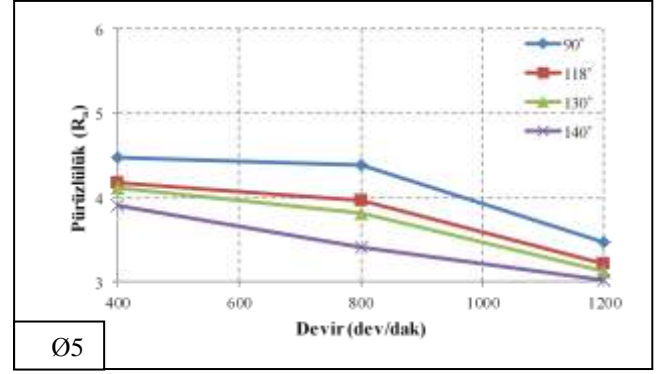
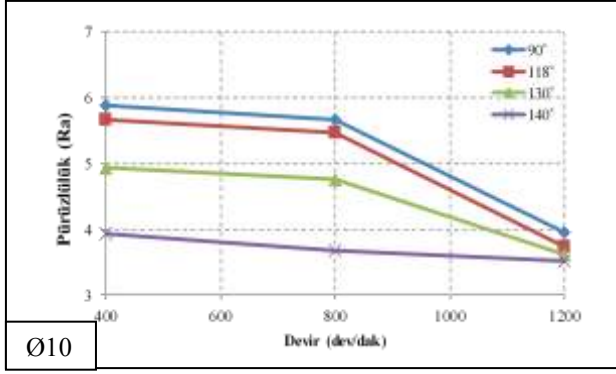
Tablo 3.2. Delik yüzeyinden ölçülen ortalama pürüzlülük değerleri (μm)

Deney No	Pürüzlülük (R_a)		
S1	4.48	S16	3.22
S2	4.78	S17	3.34
S3	4.97	S18	3.76
S4	4.38	S19	4.12
S5	4.52	S20	4.42
S6	4.76	S21	4.54
S7	3.46	S22	3.82
S8	3.54	S23	4.16
S9	3.65	S24	4.22
S10	4.17	S25	3.12
S11	4.35	S26	3.16
S12	4.66	S27	3.36
S13	3.96	S28	3.91
S14	4.28	S29	4.08
S15	4.39	S30	4.13

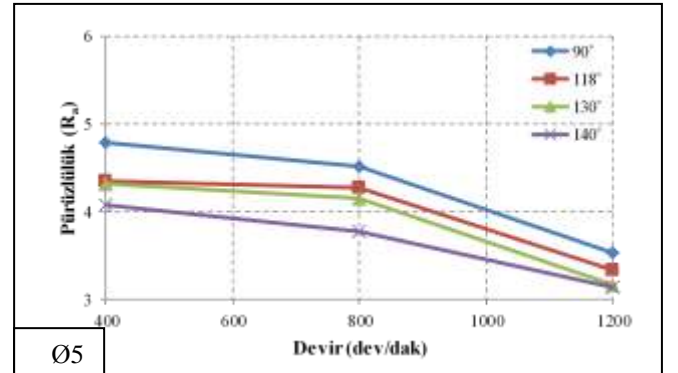
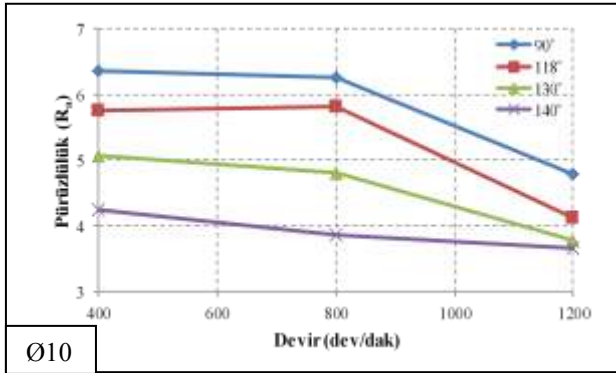
S31	3.41	S52	3.73
S32	3.78	S53	4.11
S33	3.91	S54	4.65
S34	3.02	S55	4.93
S35	3.14	S56	5.07
S36	3.24	S57	5.35
S37	5.87	S58	4.75
S38	6.35	S59	4.81
S39	6.55	S60	5.27
S40	5.65	S61	3.62
S41	6.25	S62	3.77
S42	6.48	S63	3.93
S43	3.95	S64	3.94
S44	4.78	S65	4.24
S45	4.83	S66	4.54
S46	5.65	S67	3.68
S47	5.75	S68	3.86
S48	6.49	S69	4.17
S49	5.46	S70	3.52
S50	5.81	S71	3.65
S51	6.32	S72	3.81

3.2.1. Devir Sayısının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi

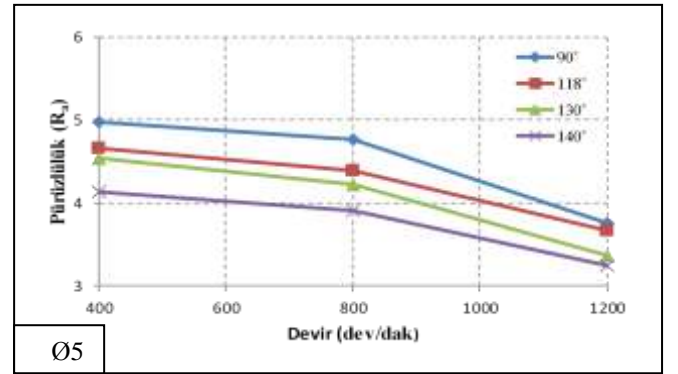
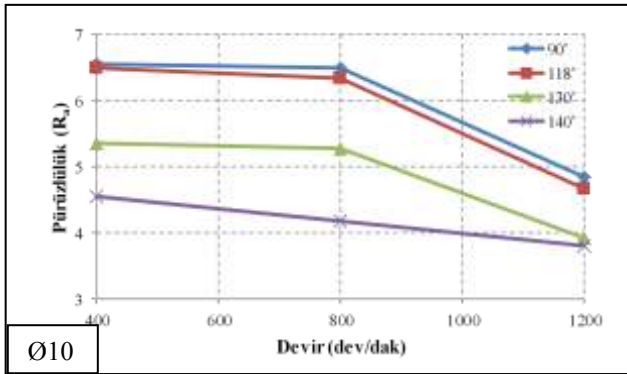
Delme parametrelerine göre devir sayısının yüzey pürüzlülükleri üzerindeki etkisini daha açık bir şekilde görebilmek için Tablo 3.2'den faydalanarak aşağıdaki grafikleri çizildi (Şekil 3.11).



a) 0.1 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



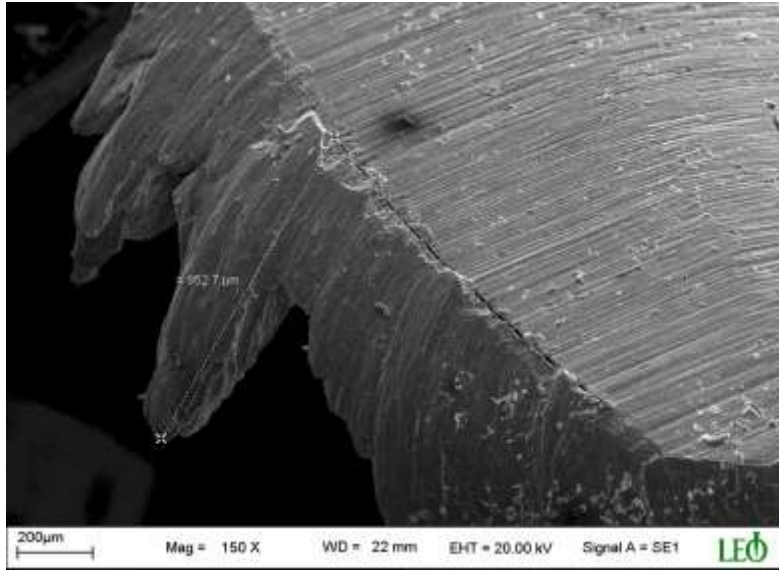
c) 0.3 mm/dev

Şekil 3.11. Pürüzlülüklerin devir sayısına göre değişimleri

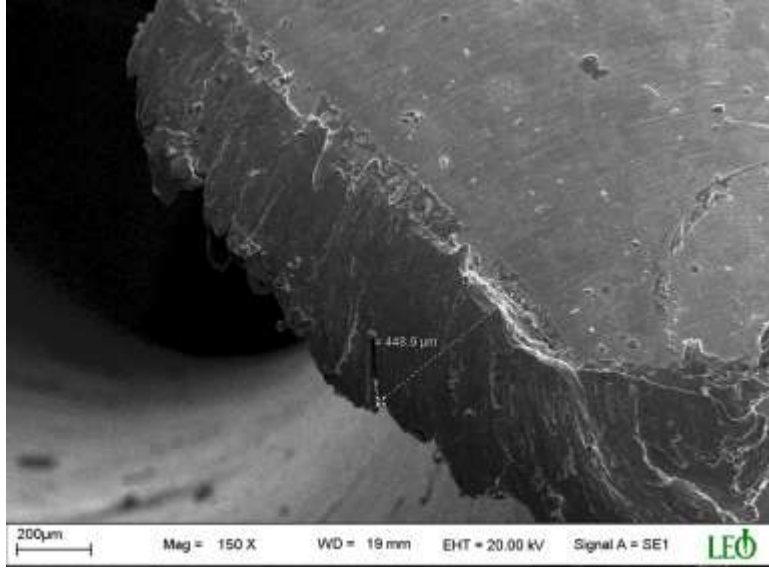
Grafiklerden de görüldüğü gibi devir sayısının artması ile yüzey pürüzlülükleri azalmaktadır. Bunun başlıca sebebi, kesme ve ilerleme kuvvetlerindeki değişimlerden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.11'deki grafikler incelendiğinde 400, 800 ve 1200 dev/dak değerlerine göre, Ø5mm'lik matkabın kesici ucunda oluşan kesme kuvvetleri Bölüm 1.3'de verilen bağıntılar kullanılarak sırası ile $F_{d(400)} = 1071$ kp, $F_{d(800)} = 535$ kp ve $F_{d(1200)} = 357$ kp

olarak hesaplanabilir. Bu değerler dikkate alındığında kuvvetlerdeki bu azalma, kısmen temas alanının azalması ile kısmen de kesme hızına bağlı olarak artan takım-iş parçası sıcaklığının, kesme bölgesinde kayma dayanımını azaltmasından kaynaklandığı söylenebilir.

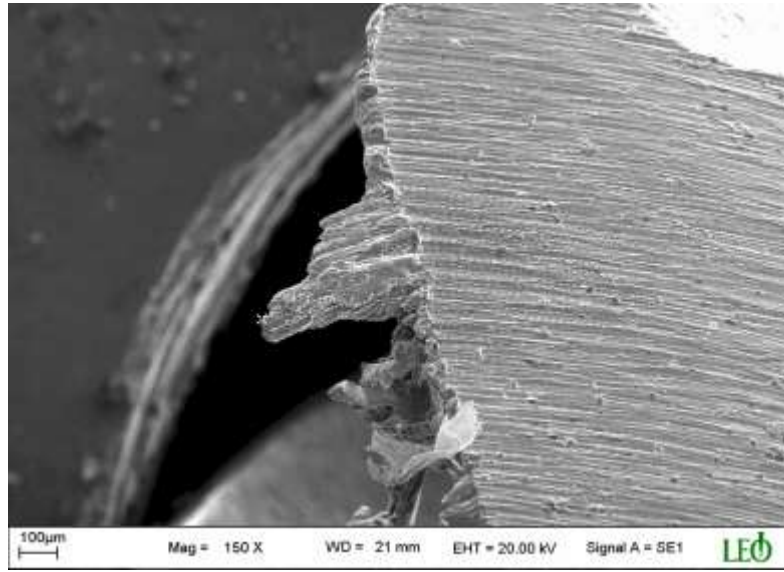
Yine bu çalışmada, ilerleme ve kesme kuvvetlerinin artmasına bağlı olarak meydana gelen adhesif aşınmanın neden olduğu kararsız talaş yığılması (Built Up Edge-BUE), takım ve malzeme üzerindeki tesirini artırdığı düşünölmektedir. Literatürde belirtildiği gibi, yapılarında birden fazla faz bulunduran pek çok alaşımın işlenmesinde, malzemelerde deformasyon sertleşmesi nedeniyle kesici uç etrafına ve takım yüzeyine talaş yapışarak BUE oluştuğu söylenmektedir [92,93]. Genel olarak sünek malzemelerin işlenmesinde, orta kesme hızlarında BUE, aşırı düşük hızlarda kaynaklama ve yüksek hızlarda akma bölgesi oluşmaktadır [92,93]. Alüminyum ve alaşımları da, birden fazla faz ihtiva ettiğinden, özellikle düşük kesme hızlarında meydana gelen BUE yüzey pürüzlölüğünü olumsuz yönde etkilediği söylenebilir. Bu çalışmada bu durumu daha iyi açıklayabilmek için kesici takım ucunda oluşan BUE oluşumları da incelendi (Şekil 3.12 ve 3.13). Deney parametrelerinin fazla olması ve diğer bölümlerde de ayrıca incelenmesi nedeni ile tüm kesme parametrelerinden elde edilen fotoğraflar bu bölümde verilmedi. SEM fotoğrafları içerisinde devir sayısının artmasına bağlı olarak BUE oluşumunun net olarak göröldüğü fotoğraflar verildi.



a) 400 dev/dak

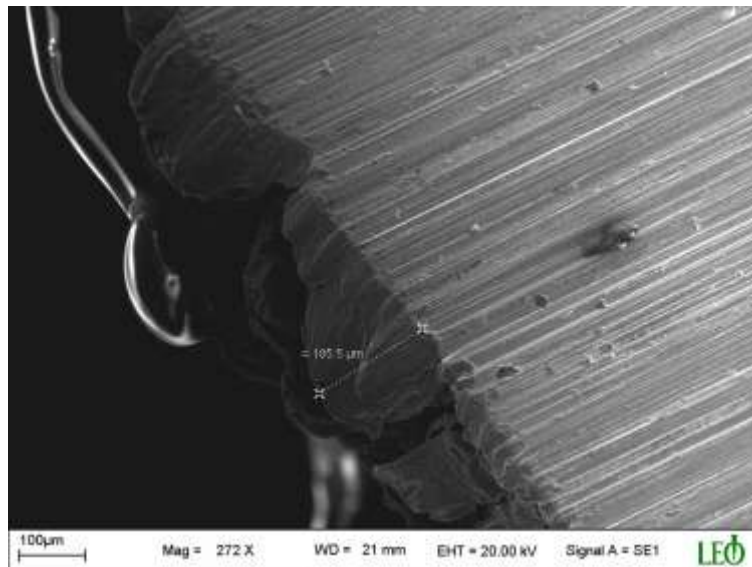


b) 800 dev/dak

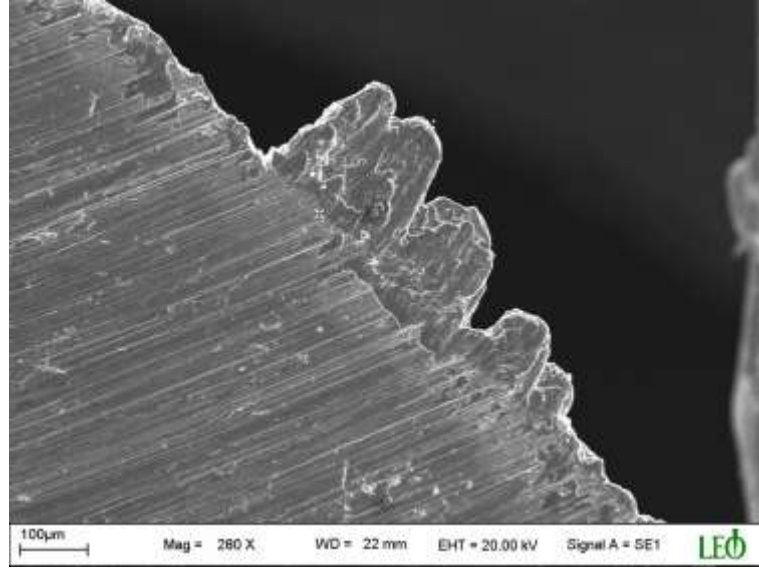


c) 1200 dev/dak

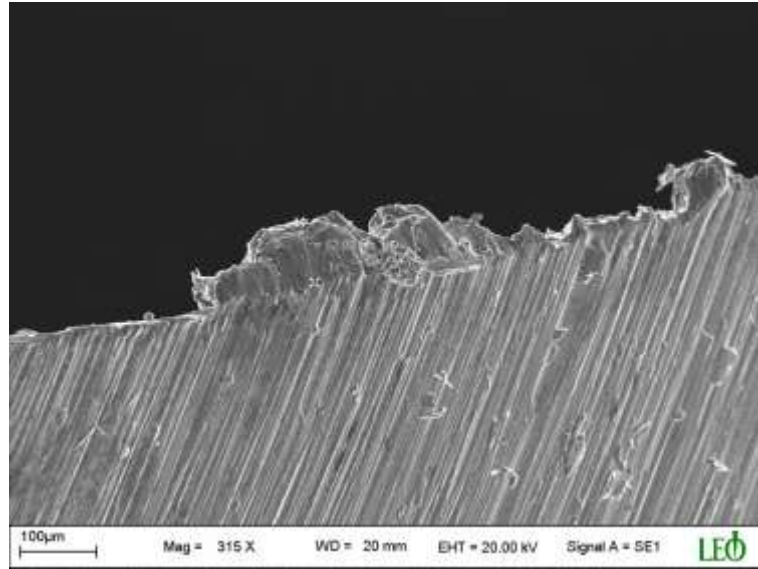
Şekil 3.12. Kesici ağızlarda BUE oluşumlarının SEM görüntüleri
(0.2 mm/dev-118° - Ø5 mm)



a) 400 dev/dak



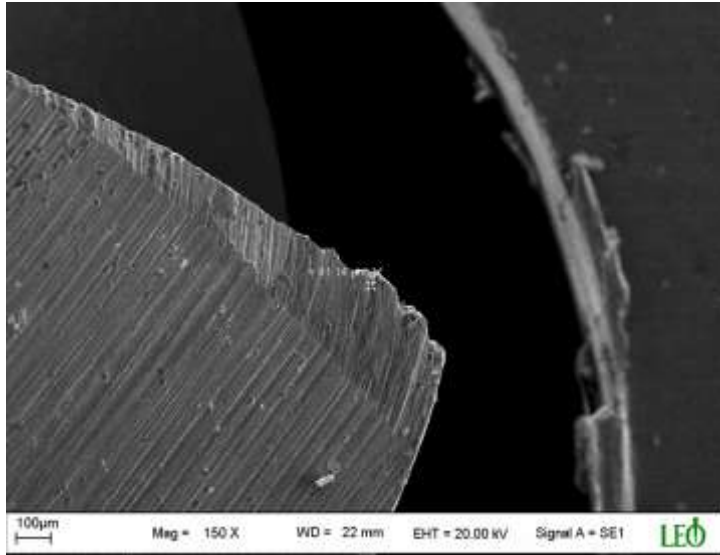
b) 800 dev/dak



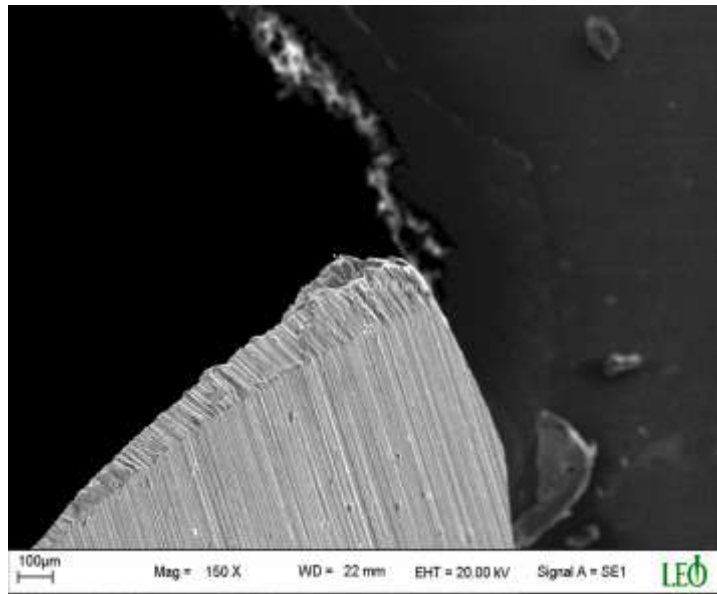
c) 1200 dev/dak

Şekil 3.13. Kesici ağızlarda BUE oluşumlarının SEM görüntüleri (0.1 mm/dev-118°- Ø10 mm)

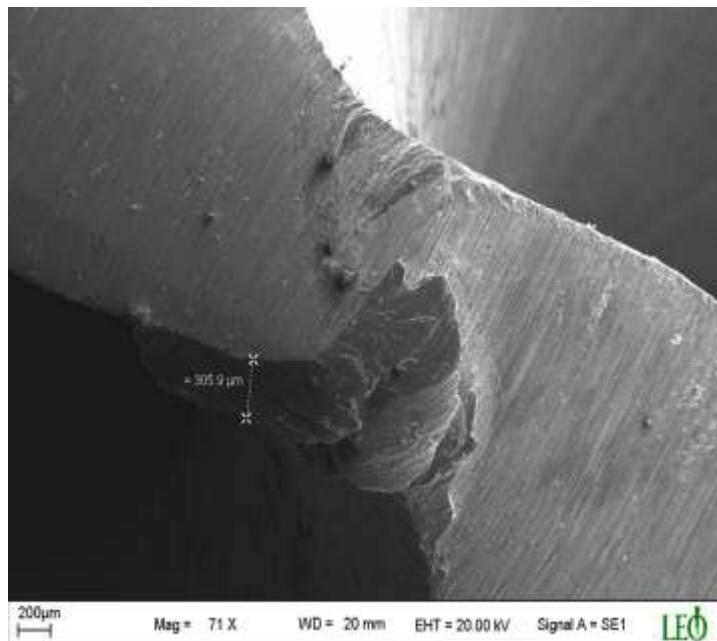
Kesici ağızlarda oluşan BUE kesici takımın geometrik yapısını da bozduğundan, kesme işleminin kararlı ve ideal yapısını etkilemektedir. Yine kesici ağızlarda oluşan BUE, ısı gerilmelerinin etkisi ile kesici ağızlarından koparken kesme kenarlarında kırılmalara ve aşınmalara da neden olmaktadır. Bu durum ise BUE'nin büyüklüğüne bağlı olarak delik yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır (Şekil 3.11 a, b ve c). Nitekim farklı işleme parametrelerine göre kesme ağızında oluşan aşınma ve kırılmalar sırası ile Şekil 3.14 ve 3.15'de görülmektedir.



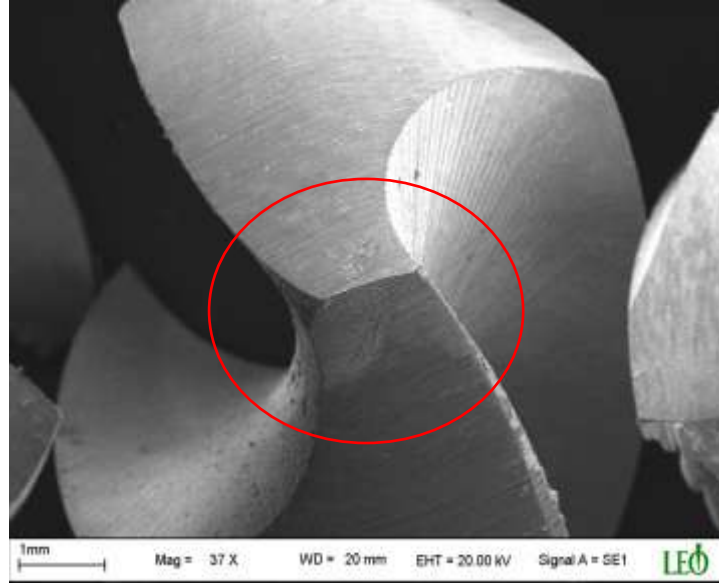
a) Ø5 mm- 400 dev/dak- 0.3 mm/dev-90°



b) Ø5 mm- 800 dev/dak- 0.1 mm/dev-90°

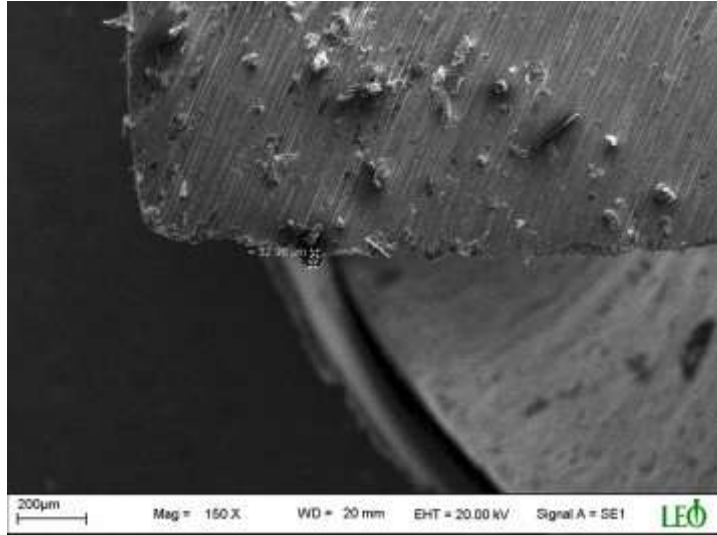


c) Ø10 mm- 400 dev/dak- 0.2 mm/dev-90°

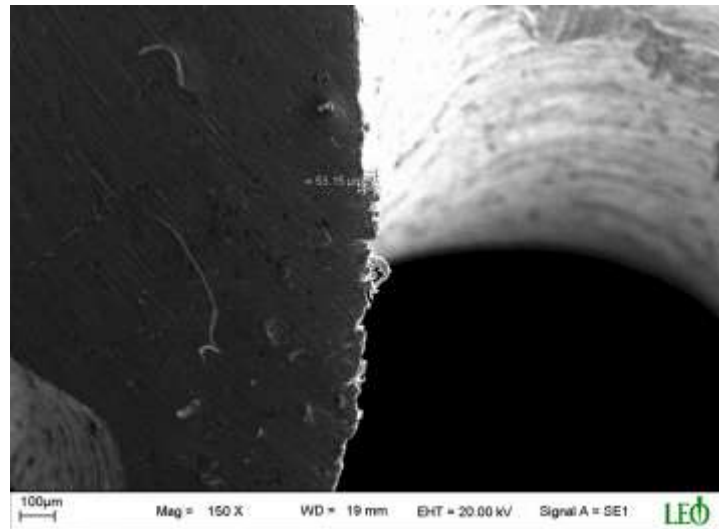


d) $\text{Ø}10$ mm- 400 dev/dak- 0.1 mm/dev- 90°

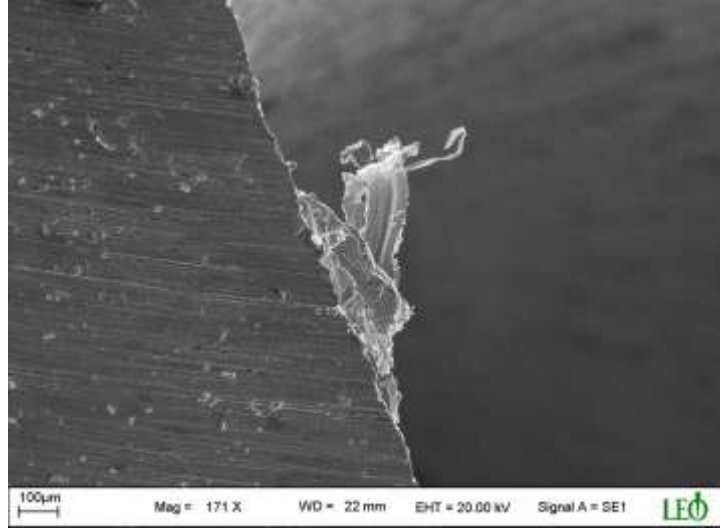
Şekil 3.14. Kesme kenarlarında oluşan aşınmaların SEM görüntüleri



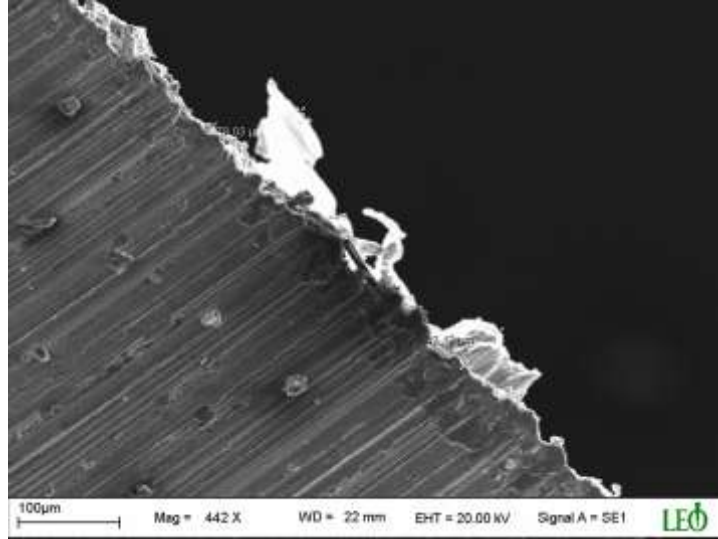
a) $\text{Ø}5$ mm- 400 dev/dak- 0.2 mm/dev- 118°



b) $\text{Ø}5$ mm- 400 dev/dak- 0.3 mm/dev- 118°



c) Ø10 mm- 1200 dev/dak.- 0.3 mm/dev-118°

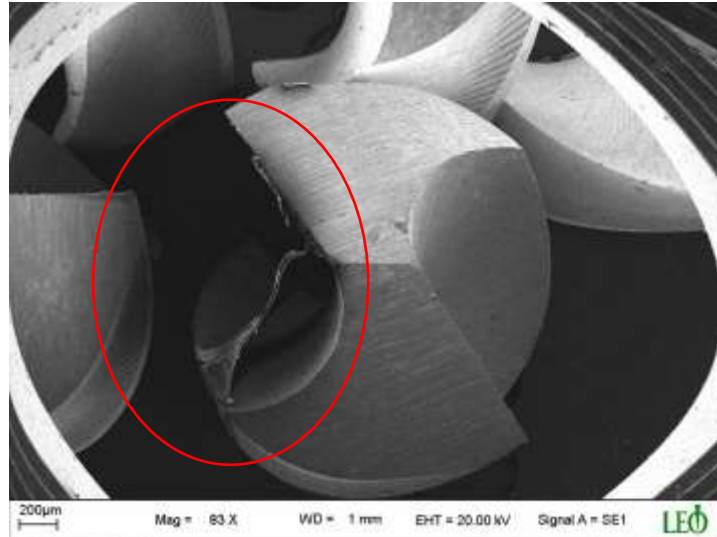


d) Ø10 mm- 400 dev/dak.- 0.2 mm/dev-130°

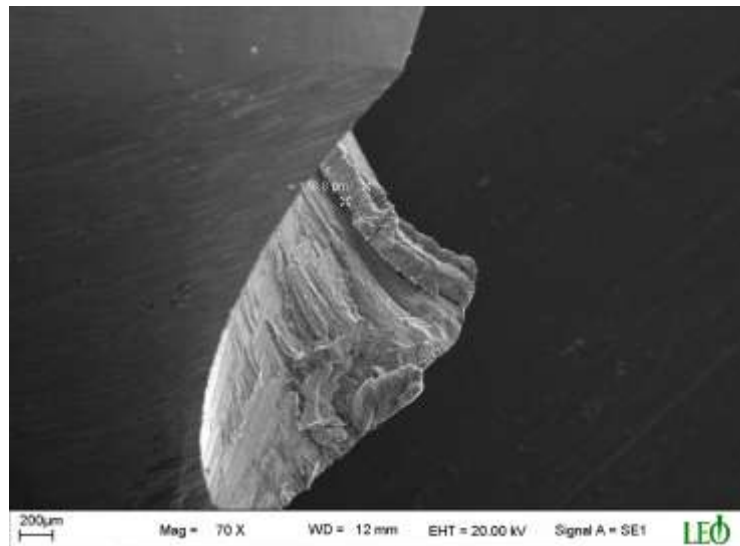
Şekil 3.15. Kesme kenarlarında oluşan küçük kırılmaların SEM görüntüleri

Yine BUE oluşumuna benzer şekilde, helisel kanallara yapışan talaşların helisel kanalları kısmen tıkararak talaşın verimli şekilde atılmasını engellemektedir (Şekil 3.16). Bu durumun düşük devir sayılarında daha etkili olduğu ve buna bağlı olarak da pürüzlülüğü artırdığı görülmektedir (Şekil 3.11 a, b, c).

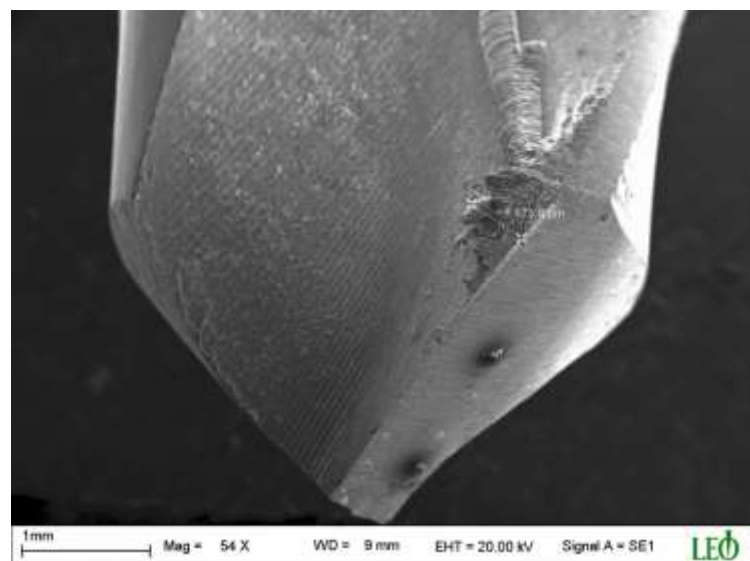
Ayrıca Ø10 mm çaplı matkap ile yapılan delme işlemlerinde meydana gelen kuvvetler ve BUE oluşumları Ø5 mm çaplı matkaba göre daha fazla olduğundan pürüzlülük daha büyük olmaktadır (Şekil 3.11 a, b, c).



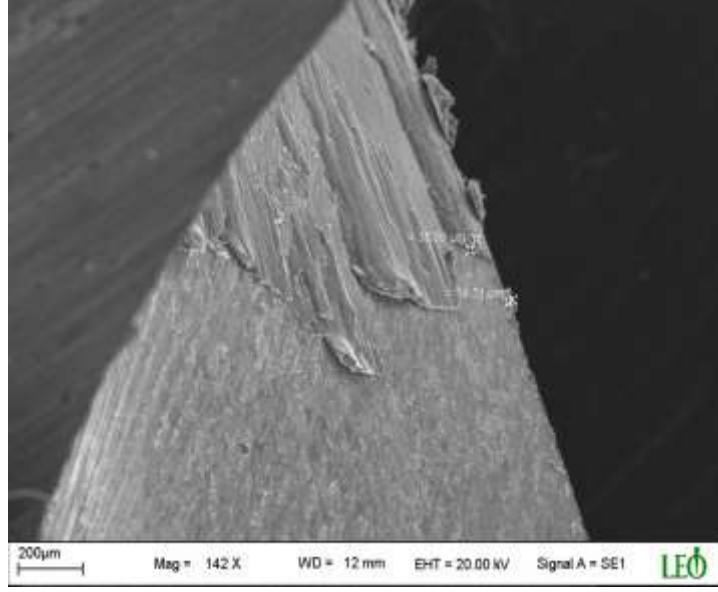
a) Ø5 mm- 400 dev/dak- 0.2 mm/dev-90°



b) Ø5 mm- 400 dev/dak.- 0.3 mm/dev-90°



c) Ø5 mm- 1200 dev/dak- 0.2 mm/dev-90°

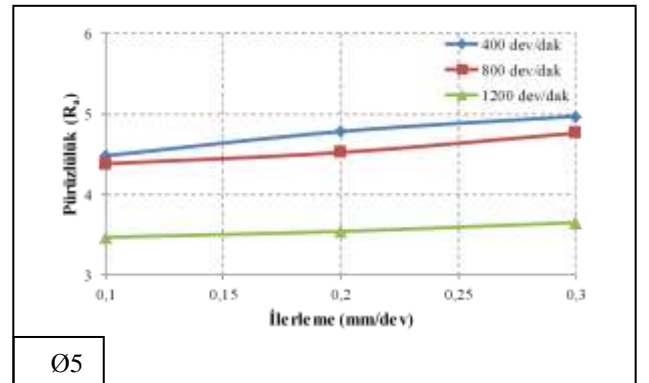
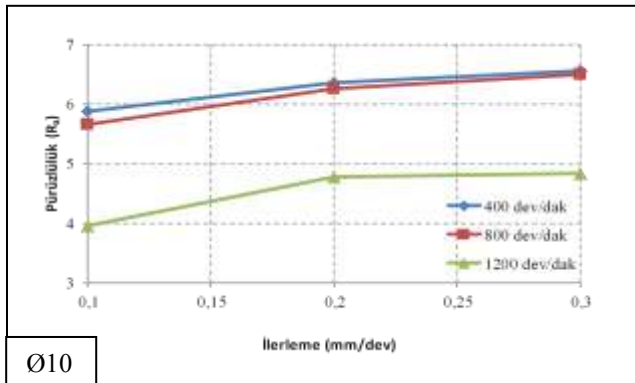


d) Ø5mm-1200 dev/dak- 0.1 mm/dev-90°

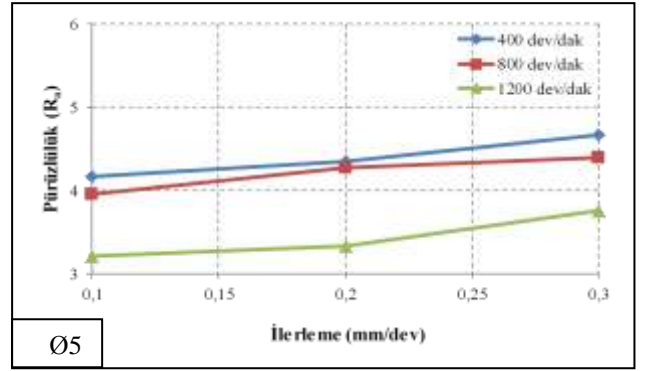
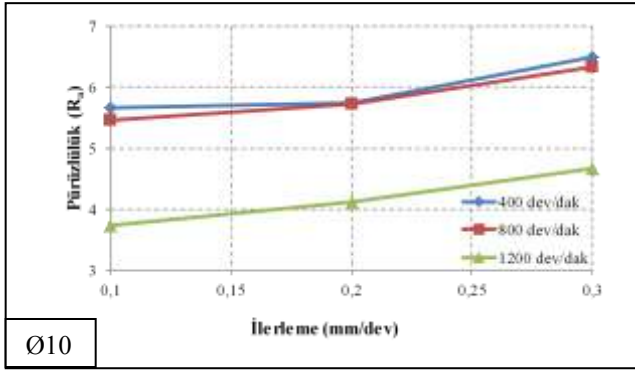
Şekil 3.16. Helisel kanallara yapışan talaşın SEM görüntüleri

3.2.2. İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi

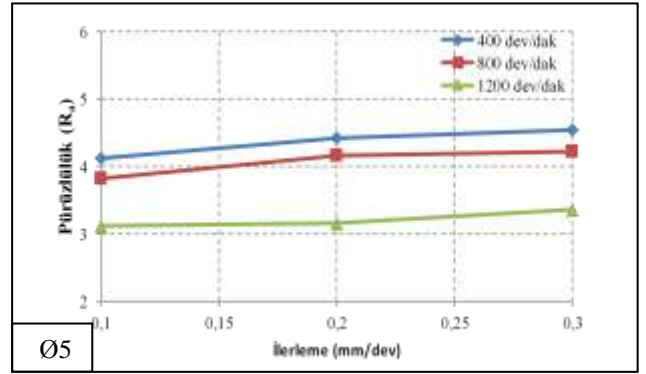
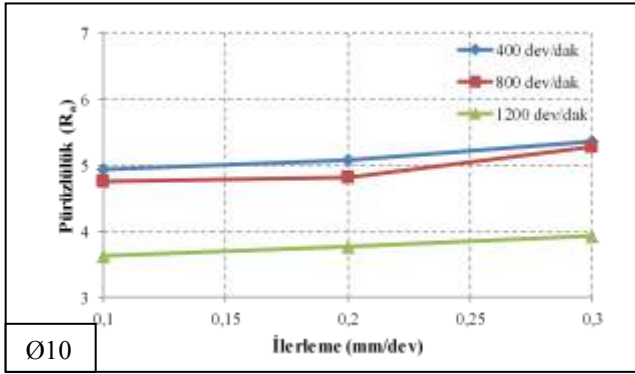
Bu bölümde ise delme parametrelerine göre ilerlemelerin yüzey pürüzlülüklerine etkileri incelendi. Bunun için Tablo 3.2'den faydalanarak aşağıdaki grafikleri çizildi (Şekil 3.17).



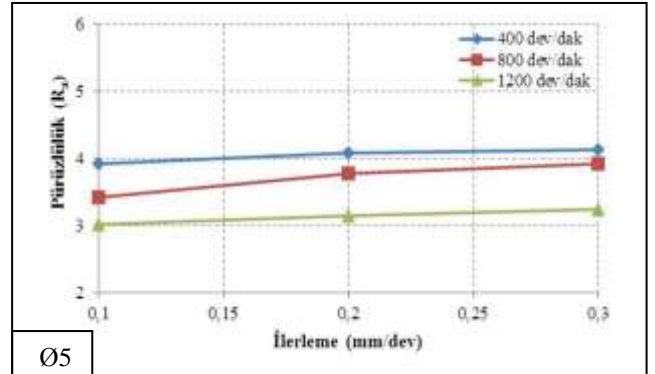
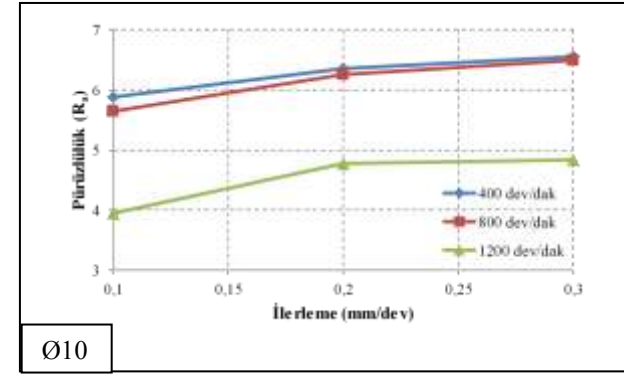
a) Matkap uç açısı 90°



b) Matkap uç açısı 118°



c) Matkap uç açısı 130°



d) Matkap uç açısı 140°

Şekil 3.17. Pürüzlülüğün ilerlemeye göre değişimleri

Grafiklerden de görüldüğü gibi ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Bunun sebebi ilerlemenin artmasına bağlı olarak talaş kesitinin artmasıyla açıklanabilir. Çünkü ilerleme miktarının artması; yüksek ilerleme kuvvetine, düşük kayma açısına ve kalın talaşların oluşmasına neden olmaktadır [92,93,96]. Bu durum ise işlenen yüzeylerin kesme esnasında meydana gelen kuvvetlerden daha çok etkilenmesi anlamına gelmektedir. İlerlemenin düşük olduğu durumlarda ise meydana gelen kuvvetler azaldığından pürüzlülük değeri azalmaktadır (Şekil 3.17).

Yine ilerlemenin düşük olduğu durumda oluşan talaşlar daha küçük boyutlu olduğundan malzemedeki daha kolay uzaklaştırılmakta ve böylece malzemedeki sıcaklığın azalması sonucu pürüzlülük değerlerinde önemli derecede azalma olmaktadır (Şekil 3.17 a, b, c, d). Literatürde de talaş oluşumu ile yüzey pürüzlülüğü değerleri birlikte göz önüne alındığında genel olarak talaş şeklinin daha düzgün ve ince bir şekil almasıyla yüzey pürüzlülüğünün de azaldığı söylenmektedir [100-102].

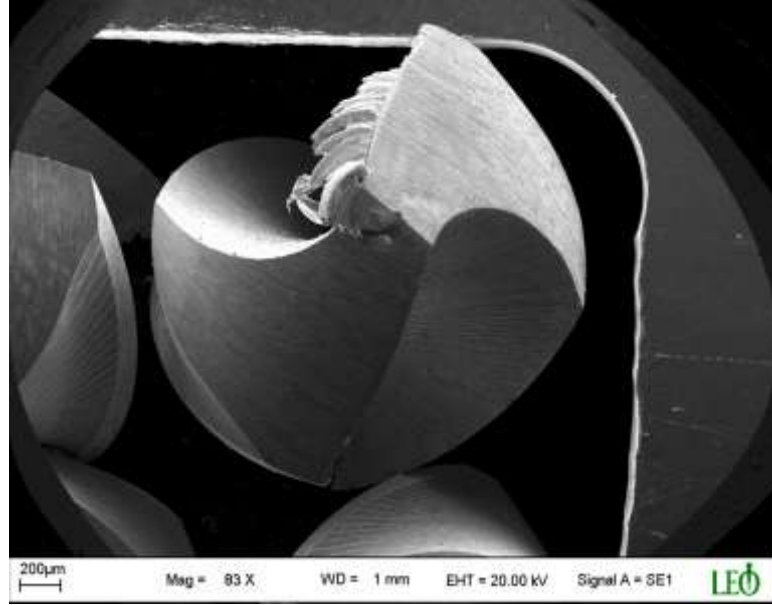
İlerlemenin artması yüksek sürtünme direnci, basınç ve sıcaklık artmasına neden olmaktadır [93]. Bu durumda talaş, kesme sırasında yüksek kayma gerilmelerine maruz kalır ve kesici takıma yapışır. Talaş yapışmasının miktarı ilerlemeye bağlı olarak artmakta ve kararsız bir yapı ortaya çıkarmaktadır (Şekil 3.18). Kesme işlemi esnasında talaşın yığılması veya yığılan kısmın kopması kısa sürede gerçekleşir ve sıvanan talaşlar işlenen yüzeyi kaplamaktadır [92,93]. Bu çalışmada da Şekil 3.18'deki gibi bu talaşların yapışması ve işlenmiş yüzeye çentik etkisi yapması sonucunda yüzey kalitesinin bozulmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu durum ise yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmaktadır (Şekil 3.17).

Ayrıca kesme işlemlerinde tek ağızlı bir kesici takım kullanıldığı zaman, yüzey pürüzlülüğü, ilerleme hızı (f) ve kesici burun yarıçapının (r) bir değeri olarak değişmektedir. Bu değişim aşağıdaki formülle gösterilmektedir [103].

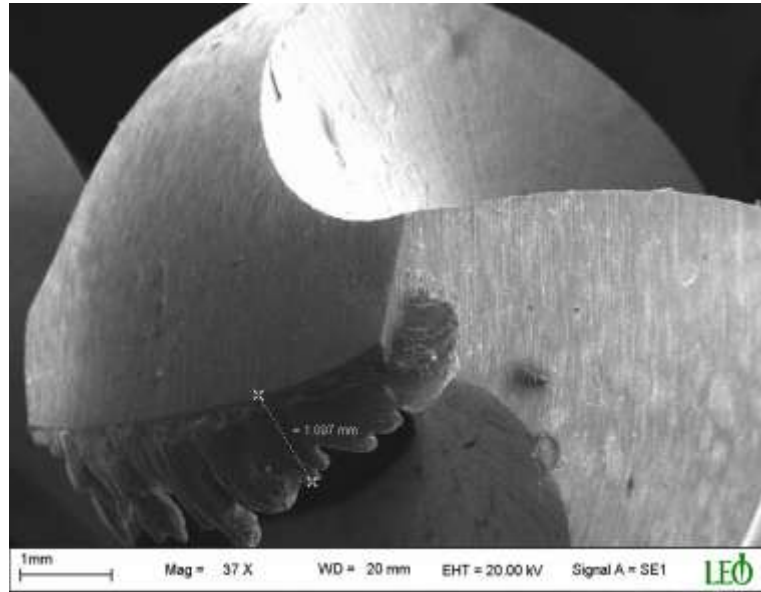
$$R_a = 0,321 \left(\frac{f^2}{r} \right) \quad (1.31)$$

Monaghan ve O'Reily [103] bu durumun delme işlemine de uygun olduğunu belirtmiştir. Buna göre Denklem 1.31 de dikkate alındığında Al-5005'in delinmesinde ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 3.17 a, b, c, d).

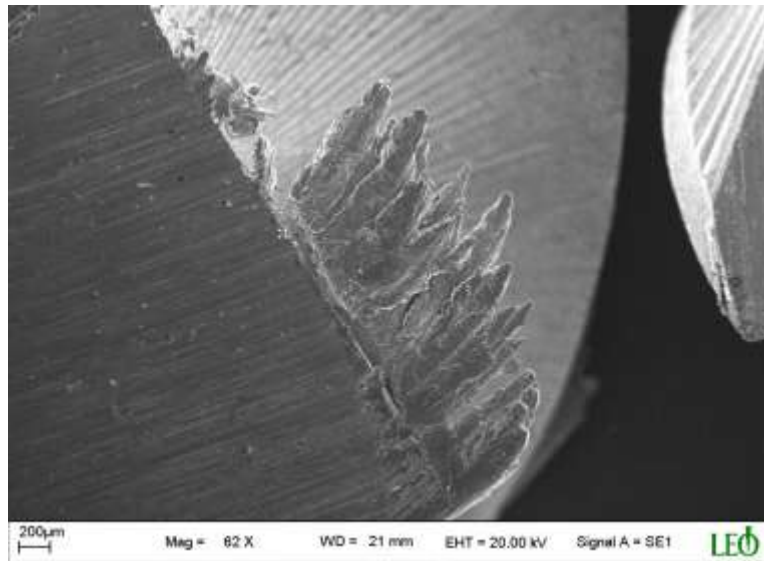
Ø10 mm çaplı matkabın kesme ağzının uzunluğu, Ø5 mm çaplı matkaba göre daha büyük olduğundan talaş boyutunun daha fazla olmasına neden olmaktadır. Bu durum ise daha büyük kuvvetlerin oluşmasına neden olarak pürüzlülük değerlerini artırmaktadır (Şekil 3.17 a, b, c, d).



a) 90°-0.1 mm/dev-800dev/dak



b) 90°-0.3 mm/dev-400dev/dak

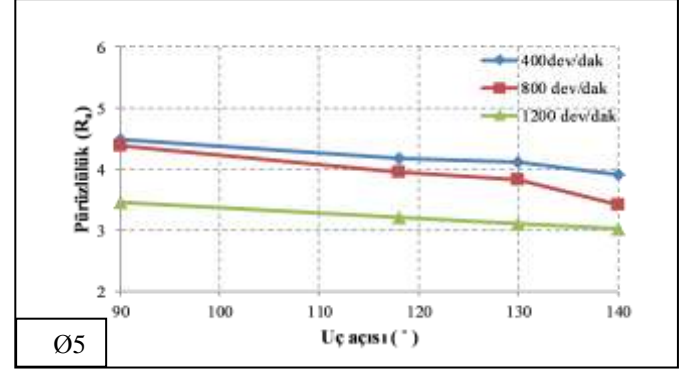
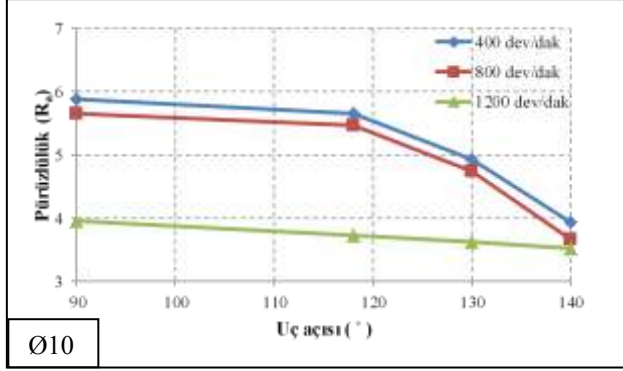


c) 130°-0.3 mm/dev-1200dev/dak

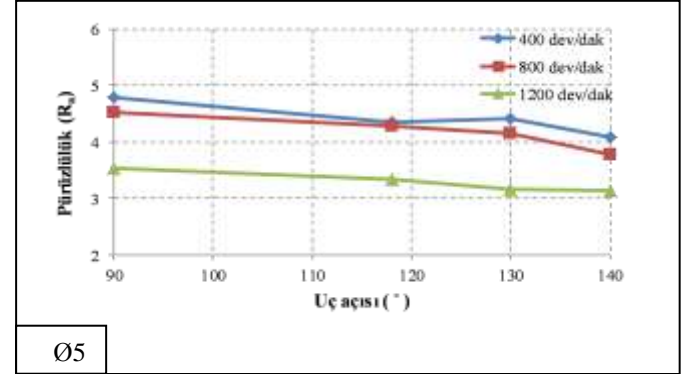
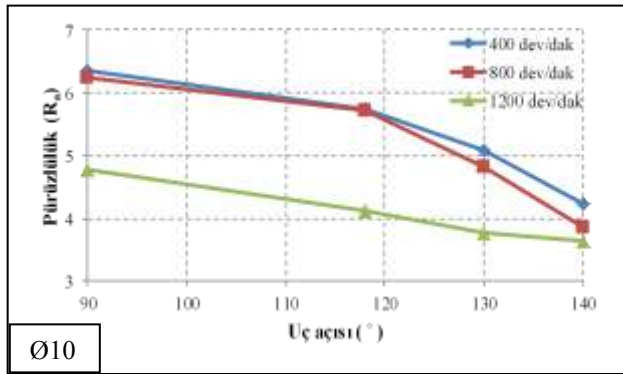
Şekil 3.18. Kesici takımında oluşan sıvanmanın SEM görüntüleri

3.2.3. Uç Açısının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi

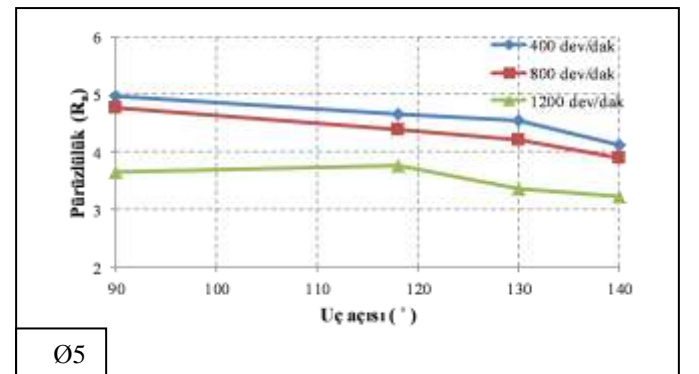
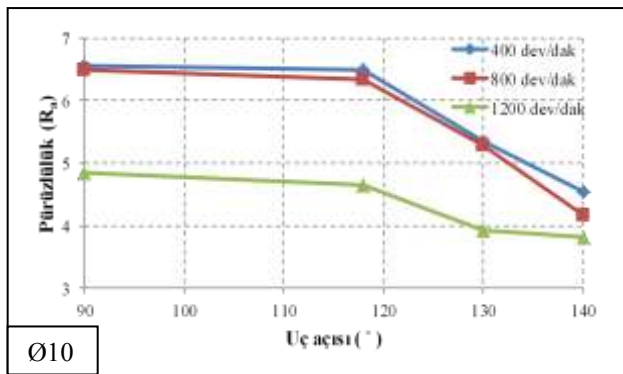
Bu bölümde ise delme parametrelerine göre uç açılarının yüzey pürüzlülüklerine etkileri incelendi. Bunun için Tablo 3.2'den faydalanarak aşağıdaki grafikleri çizildi (Şekil 3.19).



a) 0.1 mm/dev



b) 0.2 mm/dev

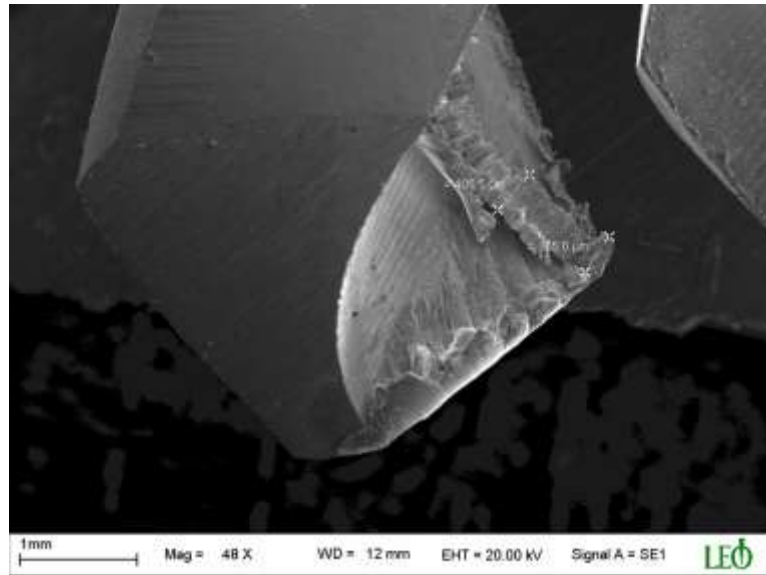


c) 0.3 mm/dev

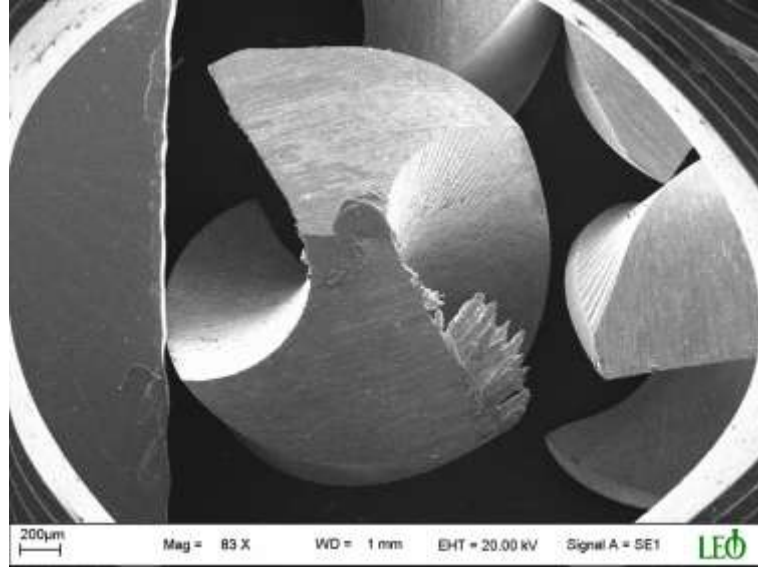
Şekil 3.19. Pürüzlülüğün uç açısına göre değişimleri

Grafiklerden de görüldüğü gibi matkap uç açısının artması ile yüzey pürüzlülüğünün genel olarak iyileştiği görülmektedir. Bu durum 90°'lik uç açısına sahip matkapta, plastik deformasyon bölgesi, kesme ağızı uzunluğu ve talaş kalınlığı gibi değerlerin diğer uç açılara göre (118°, 130° ve 140°) daha fazla olması ile açıklanabilir. Buna ilaveten, uç açısı azaldıkça, kesici ağızın sürtünme yüzeyi arttığından kesici takım daha çabuk aşınmakta [92,104] ve bu durumun da pürüzlülüğün artmasına neden olmaktadır (Şekil 3.19-a, b, ve c). Ayrıca uç açısının artması ile radyal kuvvet azaldığından delik yüzeyine uygulanan basınç da azalmaktadır. Bu nedenle yüzeyde oluşan pürüzlülük düşük uç açılı matkaplara göre daha az olmaktadır.

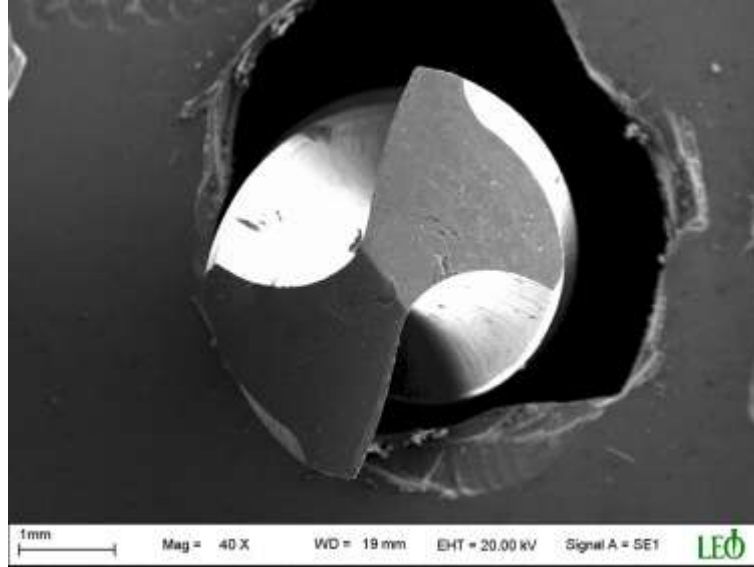
Yine, kesme ağızında meydana gelen talaş yığılmasının da yüzey pürüzlülüğünü etkilediği düşünülmektedir. Şekil 3.20'de kesici takımda talaş yığılmasının uç açılara göre değişimleri görülmektedir. Talaş yığılması Şekil 3.20-a ve b'de görüldüğü gibi kesici takımın formunu bozmaktadır. Bu durum kesici takımın kararlı kesmesini etkileyerek yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır (Şekil 3.19 a, b ve c). Ayrıca, Ø10 mm'lik matkap ile yapılan delme işleminde meydana gelen pürüzlülük değerlerinin Ø5 mm'lik matkaba göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.19 a, b ve c). Bu durum, kesici ağız uzunluğunun artması ile ilişkili olarak kuvvetlerin artması [105] ve buna bağlı olarak da deformasyona uğrayan alanın artması şeklinde açıklanabilir



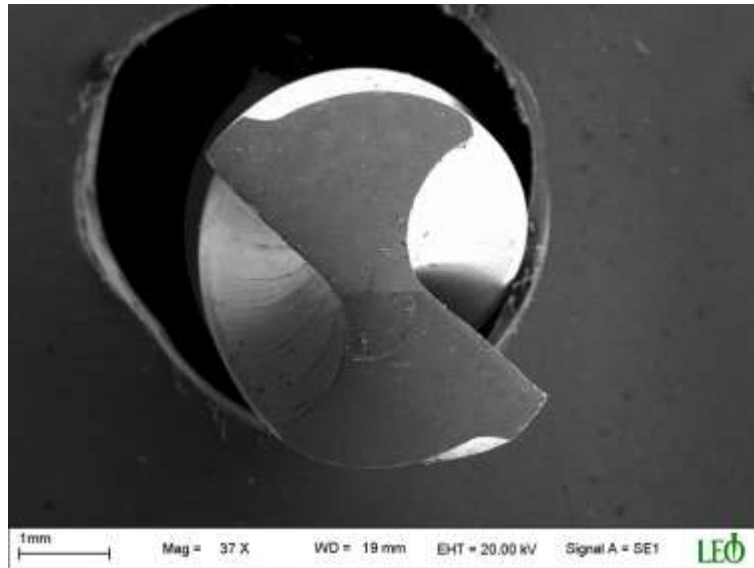
a) 90°



b)118°



c)130°



d)140°

Şekil 3.20. Kesici ağızlarda talaş yığılmasının SEM görüntüsü
(1200 dev/dak-0.1 mm/dev)

3.3. apak Ykseklilerine Ait Bulgular

Yapılan delme deneyleri sonrasında, delme parametrelerinin apak ykseklisine etkisini belirlemek için apak ykseklilerinin lmleri Bölüm 2.4’de bahsedildiği gibi yapıldı ve sonuçlar Tablo 3.3’de ortalama değer olarak verildi.

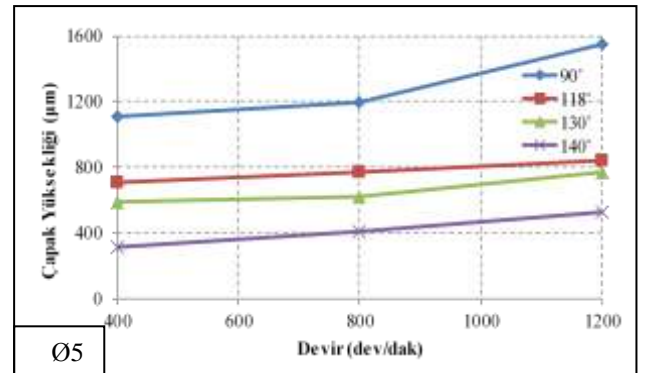
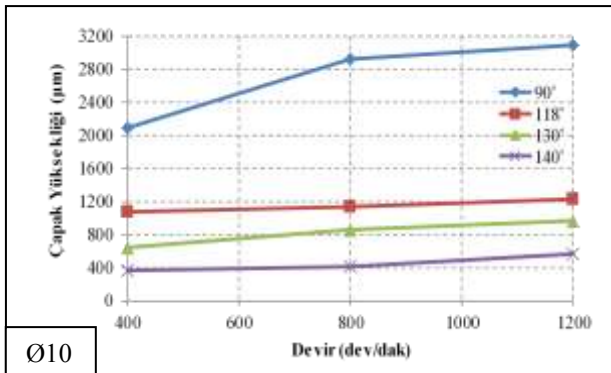
Tablo 3.3. apak ykseklisine ait bulgular

Deney No	apak ykseklisi (µm)		
S1	1110	S22	621
S2	1557	S23	1010
S3	1916	S24	1174
S4	1198	S25	768
S5	1663	S26	1332
S6	2106	S27	1478
S7	1553	S28	313
S8	1931	S29	589
S9	2249	S30	724
S10	710	S31	406
S11	1280	S32	758
S12	1651	S33	1022
S13	773	S34	525
S14	1514	S35	1033
S15	1952	S36	1078
S16	839	S37	2087
S17	1805	S38	2304
S18	2089	S39	2504
S19	590	S40	2922
S20	811	S41	3158
S21	1040	S42	3324

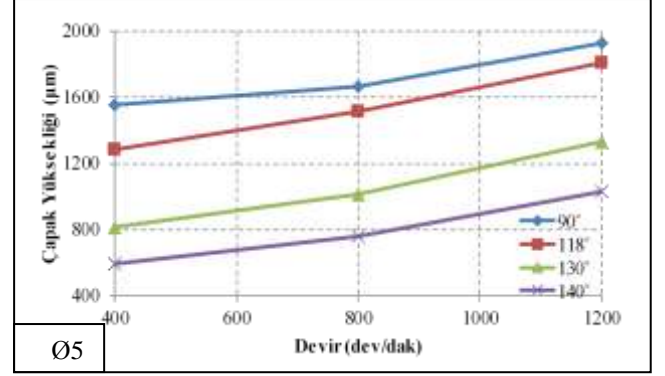
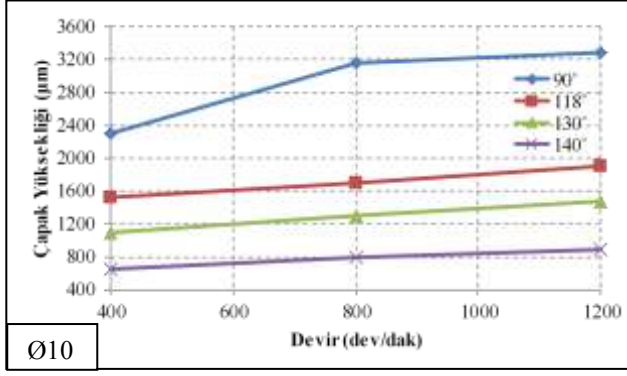
S43	3092	S58	860
S44	3287	S59	1296
S45	3729	S60	1489
S46	1079	S61	970
S47	1529	S62	1480
S48	1909	S63	1799
S49	1145	S64	377
S50	1695	S65	651
S51	2022	S66	763
S52	1239	S67	421
S53	1910	S68	790
S54	2253	S69	994
S55	653	S70	574
S56	1089	S71	884
S57	1323	S72	1155

3.3.1. Devir Sayısının Çapak Yüksekliği Üzerine Etkisi

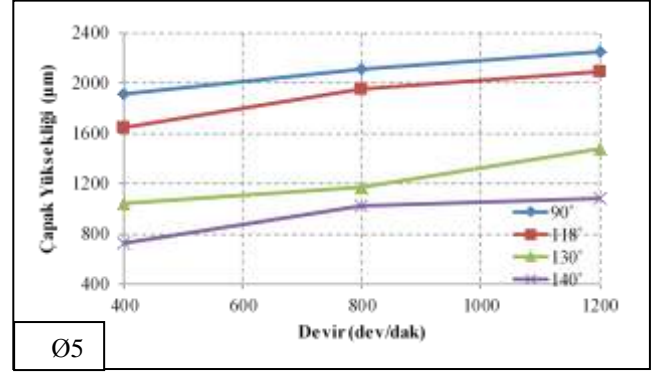
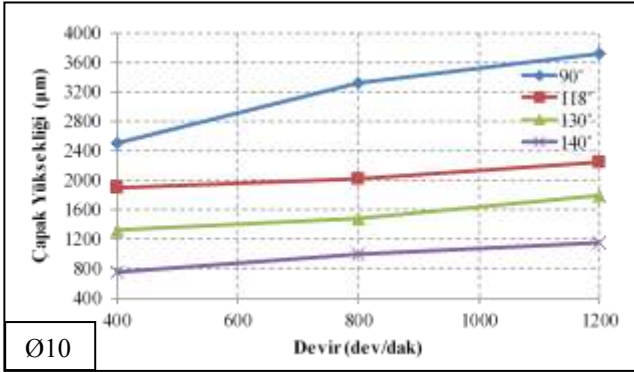
Bu bölümde önceki bölümlerde olduğu gibi delme parametrelerine göre devir sayısının oluşan çapak yüksekliklerine etkisi incelendi. Bunun için Tablo 3.3'den faydalanarak aşağıdaki grafikleri çizildi (Şekil 3.21).



a) 0.1 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



c) 0.3 mm/dev

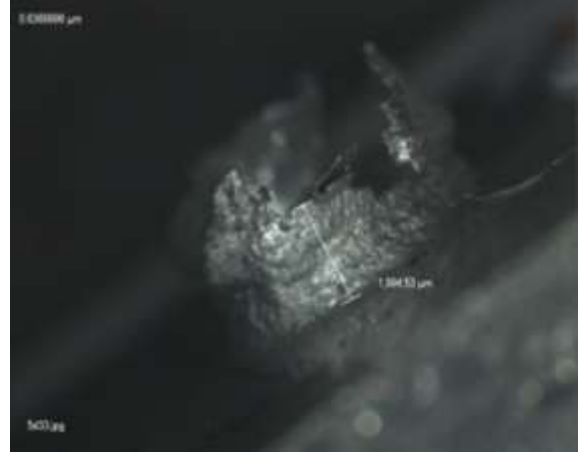
Şekil 3.21. Çapak yüksekliklerinin devir sayısına göre değişimleri

Grafikler incelendiğinde devir sayısının artmasına bağlı olarak çapak yüksekliğinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi devir sayısının artmasına bağlı olarak sıcaklığın artması ile açıklanabilir. Çünkü matkap, daha öncede belirtildiği gibi delik çıkışına doğru ilerlerken sıcaklık arttığından kesme bölgesindeki malzemenin sünekliliğini artırmaktadır [96,102]. Buda plastik deformasyonun artmasına neden olmaktadır. Şekil 3.22-3.27-a, b ve c' deki çapak yüksekliklerinin mikroskop görüntüleri incelendiğinde devir sayısının artması ile çapak yüksekliklerinin birbirine yakın olduğu, ancak yüksek devir sayısında (1200 dev/dak) delik çevresinde deformasyona uğramış miktarın daha fazla olduğu görülmektedir. Yine matkap, malzemenin arka yüzeyinden çıkmaya başladığı anda malzemedeki kopmayan en son ince tabakadaki kaymaların düzensiz olduğu ve devir sayısının artmasına bağlı olarak daha da arttığı görülmektedir. Bu durum Şekil 3.22-3.29'da verilen çapak yüksekliklerinin mikroskop görüntülerinde daha açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca Ø10 mm'lik matkap ile yapılan delme işleminde meydana gelen sıcaklık Ø5 mm'lik matkaba göre daha fazla olduğundan [95] çapak yüksekliklerinin de daha büyük olduğu görülmektedir (Şekil 3.21-a, b, c). Bu kısımda da deney parametrelerinin fazla olması ve diğer bölümlerde de ayrıca incelenmesi nedeni ile tüm

kesme parametrelerinden elde edilen fotoğraflar verilmedi. Ancak mikroskop görüntüleri içerisinde devir sayısının artmasına bağlı olarak çapak yüksekliklerinin değişimlerini net olarak gösteren fotoğraflar verildi.



a) 400 dev/dak



a) 400 dev/dak



b) 800 dev/dak



b) 800 dev/dak



c) 1200 dev/dak



c) 1200 dev/dak

Şekil 3.22. Ø5 mm, 90° ve 0.1 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

Şekil 3.23. Ø5 mm, 118° ve 0.3 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri



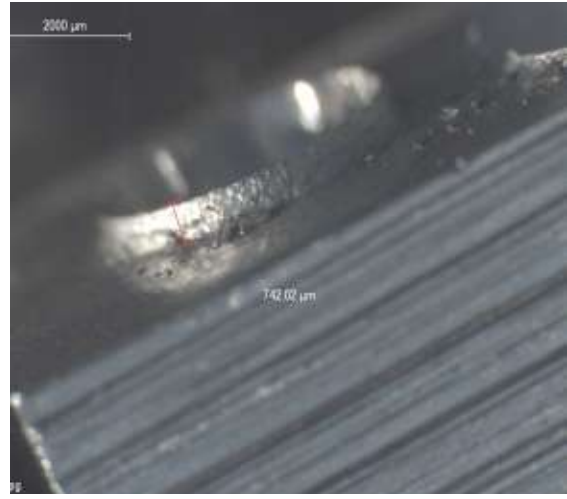
a) 400 dev/dak



a) 400 dev/dak



b) 800 dev/dak



b) 800 dev/dak



c) 1200 dev/dak



c) 1200 dev/dak

Şekil 3.24. Ø5 mm, 130° ve 0.2 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

Şekil 3.25. Ø5 mm, 140° ve 0.2 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri



a) 400 dev/dak



a) 400 dev/dak



b)800 dev/dak



b)800 dev/dak



c)1200 dev/dak



c)1200 dev/dak

Şekil 3.26. Ø10 mm, 90° ve 0.3 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

Şekil 3.27. Ø10 mm, 118° ve 0.2 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri



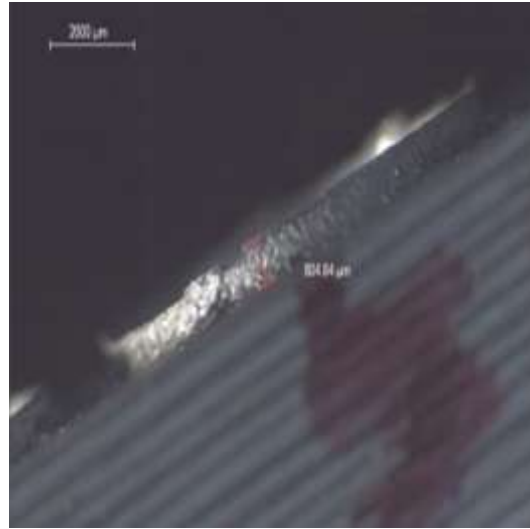
a) 400 dev/dak



a) 400 dev/dak



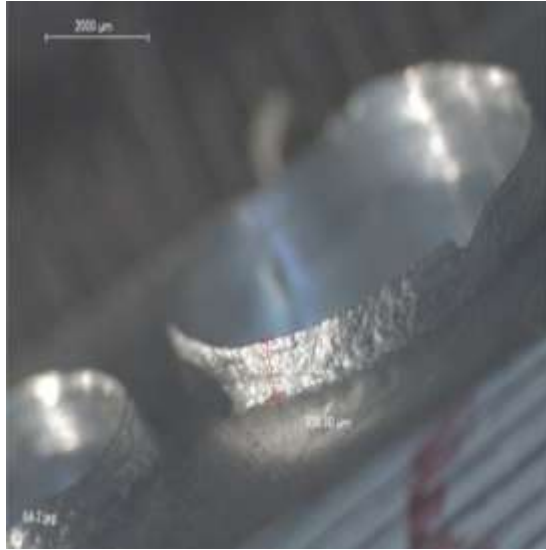
b) 800 dev/dak



b) 800 dev/dak



c)1200 dev/dak



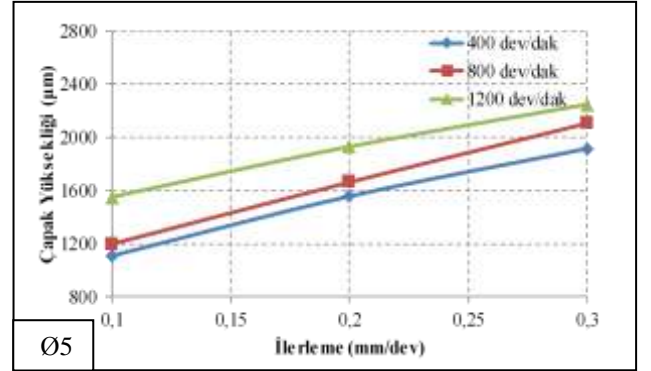
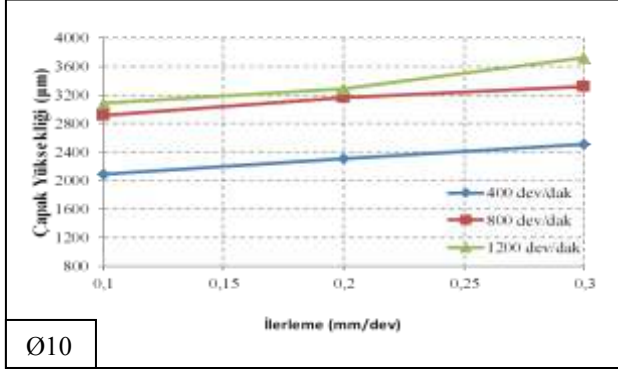
c)1200 dev/dak

Şekil 3.28. Ø10 mm, 130° ve 0.2 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

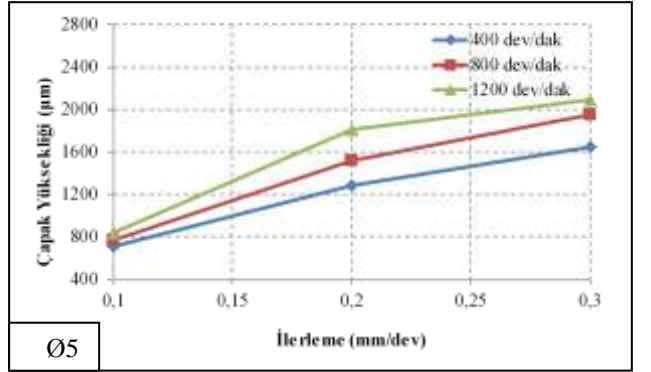
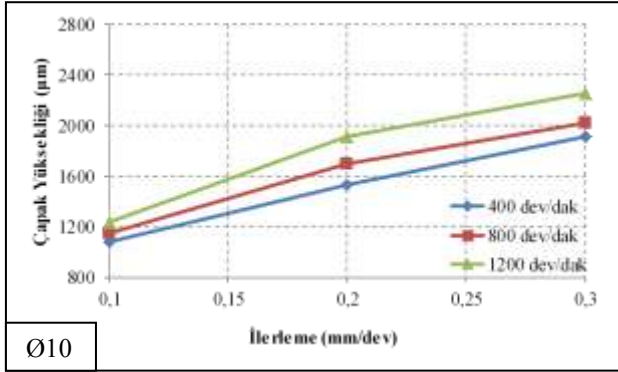
Şekil 3.29. Ø10 mm, 140° ve 0.2 mm/dev için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

3.3.2. İlerlemenin Çapak Yüksekliği Üzerine Etkisi

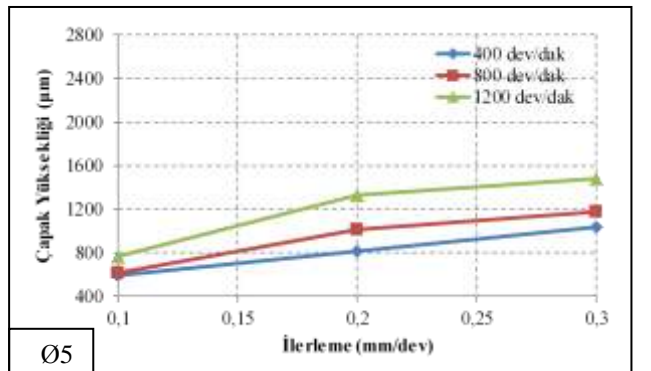
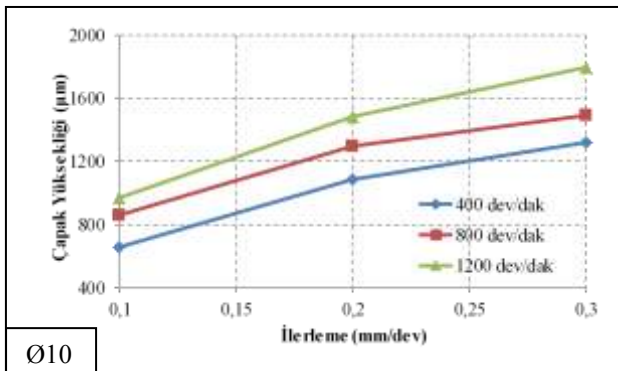
Bu bölümde ise delme parametrelerine göre ilerlemenin çapak yüksekliklerine etkisi incelendi. Bunun için Tablo 3.3'den faydalanarak aşağıdaki grafikleri çizildi (Şekil 3.30).



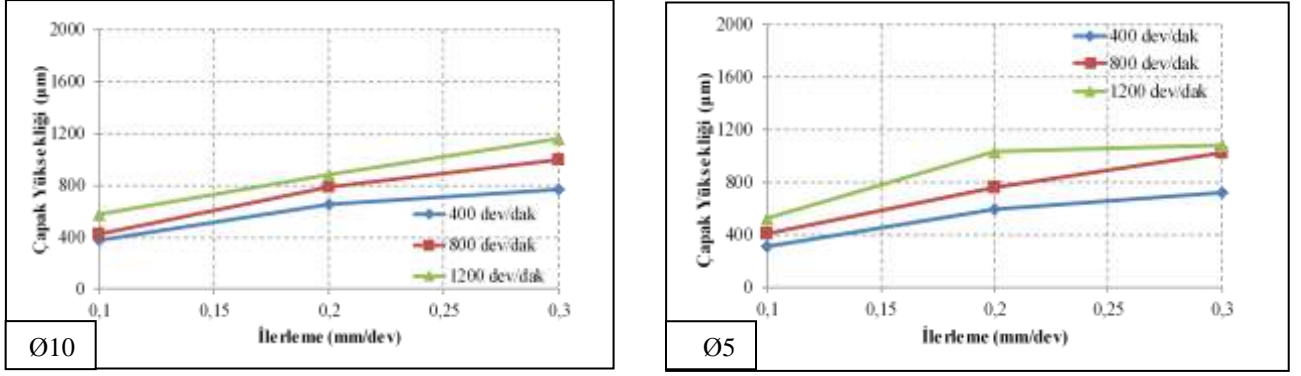
a) Matkap uç açısı 90°



b) Matkap uç açısı 118°



c) Matkap uç açısı 130°



d) Matkap uç açısı 140°

Şekil 3.30. Çapak yüksekliğinin devir başına ilerlemeye göre değişimleri

Grafikler incelenirse, ilerlemenin artmasına bağlı olarak çapak yüksekliklerinde bir artış görülmektedir (Şekil 3.30). Bu durum ilerlemenin artması ile kesilen malzeme miktarındaki artışın bir sonucu olarak kesme bölgesindeki deformasyon ve sıcaklıklardaki artış ile açıklanabilir. Ayrıca, ilerlemenin artmasına bağlı olarak ilerleme kuvvetlerindeki artış, deformasyona uğrayan alanların artmasına neden olmaktadır [93,105]. Bu durum delik çıkış bölgesinde, kesme işlemine maruz kalmadan deformasyona uğrayan alanın dışarıya çıkmasına neden olmaktadır (Şekil 3.31-3.38).

Bölüm 3.2.2'deki Şekil 3.17'deki grafikler incelendiğinde de ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği delik çıkış bölgesine doğru ise giderek arttığı görülmektedir. Benzer şekilde Bölüm 3.1.2'deki Şekil 3.3-3.7'deki grafikler incelendiğinde de ilerleme miktarı arttıkça deformasyon sertleşmesinin arttığı ve buna bağlı olarak da mikrosertliğin arttığı görülmektedir. Yine Şekil 3.31 ve 3.38'a, b, c ve d'deki çapak yüksekliklerinin ilerlemeye bağlı olarak değişimleri incelendiğinde, ilerleme miktarının artması ile çapak yüksekliklerinin arttığı ve giderek kararsız bir yapıya dönüştüğü görülmektedir. Tüm bunlarla beraber Bölüm 3.2.1'de bahsedildiği gibi ilerleme ve kesme kuvvetlerinin artmasına bağlı olarak meydana gelen BUE de [92], kararlı kesme durumlarını etkileyerek çapak yüksekliklerinin artmasına neden olmaktadır (Şekil 3.31 ve 3.38'a, b, c).

Ayrıca Ø10 mm'lik matkap ile yapılan delme işleminde meydana gelen çapak yüksekliklerinin Ø5 mm'lik matkaba göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.30). Bu durum ise matkap çapının büyümesine bağlı olarak kesme işlemi sırasında meydana gelen kuvvetlerin artması ve buna bağlı olarak da deformasyonun artması şeklinde açıklanabilir [95,106].



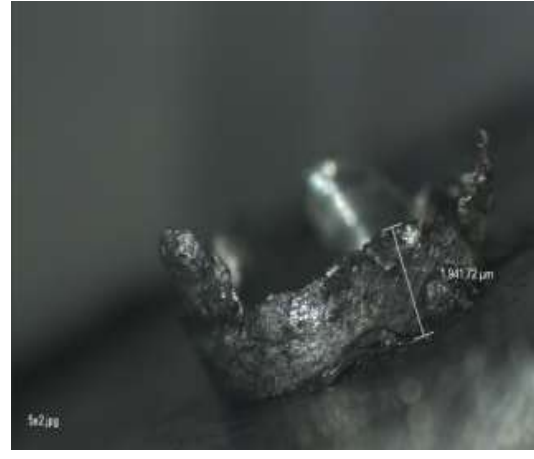
a) 0.1 mm/dev



a) 0.1 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



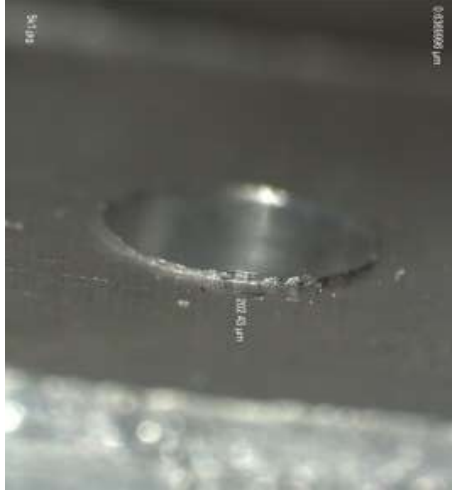
c) 0.3 mm/dev



c) 0.3 mm/dev

Şekil 3.31. Ø5 mm, 90° ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

Şekil 3.32. Ø5 mm, 118° ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri



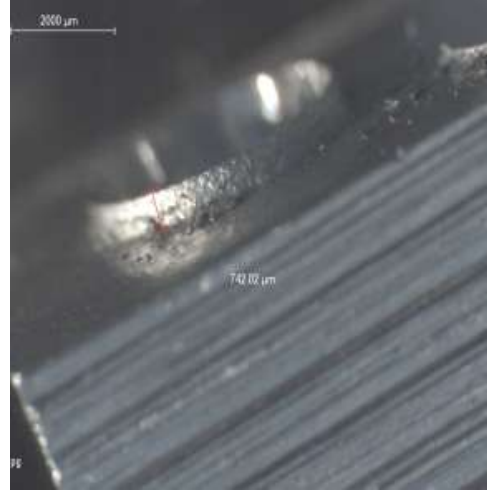
a) 0.1 mm/dev



a) 0.1 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



c) 0.3 mm/dev



c) 0.3 mm/dev

Şekil 3.33. Ø5 mm, 130° ve 1200 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

Şekil 3.34. Ø5 mm, 140° ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri



a) 0.1 mm/dev



a) 0.1 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



c) 0.3 mm/dev



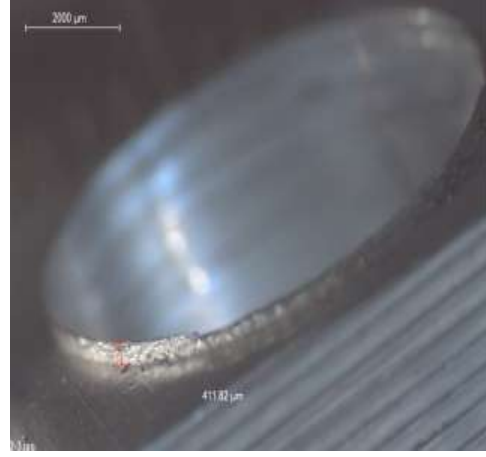
c) 0.3 mm/dev

Şekil 3.35. Ø10 mm, 90° ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

Şekil 3.36. Ø10 mm, 118° ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri



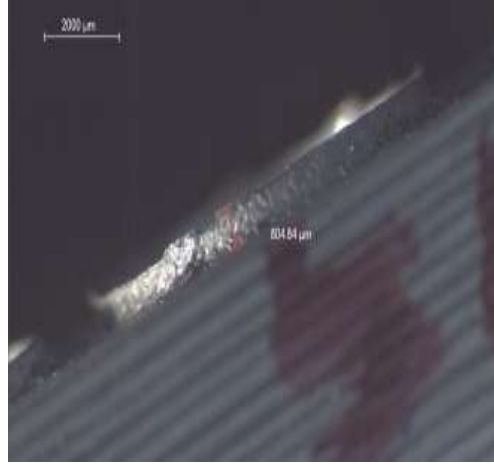
a) 0.1 mm/dev



a) 0.1 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



c) 0.3 mm/dev



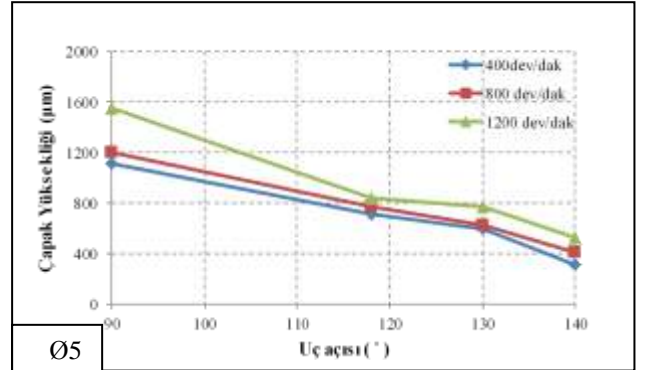
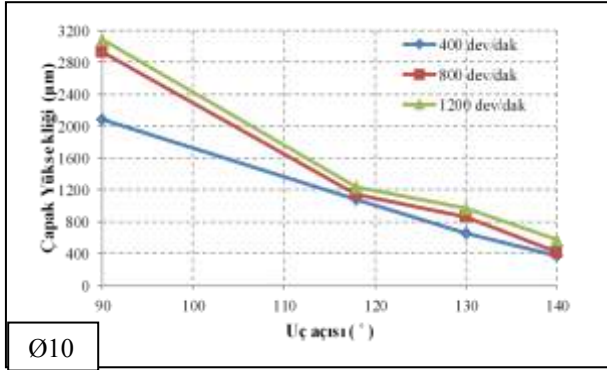
c) 0.3 mm/dev

Şekil 3.37. Ø10 mm, 130° ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

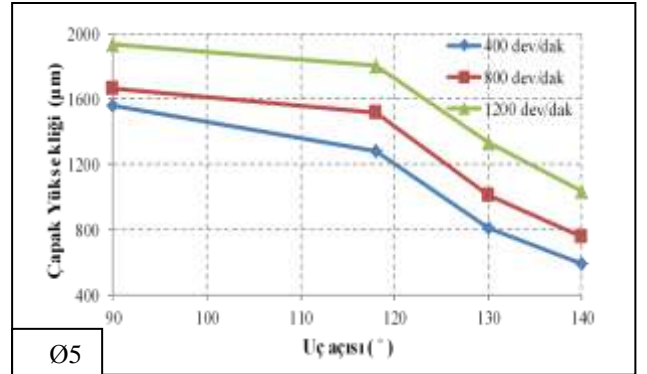
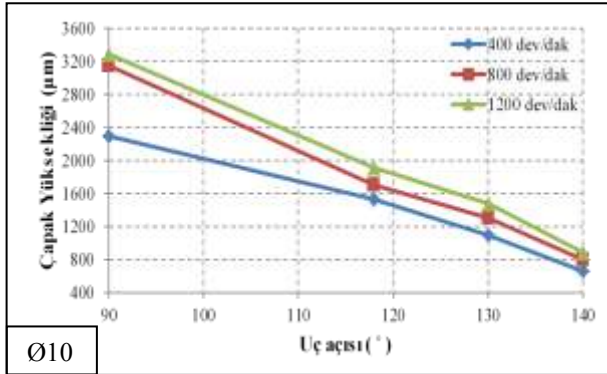
Şekil 3.38. Ø10 mm, 140° ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

3.3.3. Uç açısının Çapak Yüksekliği Üzerine Etkisi

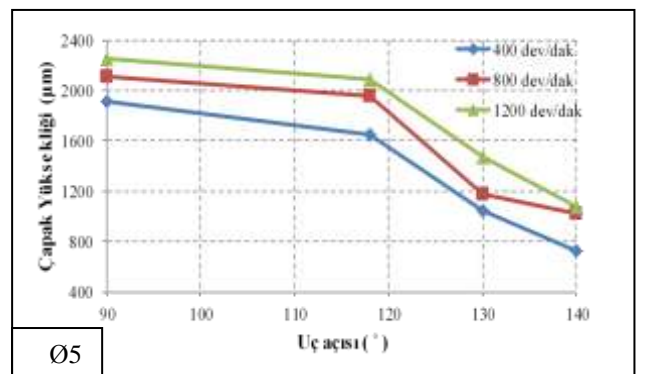
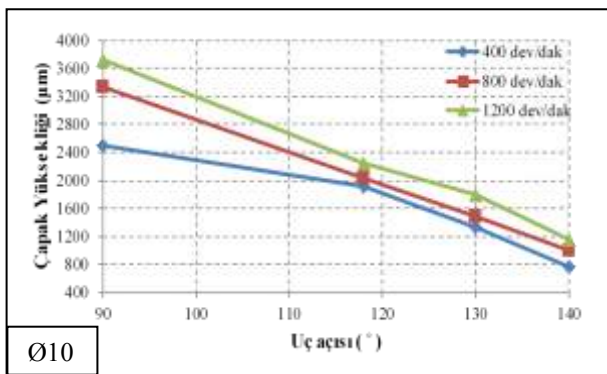
Bu bölümde ise önceki bölümlerde olduğu gibi delme parametrelerine göre matkap uç açısının oluşan çapak yüksekliklerine etkisi incelendi. Bunun için Tablo 3.3'den faydalanarak aşağıdaki grafikleri çizildi (Şekil 3.39).



a) 0.1 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



c) 0.3 mm/dev

Şekil 3.39. Çapak yüksekliklerinin matkap uç açısına göre değişimleri

Grafikler incelendiğinde matkap uç açısı arttıkça çapak yüksekliklerinin azaldığı görülmektedir. Özellikle uç açısı 90° olan matkap ile yapılan delme işleminde delik çıkış bölgesinde meydana gelen çapak yüksekliklerinin uç açısı 118°, 130° ve 140°'lik matkap ile elde edilen çapak yüksekliklerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi uç açısı azaldıkça kesme ağzı uzunluğunun artması ve deformasyona uğrayan alanın artmasındandır. Benzer şekilde uç açısı arttıkça, gerek Bölüm 3.1.3'de Şekil 3.8-3.10'daki grafiklerden görüldüğü gibi mikrosertliğin azalması, gerekse Bölüm 3.2.3'de bahsedildiği gibi kesici takımın aşınmasının azalması ve Bölüm 1.3'deki bağıntılar dikkate alınarak radyal kuvvetlerin azalması deformasyon miktarının azaldığını göstermektedir.

Ayrıca matkap ucunun uç açısı azaldıkça kesme enerjisinin azalmasına [62,107] paralel olarak delik çıkış tabakasındaki ilk kırılma delik ekseninde gerçekleşmekte [53-62] ve deformasyona uğrayan alanın yine kesme işlemine maruz kalmadan dışarıya çıkmasına neden olmaktadır (Şekil 3.40-3.45). Uç açısının artmasına bağlı olarak ilk kırılma ise kesme kenarında oluşarak [53-62] çapak yüksekliklerinin azalmasına neden olmaktadır. Şekil 3.40-3.45' a, b, c ve d' deki mikroskop görüntüleri incelendiğinde bu durum daha net bir şekilde görülmektedir.

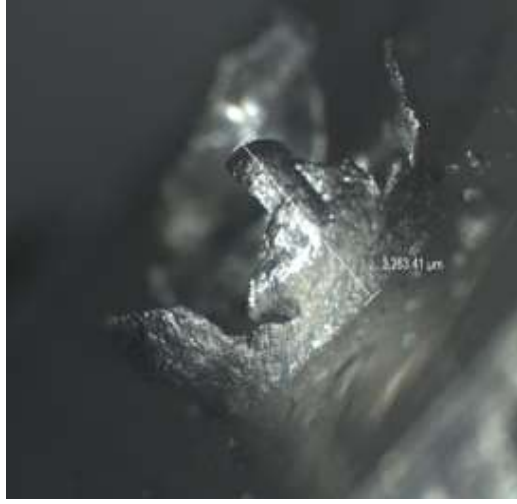
Yine Ø10 mm'lik matkap ile yapılan delme işleminde meydana gelen çapak yüksekliğinin Ø5 mm'lik matkaba göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.39 a, b, c). Bu durum kesici ağzı uzunluğunun artması ile ilişkili olarak kuvvetlerin artması ve buna bağlı olarak da deformasyona uğrayan alanın artması şeklinde açıklanabilir [95,108].



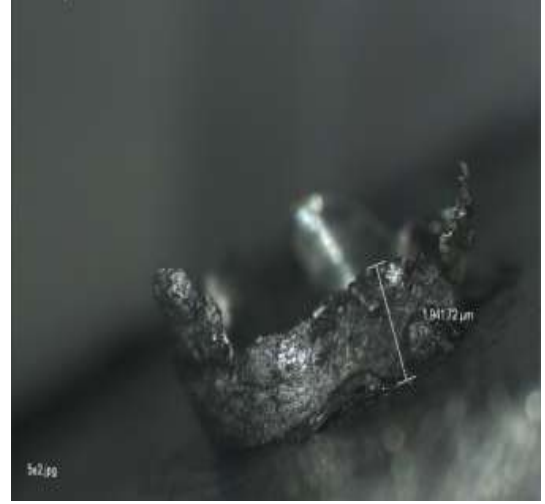
a)90°



a)90°



b)118°



b)118°



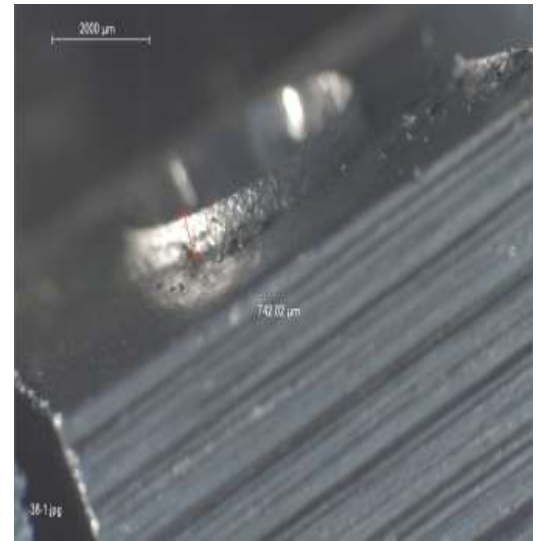
c) 130°



c) 130°



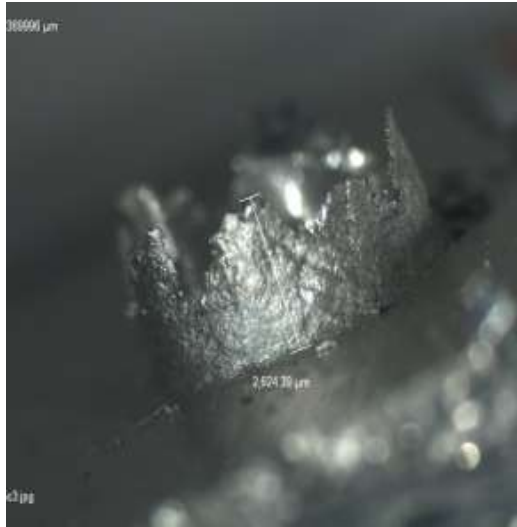
d)140°



d)140°

Şekil 3.40. Ø5 mm, 0.2 mm/dev ve 400 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

Şekil 3.41. Ø5 mm, 0.2 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri



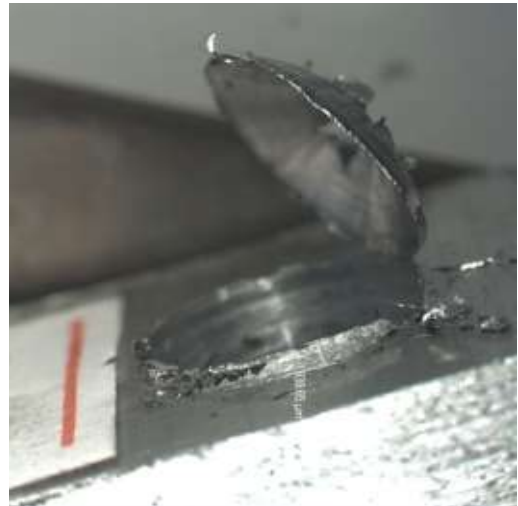
a)90°



a)90°



b)118°



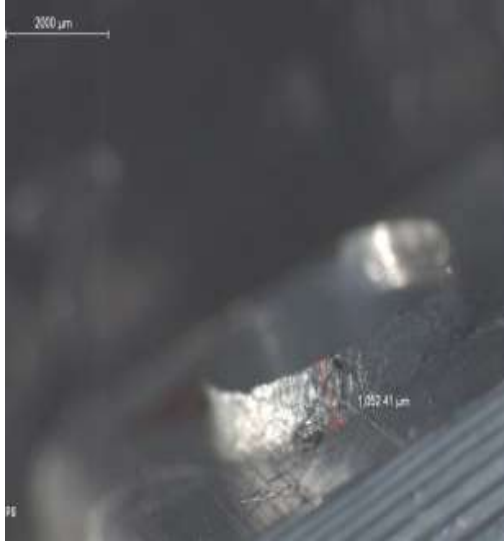
b)118°



c) 130°



c) 130°



d) 140°



d) 140°

Şekil 3.42. Ø5 mm, 0.3 mm/dev ve 1200 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

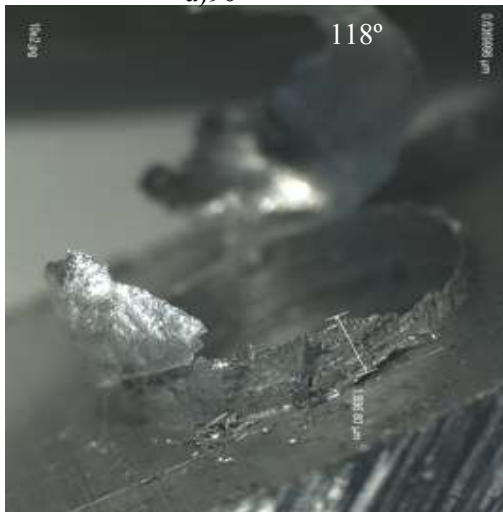
Şekil 3.43. Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 400 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri



a)90°



a)90°



b)118°



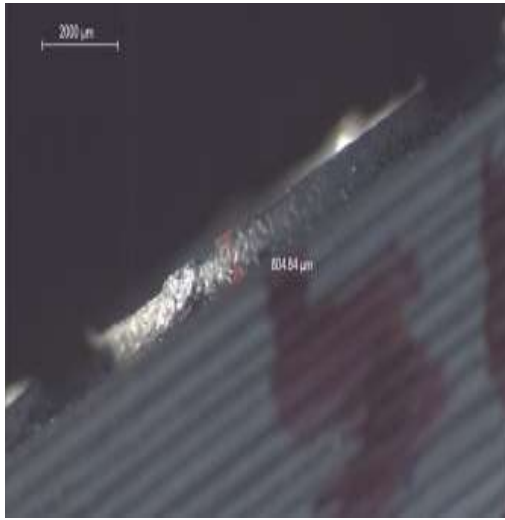
b)118°



c)130°



c)130°



d)140°



d)140°

Şekil 3.44. Ø10 mm, 0.2 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

Şekil 3.45. Ø10 mm, 0.2 mm/dev ve 1200 dev/dak göre çapak yüksekliklerindeki değişimlerin mikroskop görüntüleri

3.4. Çapak Kalınlıklarına Ait Bulgular

Bu bölümde ise yapılan delme deneyleri sonrasında, delme parametrelerinin çapak kalınlıklarına etkisini belirlemek için Bölüm 2.4’de belirtildiği gibi çapak kalınlıklarının ölçümleri yapıldı ve ölçüm sonuçları Tablo 3.4’de verildi.

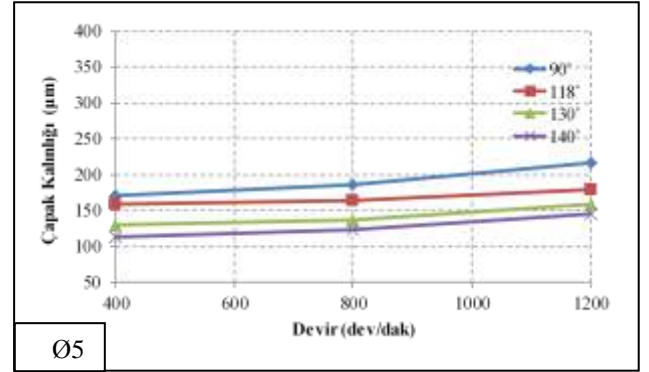
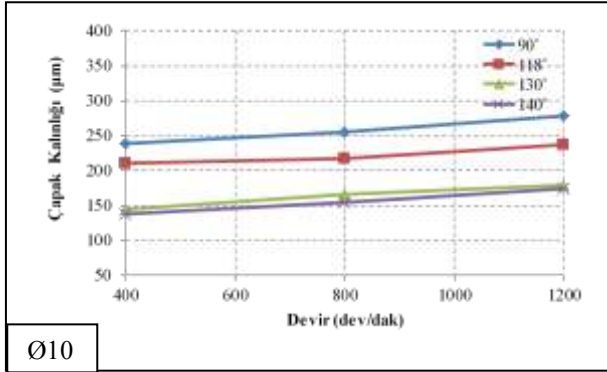
Tablo 3.4. Çapak kalınlığına ait bulgular

Deney No	Çapak kalınlığı (μm)		
S1	170.2	S29	129.4
S2	178.6	S30	141.3
S3	229.2	S31	124.0
S4	185.7	S32	143.5
S5	231.1	S33	173.7
S6	253.0	S34	145.1
S7	217.1	S35	155.3
S8	251.5	S36	178.2
S9	294.7	S37	238.2
S10	159.2	S38	247.4
S11	172.8	S39	260.9
S12	197.4	S40	255.7
S13	164.8	S41	290.5
S14	188.8	S42	303.8
S15	212.5	S43	279.1
S16	180.2	S44	315.0
S17	205.4	S45	327.9
S18	243.3	S46	210.2
S19	130.4	S47	216.3
S20	138.8	S48	237.1
S21	163.0	S49	217.8
S22	136.7	S50	250.3
S23	152.7	S51	255.3
S24	176.0	S52	237.2
S25	158.6	S53	279.4
S26	164.9	S54	288.5
S27	192.1	S55	145.4
S28	114.2	S56	162.2

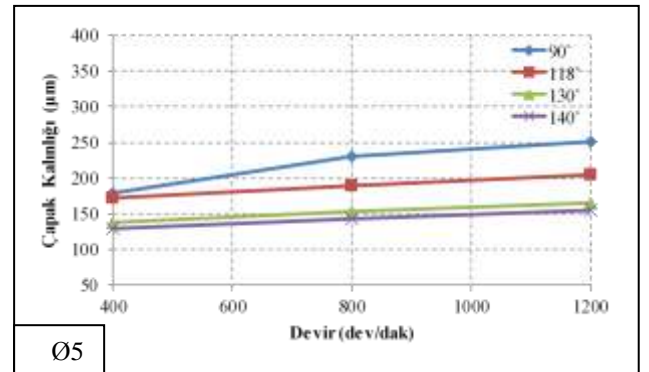
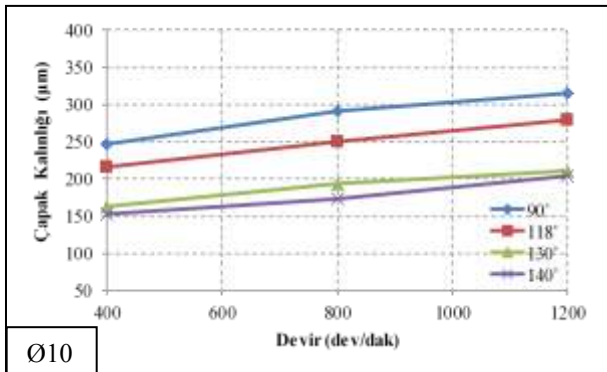
S57	183.3	S65	153.3
S58	166.7	S66	179.0
S59	193.3	S67	154.6
S60	203.0	S68	174.2
S61	178.6	S69	194.5
S62	210.9	S70	174.1
S63	223.7	S71	204.0
S64	138.1	S72	225.0

3.4.1. Devir Sayısının Çapak Kalınlığı Üzerine Etkisi

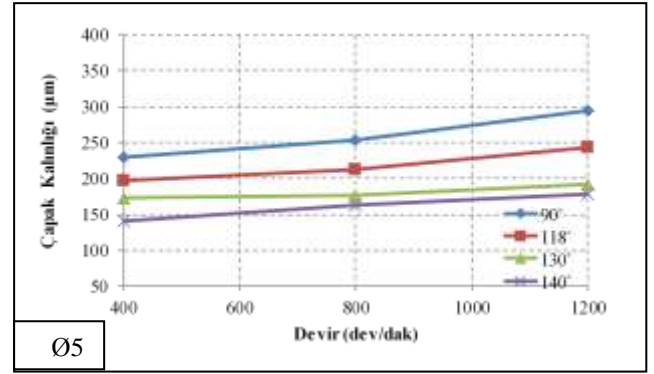
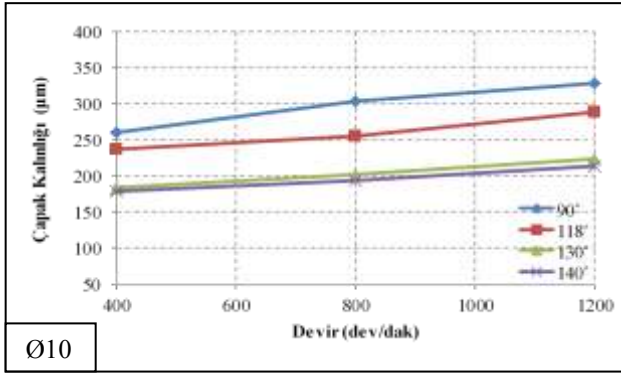
Bu bölümde ise delme parametrelerine göre devir sayısının oluşan çapak kalınlıklarına etkisi incelendi. Bunun için Tablo 3.4'den faydalanarak aşağıdaki grafikleri çizildi (Şekil 3.46).



a) 0.1 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



c) 0.3 mm/dev

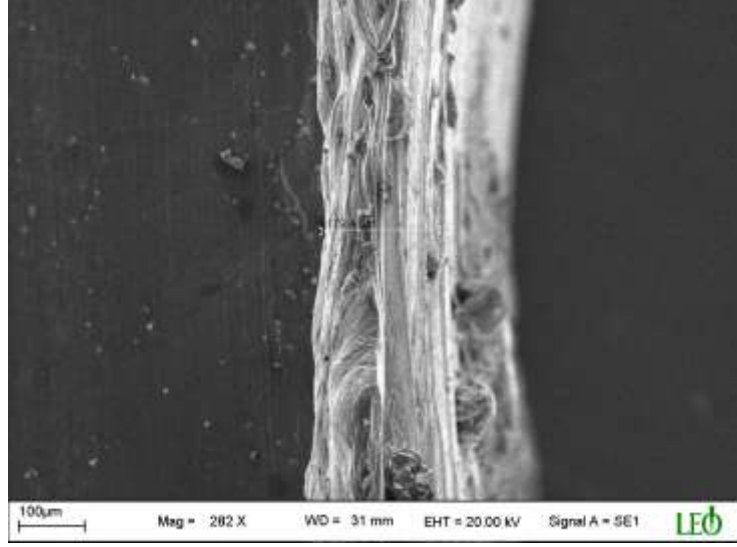
Şekil 3.46. Çapak kalınlıklarının devir sayısına göre değişimleri

Grafikler incelendiğinde devir sayısı arttıkça çapak kalınlığının arttığı görülmektedir. Bu durum, Bölüm 3.3.1’de bahsedildiği gibi kesme hızına bağlı olarak artan sıcaklık kesme bölgesinde malzemenin sünekliliğini ve deformasyonunu artırması ile açıklanabilir. Çünkü oluşan ısı, malzemenin daha kolay akmasına yol açarak çapak kalınlığının artmasına neden olmaktadır (Şekil 3.47-3.54).

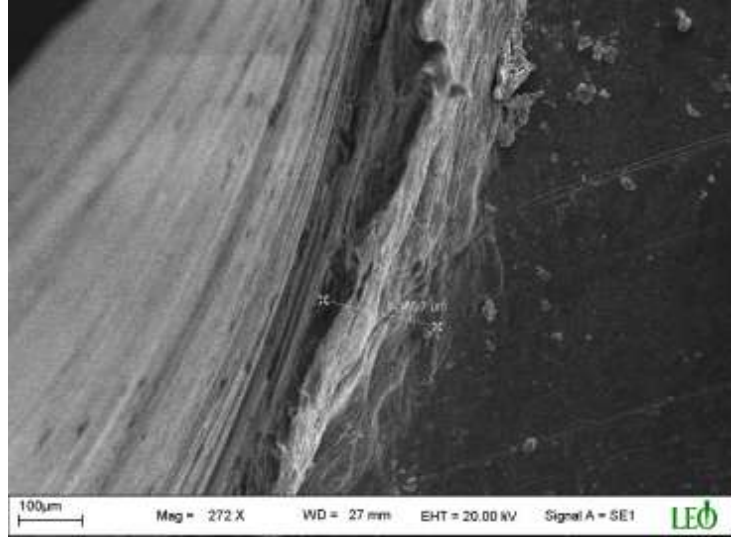
Ayrıca oluşan ısı daha önce de belirtildiği gibi BUE oluşumu ve aşınmaya neden olmakta ve kesici takımın formunu bozmaktadır (Şekil 3.55 ve 3.56). Kesici takımın formunun bozulması kesmeyi zorlaştırarak kararlı kesmeyi etkiler. Bu da Bölüm 3.2’de bahsedildiği gibi yüzey kalitesinin bozulmasına ve parça boyutunda değişikliğe neden olmaktadır. Bu durumun benzer şekilde, çapak kalınlığını da artırdığı görüldü (Şekil 3.47-3.54). Yapılan delme deneyleri sonrası matkap ucunda meydana gelen BUE oluşumlarının çoğunlukla kararlı bir şekilde görülmediği ve yer yer kesme işlemi ile de temizlendiği gözlemlendi (Şekil 3.56 a, b ve c).

Tüm bunlarla beraber Ø10 mm’lik matkap ile yapılan delme işlemlerinde meydana gelen çapak kalınlıklarının Ø5 mm’lik matkaba göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.46 a, b, c). Bu durum sürtünen yüzey alanının artmasına bağlı olarak ve daha fazla ısının oluşması şeklinde açıklanabilir.

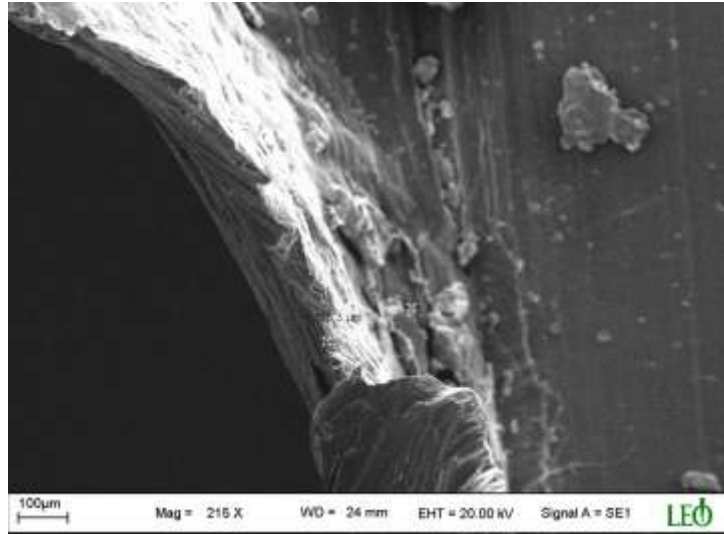
Yine bu bölümde de deney parametrelerinin fazla olması ve diğer bölümlerde de ayrıca incelenmesi nedeni ile tüm kesme parametrelerinden elde edilen fotoğraflar verilmedi.



a) 400 dev/dak

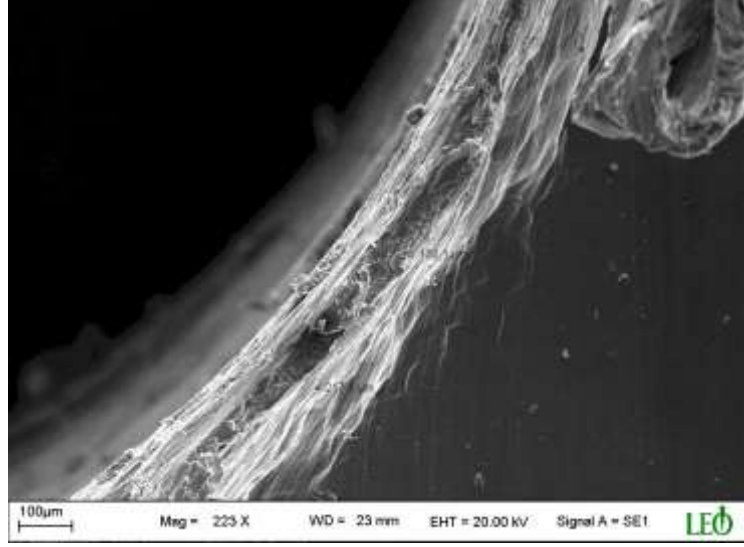


b) 800 dev/dak

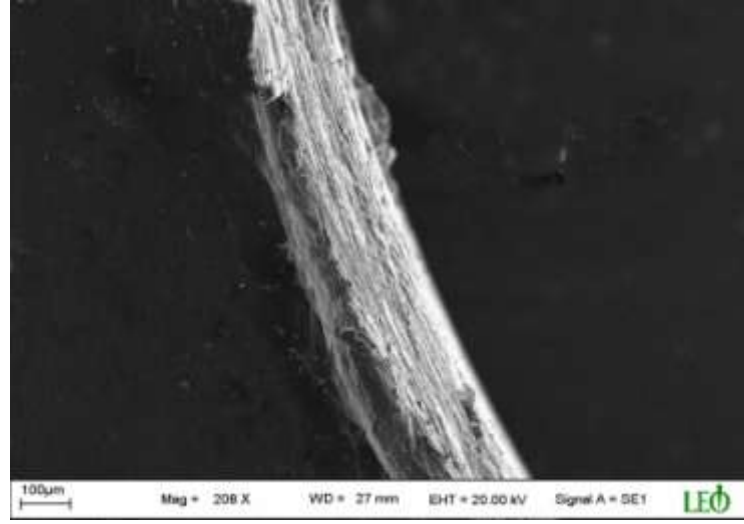


c) 1200 dev/dak

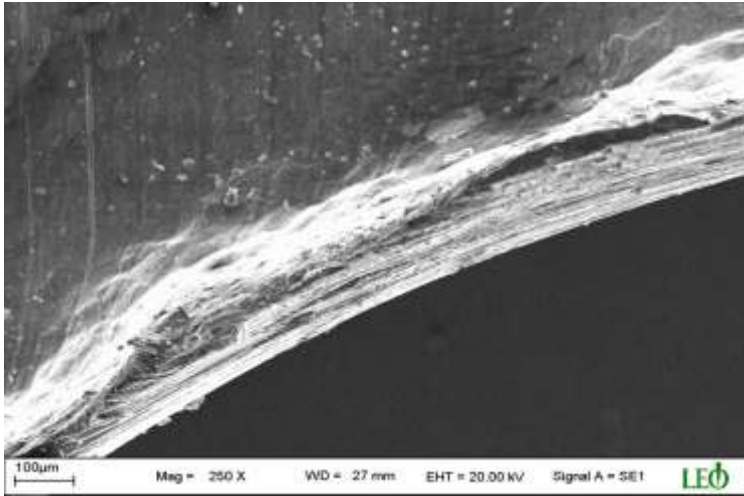
Şekil 3.47. Ø5 mm, 90° ve 0.1 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 400 dev/dak

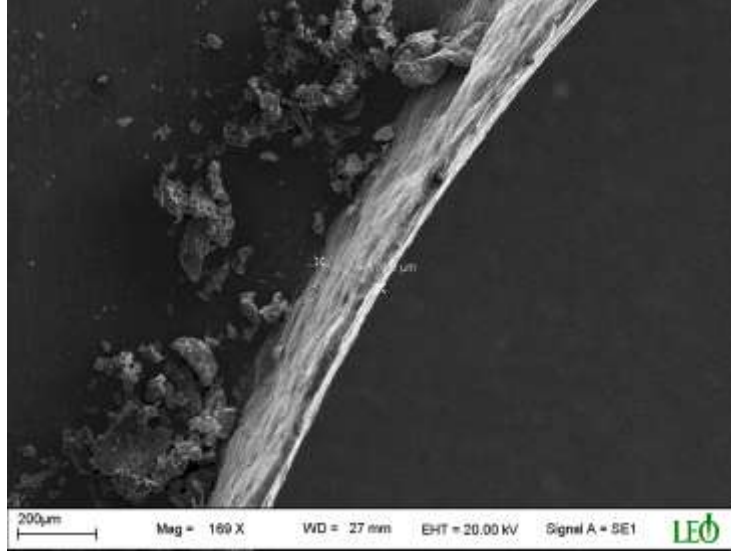


b) 800 dev/dak

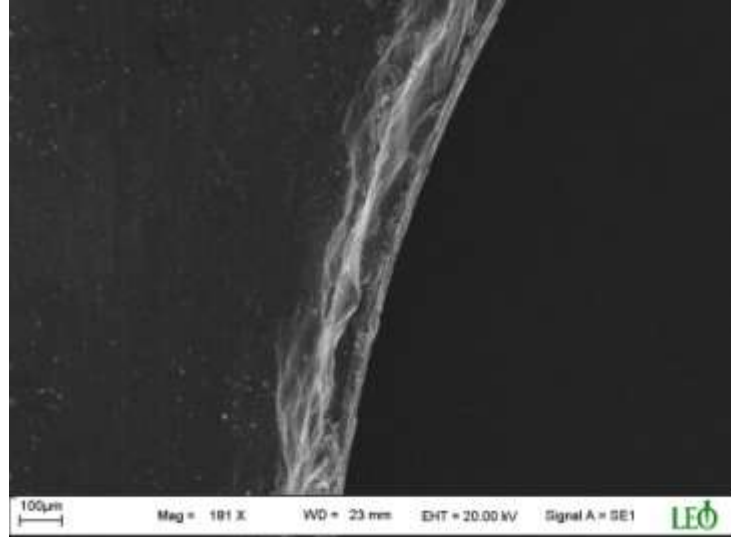


c) 1200 dev/dak

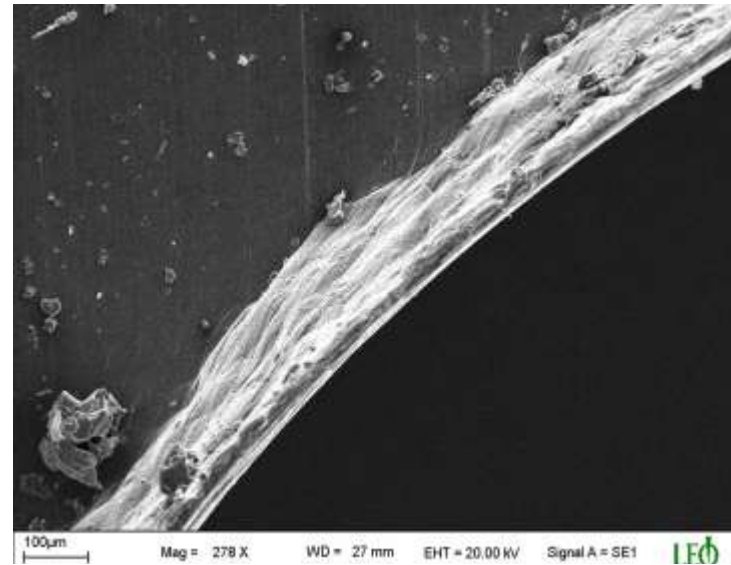
Şekil 3.48. Ø5 mm, 118° ve 0.1 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 400 dev/dak

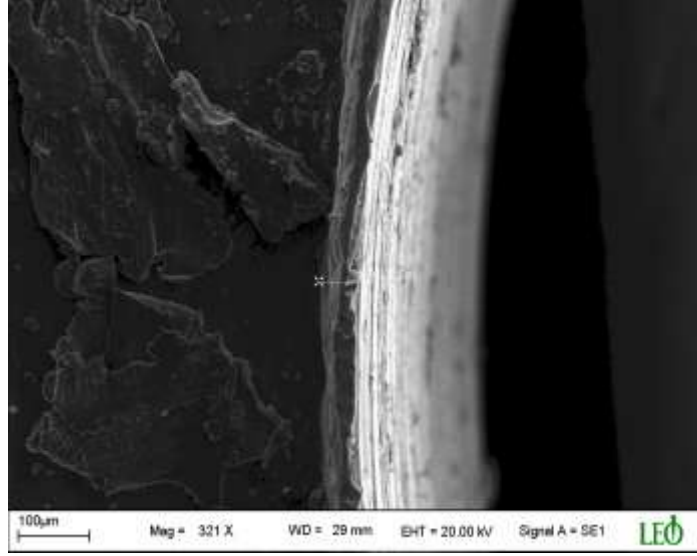


b) 800 dev/dak

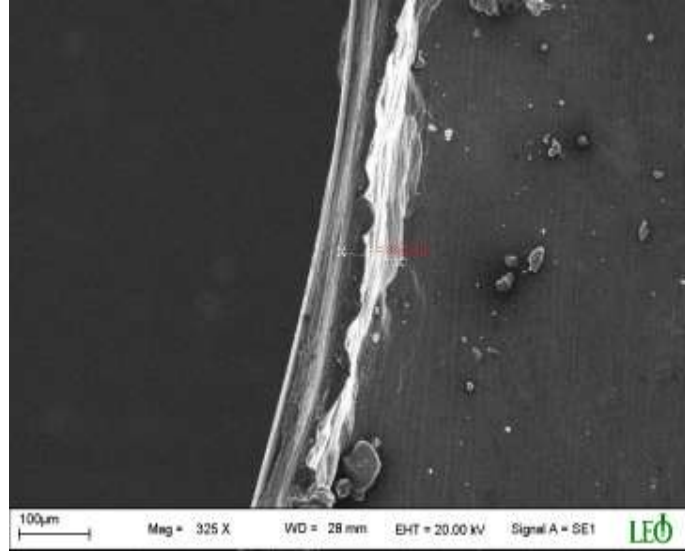


c) 1200 dev/dak

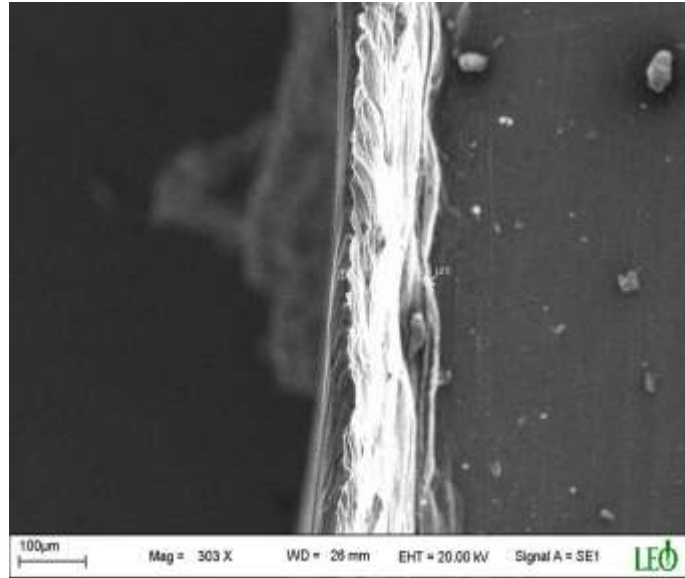
Şekil 3.49. Ø5 mm, 130° ve 0.2 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 400 dev/dak

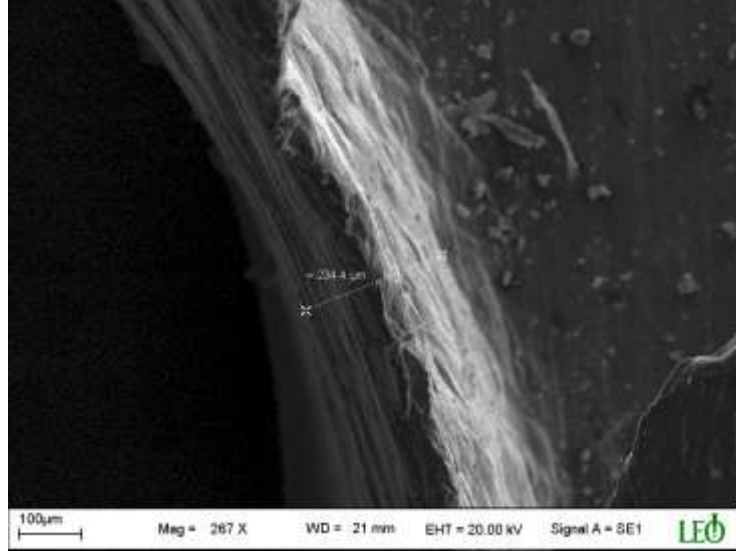


b) 800 dev/dak

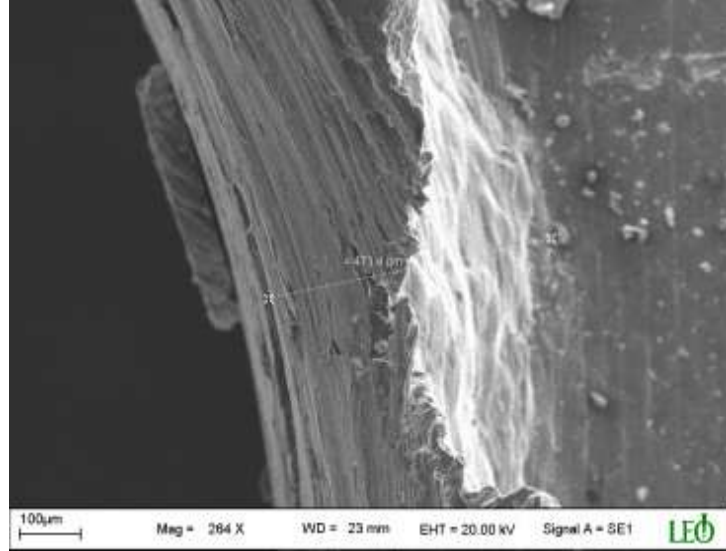


c) 1200 dev/dak

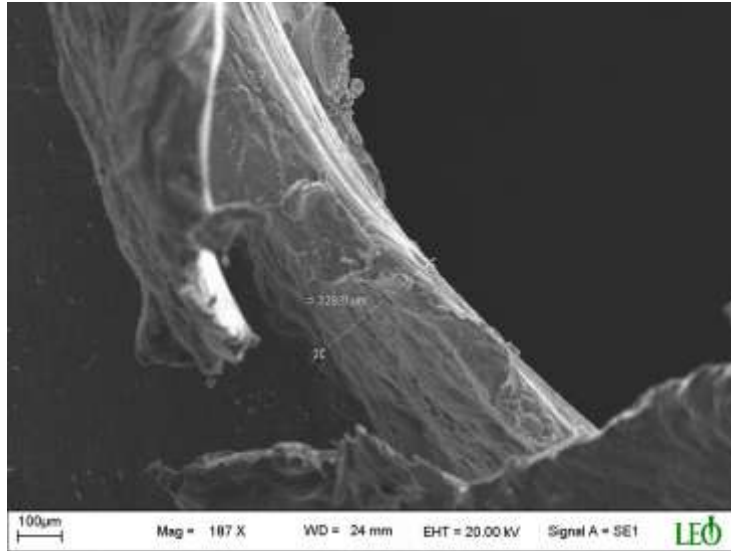
Şekil 3.50. Ø5 mm, 140° ve 0.2 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 400 dev/dak

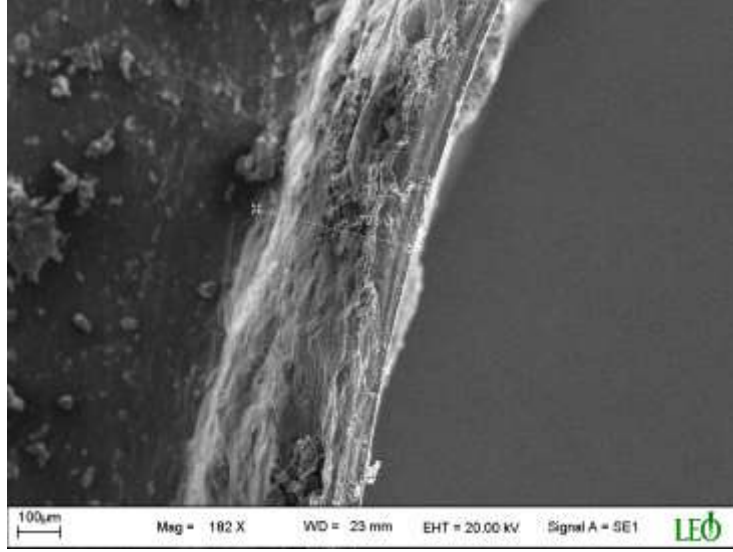


b) 800 dev/dak

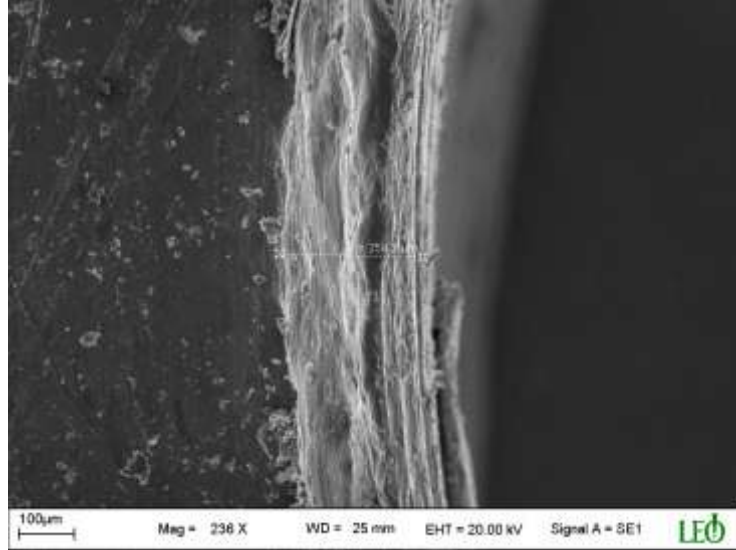


c) 1200 dev/dak

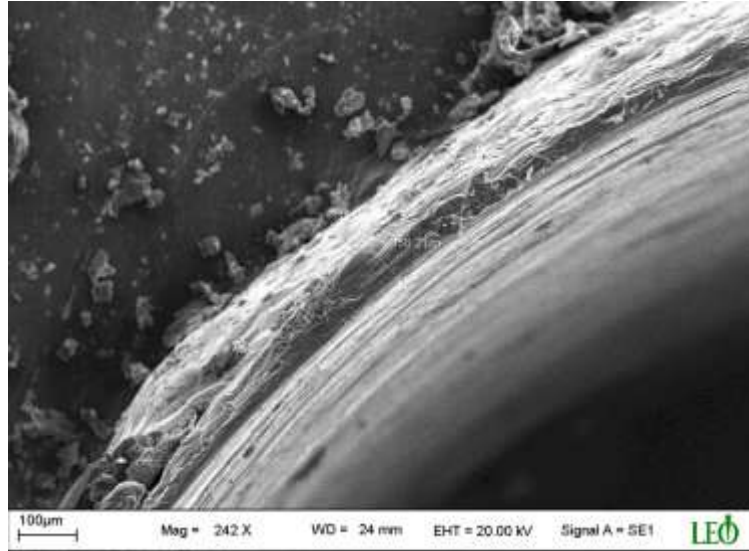
Şekil 3.51. Ø10 mm, 90° ve 0.2 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 400 dev/dak

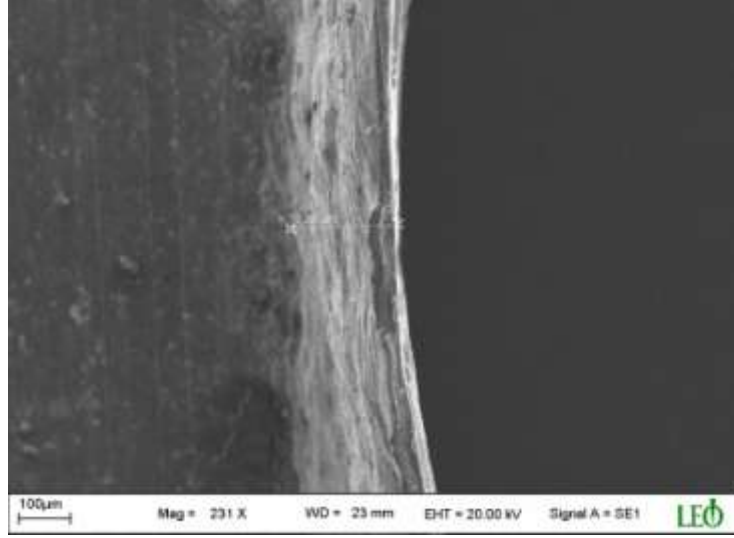


b) 800 dev/dak



c) 1200 dev/dak

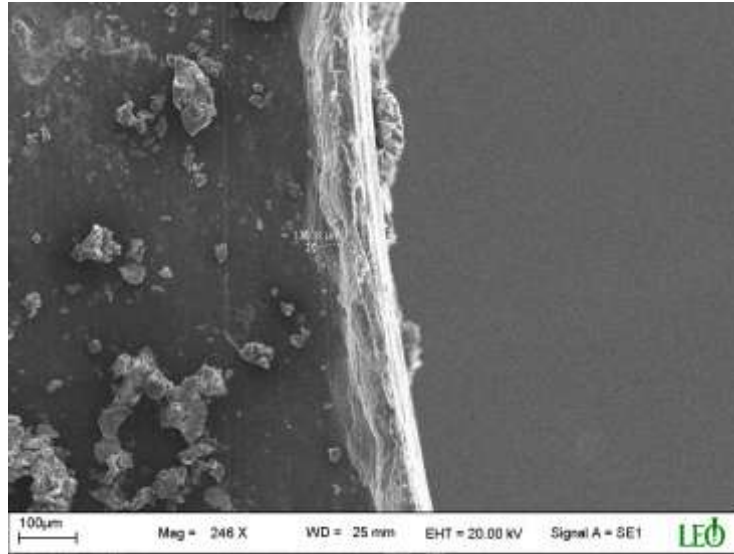
Şekil 3.52. Ø10 mm, 118° ve 0.2 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 400 dev/dak

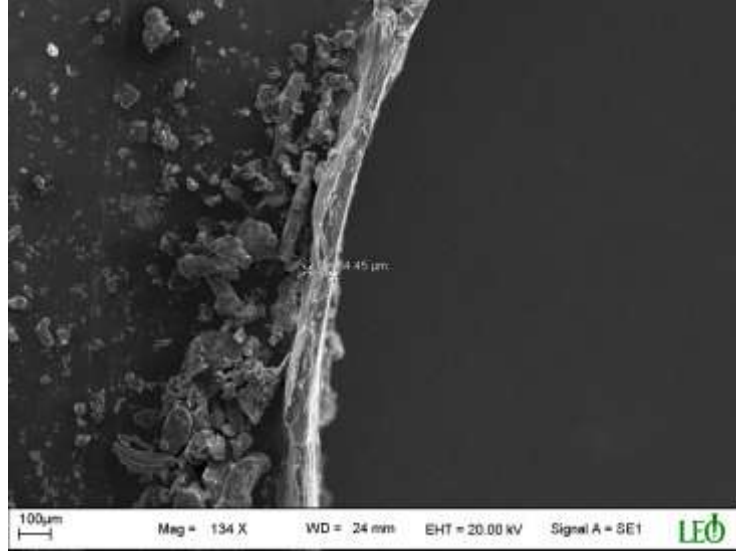


b) 800 dev/dak

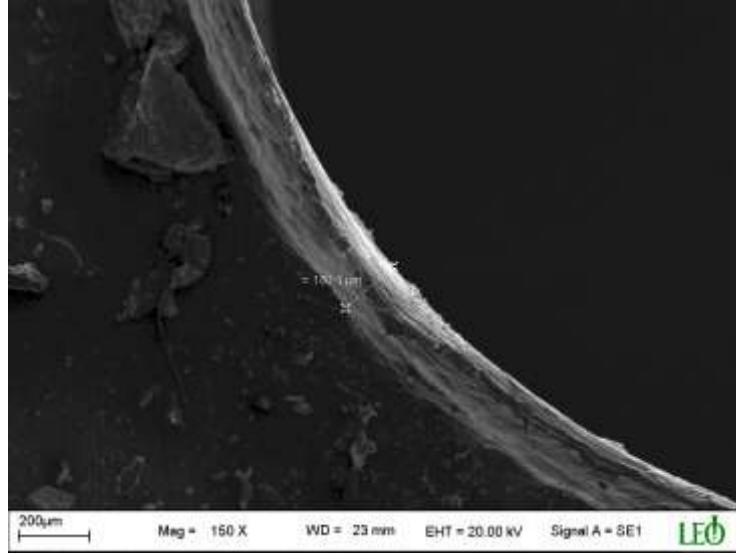


c) 1200 dev/dak

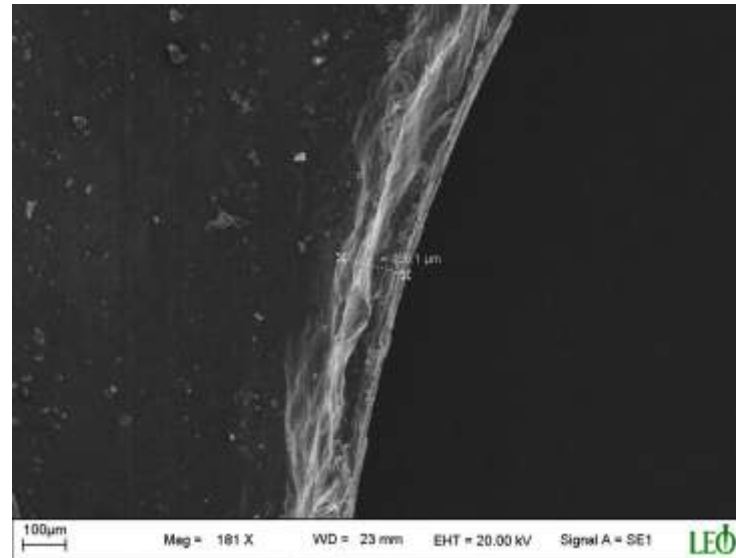
Şekil 3.53. Ø10 mm, 130° ve 0.2 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 400 dev/dak

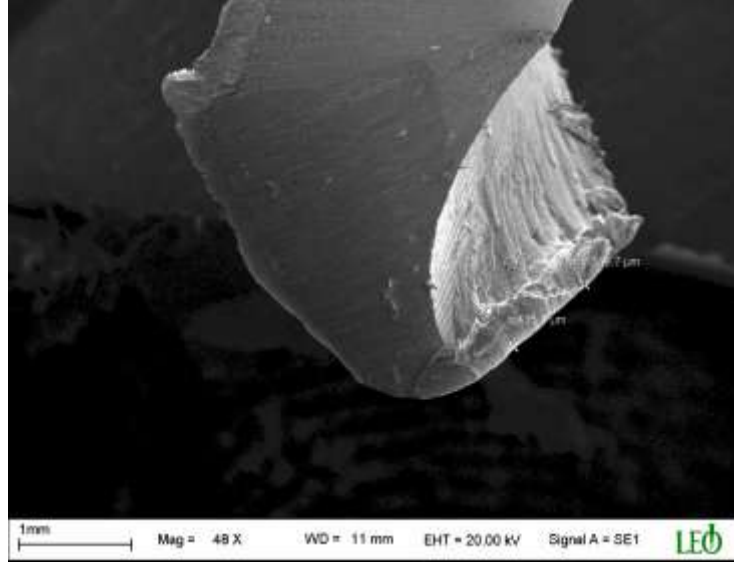


b) 800 dev/dak

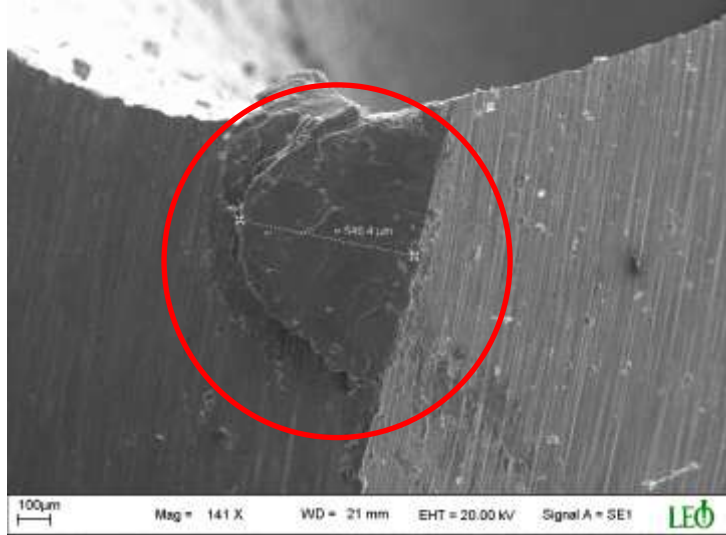


c) 1200 dev/dak

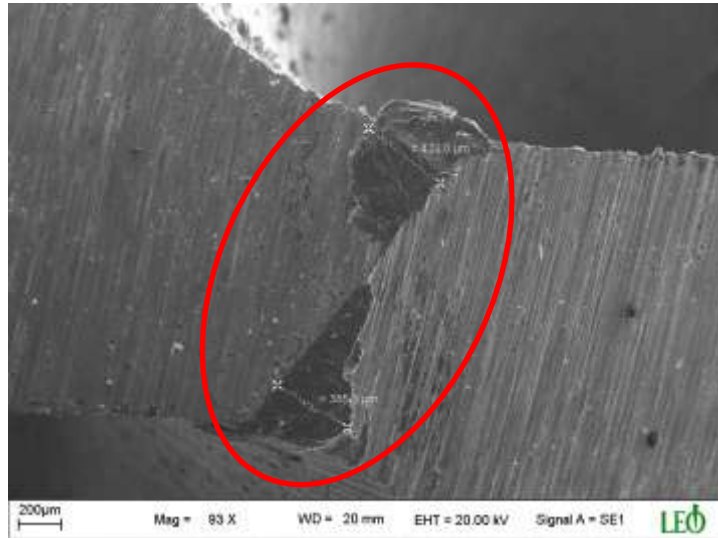
Şekil 3.54. Ø10 mm, 140° ve 0.2 mm/dev için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) Ø5 mm- 1200 dev/dak.- 0.3 mm/dev-118°

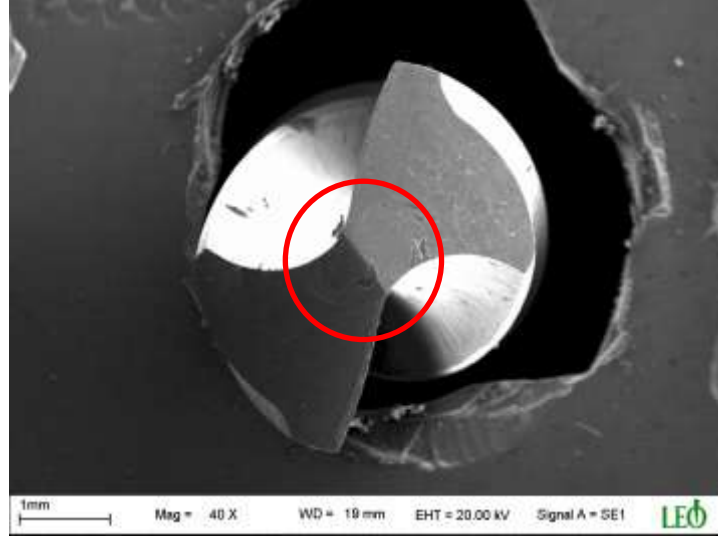


b) Ø10 mm- 800 dev/dak.- 0.2 mm/dev-118°

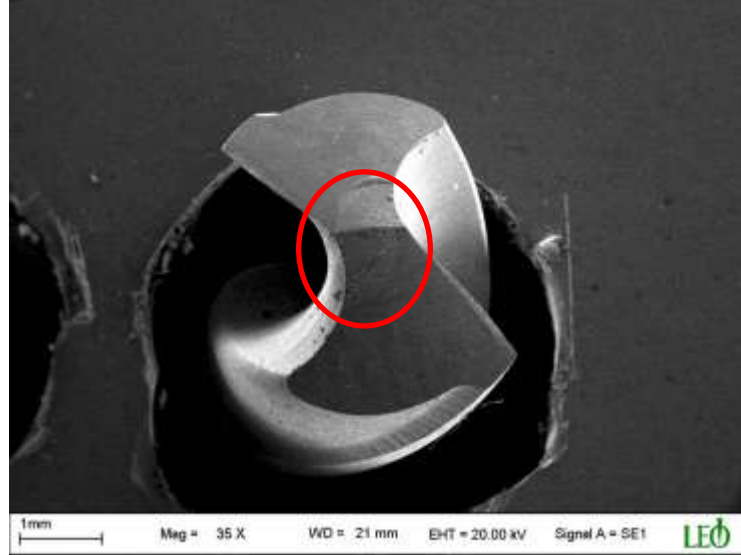


c) Ø10 mm- 1200 dev/dak.- 0.2 mm/dev-140°

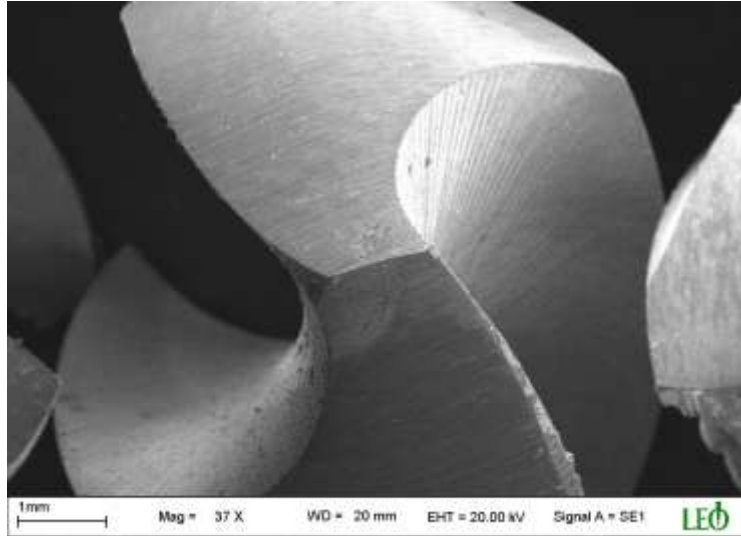
Şekil 3.55. Matkap uçlarında BUE oluşumlarının SEM görüntüleri



a) Ø5 mm- 400 dev/dak- 0.1 mm/dev-130°



b) Ø5 mm- 800 dev/dak- 0.1 mm/dev-140°

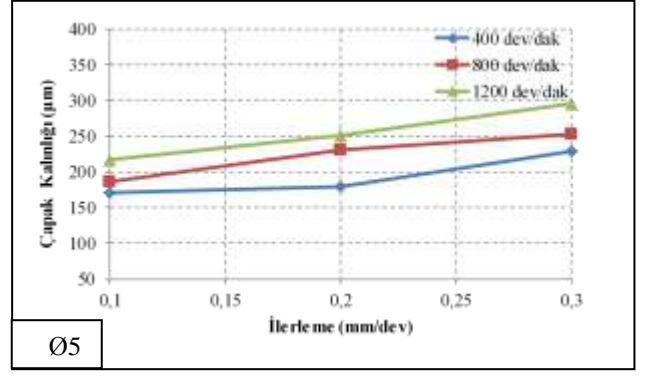
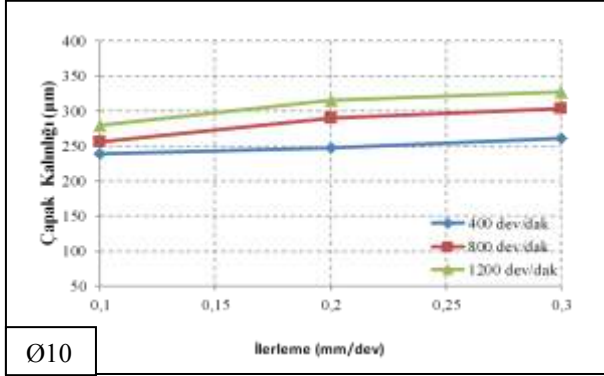


c) Ø10 mm- 400 dev/dak- 0.2 mm/dev-130°

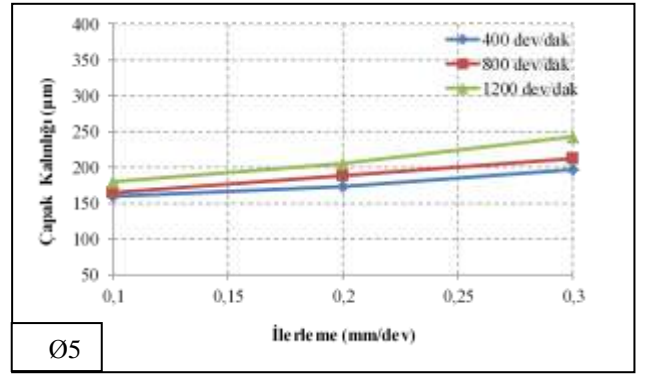
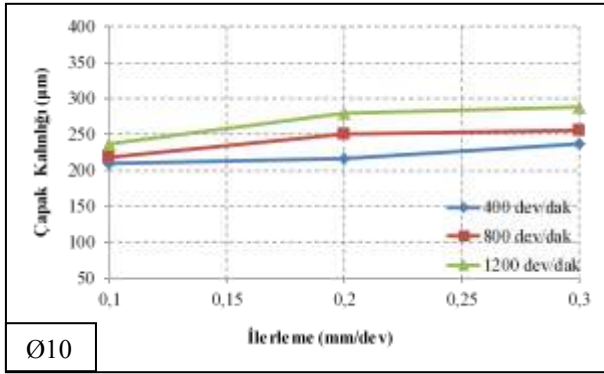
Şekil 3.56. Matkap uçlarında meydana gelen aşınmaların SEM görüntüleri

3.4.2. İlerlemenin Çapak Kalınlığı Üzerine Etkisi

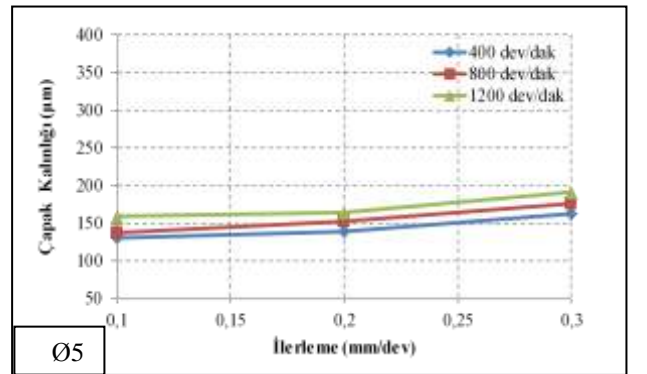
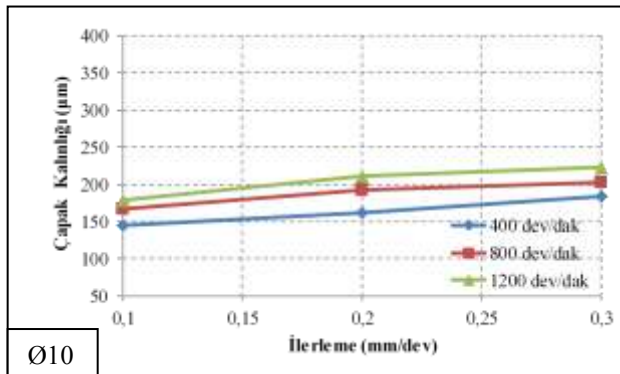
Bu bölümde ise delme parametrelerine göre ilerlemenin oluşan çapak kalınlıklarına etkisi incelendi. Bunun için Tablo 3.4'den faydalanarak aşağıdaki grafikleri çizildi (Şekil 3.57).



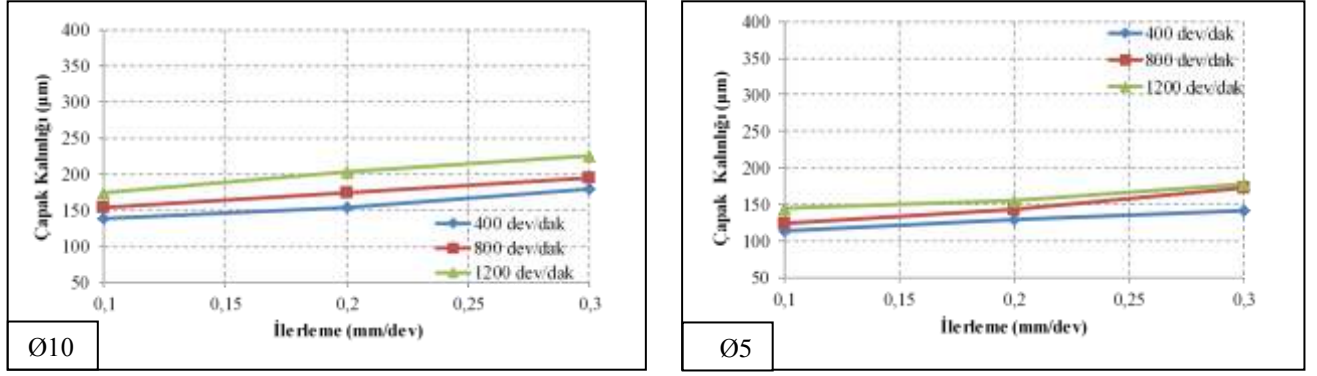
a) Matkap uç açısı 90°



b) Matkap uç açısı 118°



c) Matkap uç açısı 130°



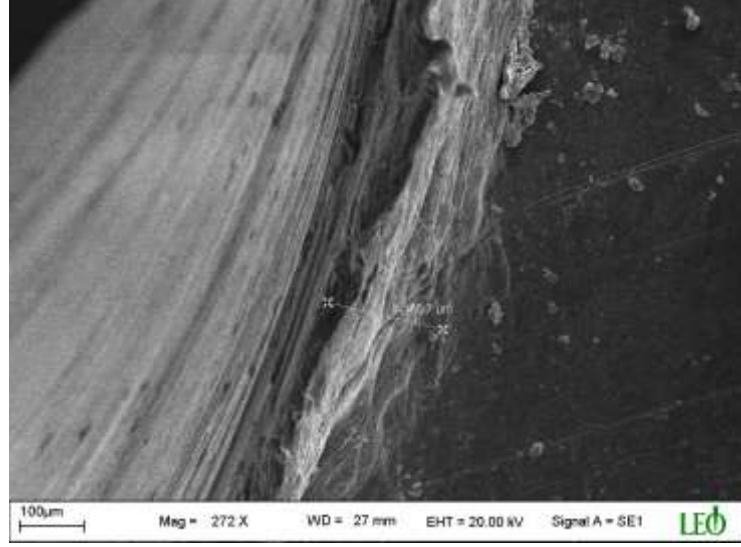
d) Matkap uç açısı 140°

Şekil 3.57. Çapak kalınlıklarının devir başına ilerlemeye göre değişimleri

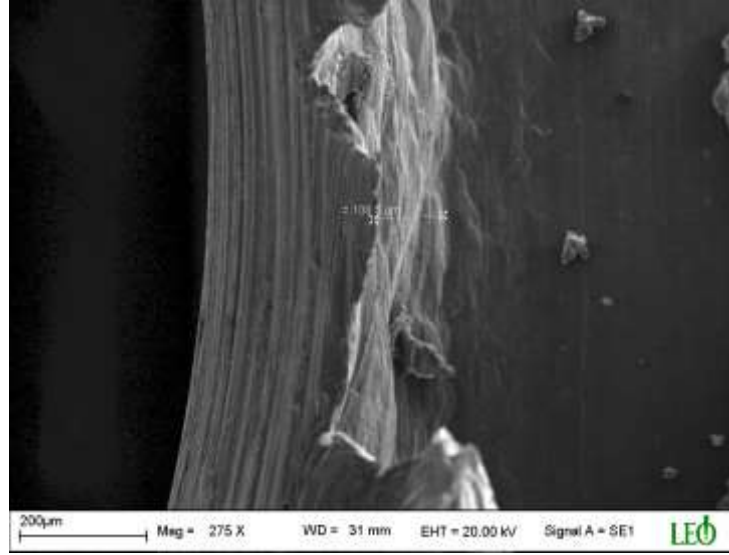
Grafikler incelendiğinde ilerleme miktarının artmasına bağlı olarak çapak kalınlıklarının arttığı görülmektedir (Şekil 3.57 a, b, c, d). Bunun sebebi benzer şekilde Bölüm 3.3.2’de bahsedildiği gibi ilerlemenin artması ile kesilen malzeme miktarındaki artışın bir sonucu olarak kesme bölgesindeki deformasyon ve sıcaklıklardaki artış ile açıklanabilir. Ayrıca ilerleme miktarının artması, artan takım ucu sıcaklığının takım mukavemetini düşürmesi ve artan kesme kuvvetlerinin adhesif aşınmaya sebep olması [92,93] kesici takımın kararlı delmesini etkileyerek çapak kalınlıklarının artmasına neden olmaktadır (Şekil 3.57).

Benzer şekilde ilerlemenin artmasına bağlı olarak ilerleme kuvvetlerindeki artış, deformasyona uğrayan alanların artmasına neden olmaktadır [93,105]. Bu durum delik çıkış bölgesinde, kesme işlemine maruz kalmadan deformasyona uğrayan alanın dışarıya çıkmasına neden olmaktadır (Şekil 3.58-3.65).

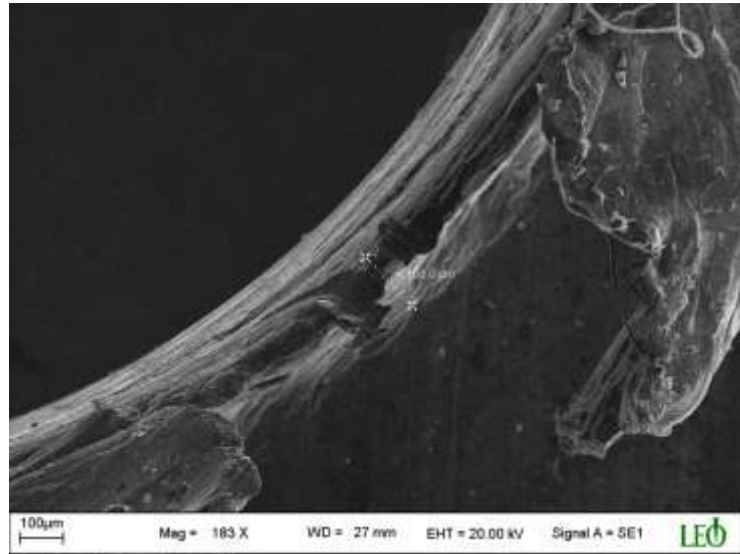
Yine, Ø10 mm’lik matkap ile yapılan delme işleminde meydana gelen çapak kalınlığının Ø5 mm’lik matkaba göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.58-3.65). Bu durum da bir devirlik ilerlemedeki deformasyona uğrayan alanın artması [92,104] ve buna bağlı olarak ilerleme kuvvetlerindeki artış ile açıklanabilir.



a) 0.1 mm/ dev

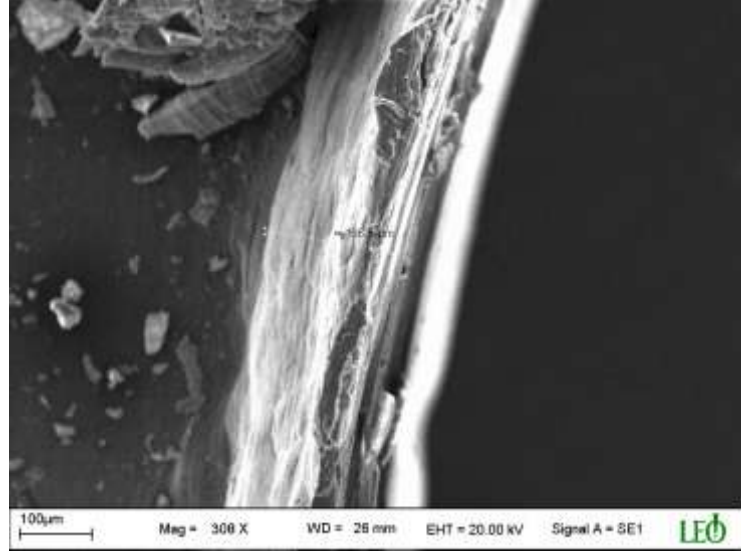


b) 0.2 mm/ dev

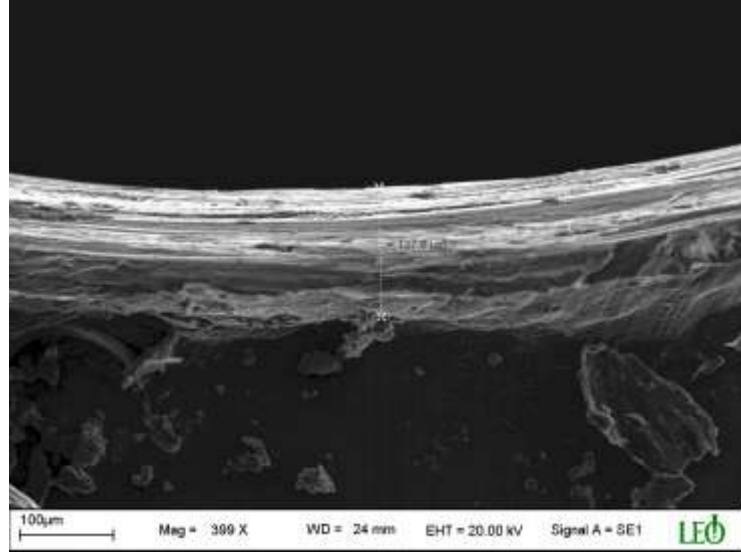


c) 0.3 mm/ dev

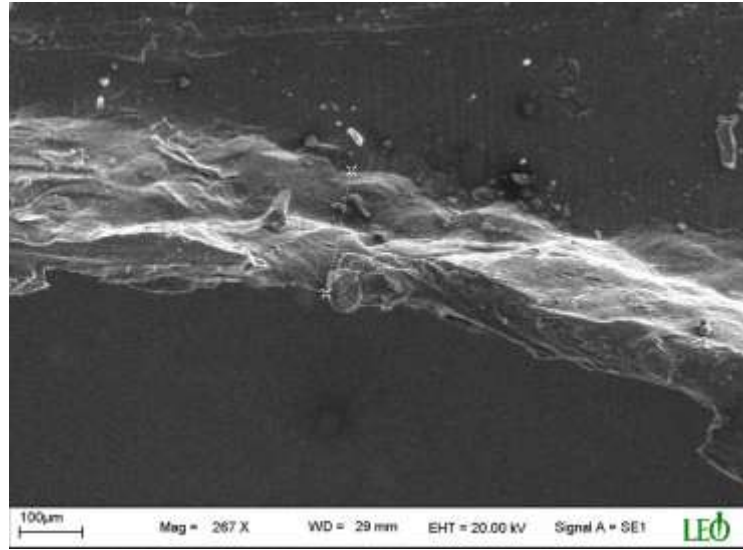
Şekil 3.58. Ø5 mm, 90° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 0.1 mm/ dev

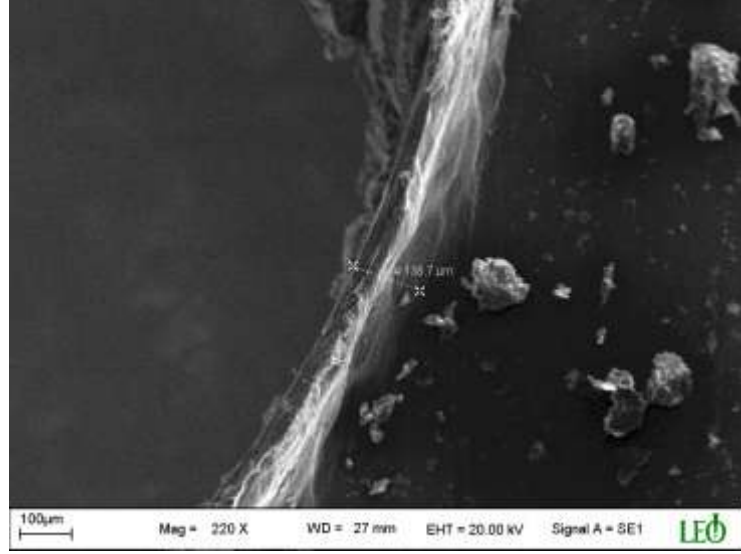


b) 0.2 mm/ dev

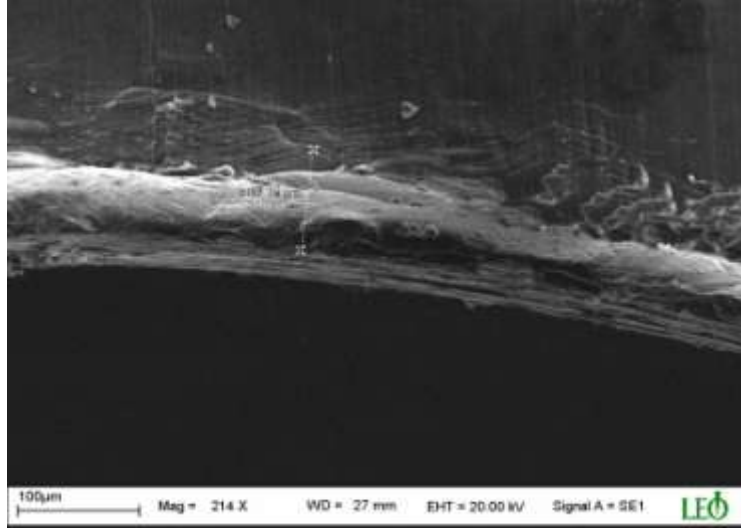


c) 0.3 mm/ dev

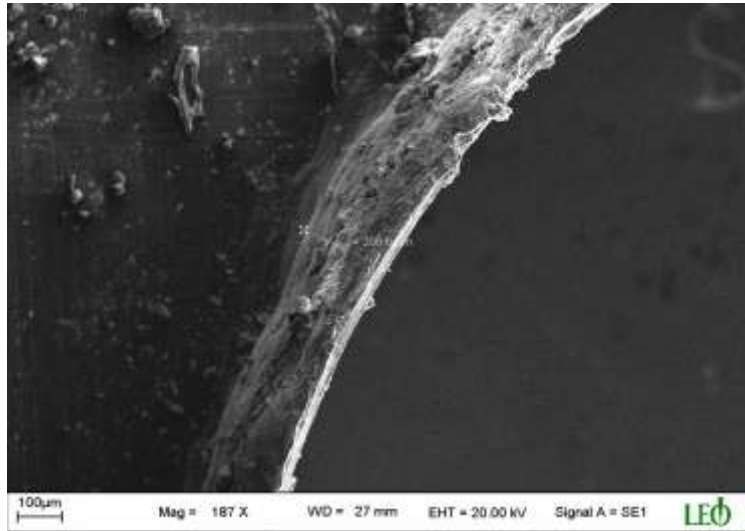
Şekil 3.59. Ø5 mm, 118° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 0.1 mm/ dev

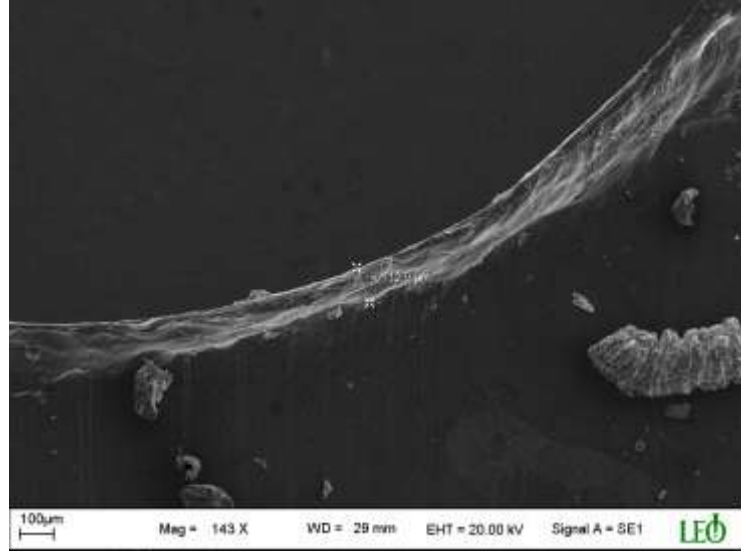


b) 0.2 mm/ dev

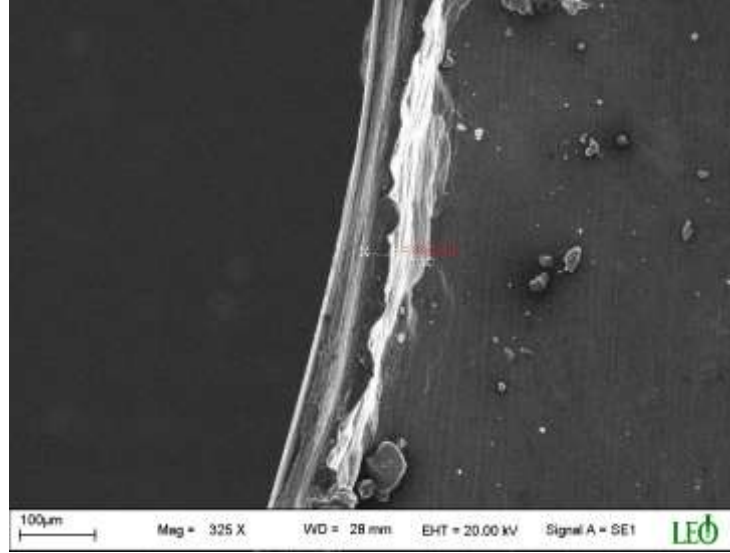


c) 0.3 mm/ dev

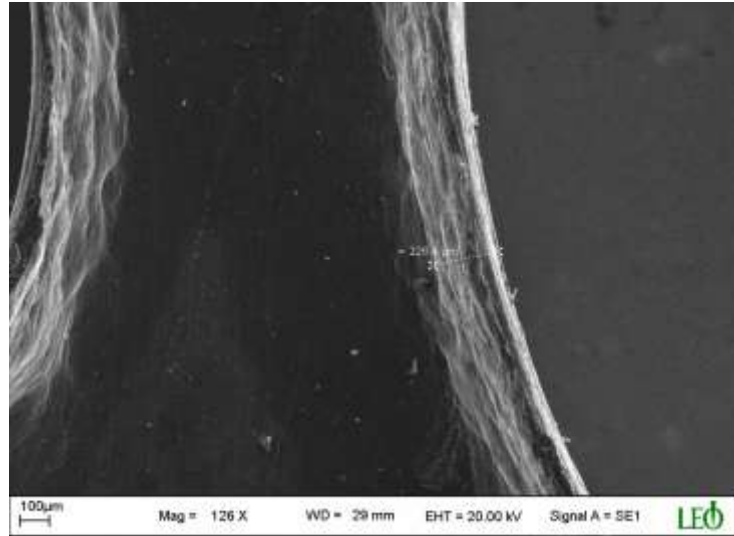
Şekil 3.60. Ø5 mm, 130° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 0.1 mm/ dev

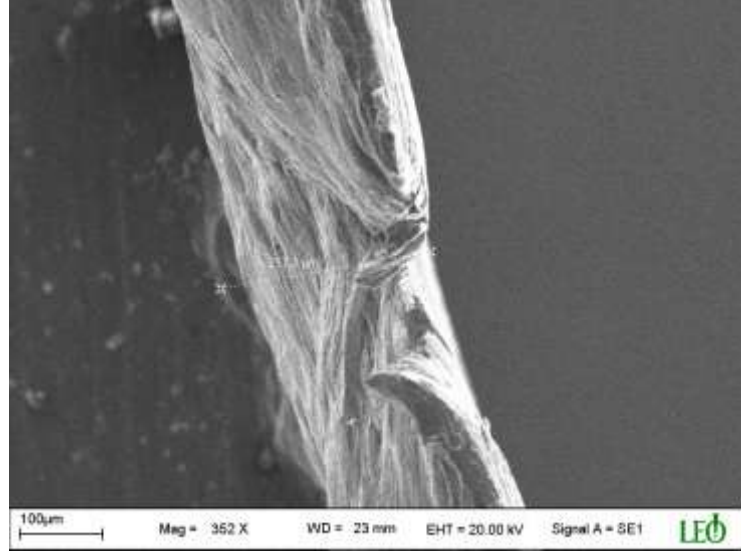


b) 0.2 mm/ dev

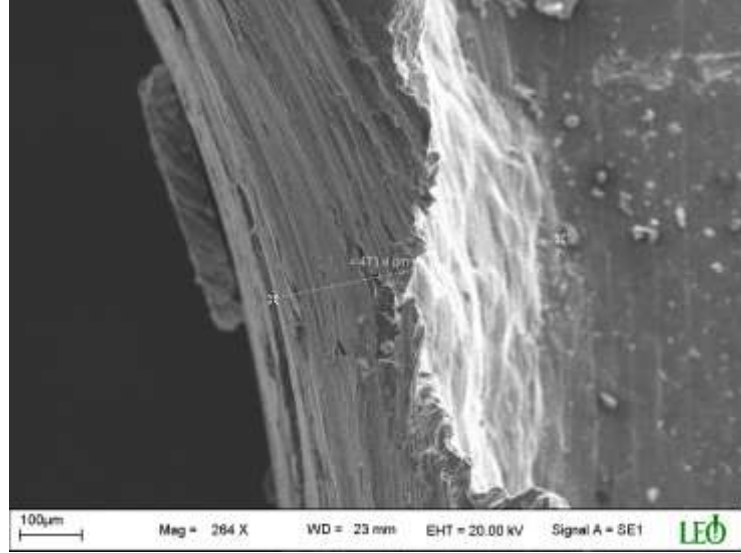


c) 0.3 mm/ dev

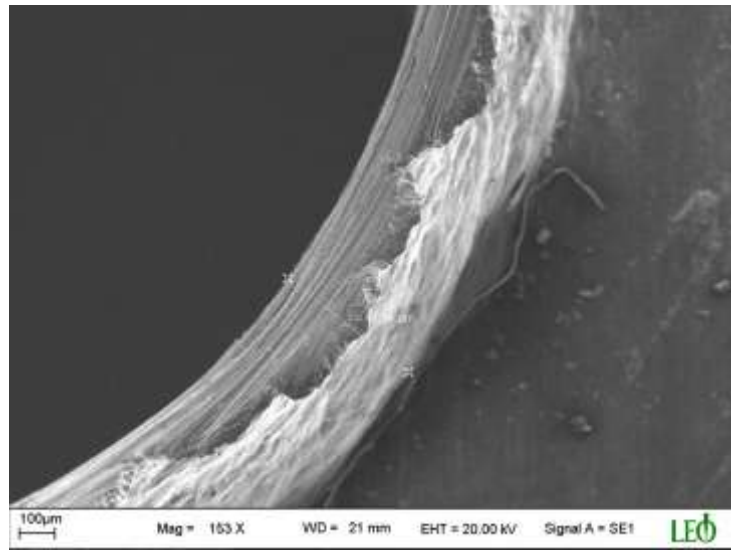
Şekil 3.61. Ø5 mm, 140° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 0.1 mm/ dev

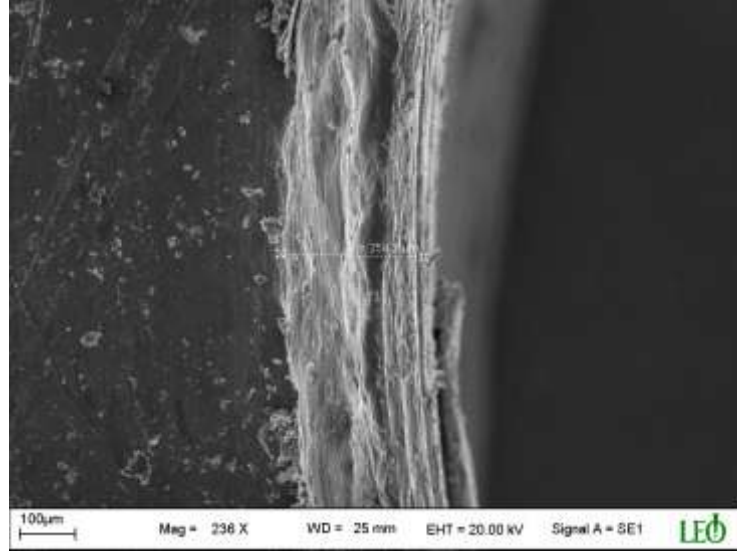


b) 0.2 mm/ dev

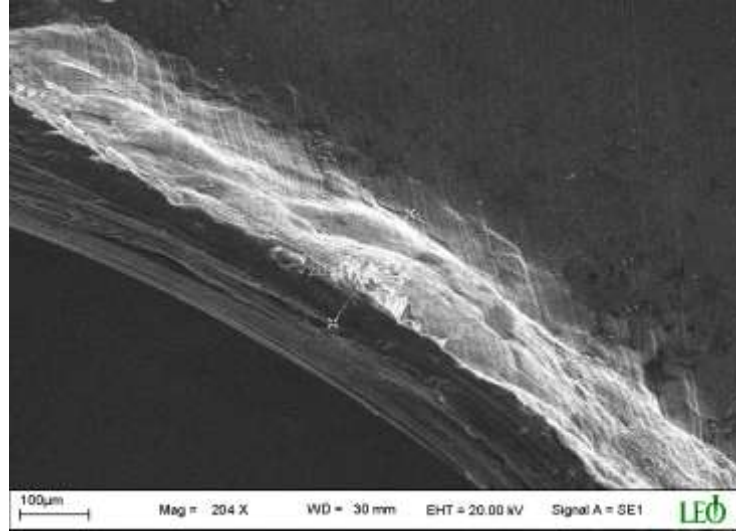


c) 0.3 mm/ dev

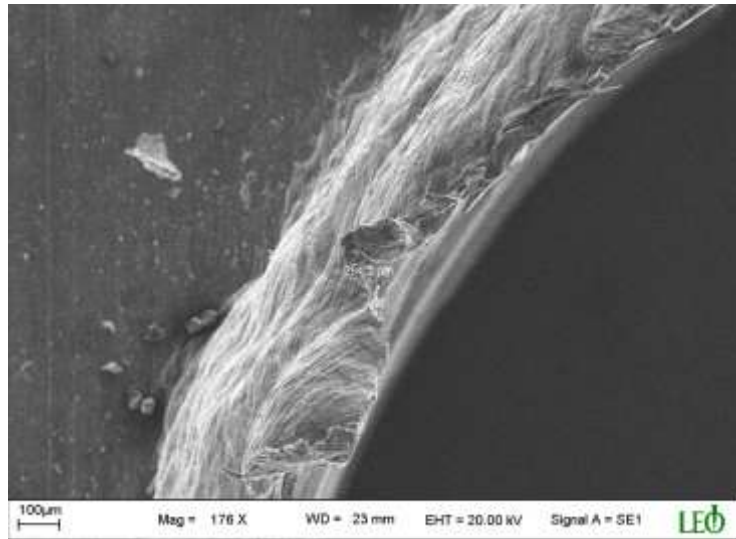
Şekil 3.62. Ø10 mm, 90° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 0.1 mm/ dev

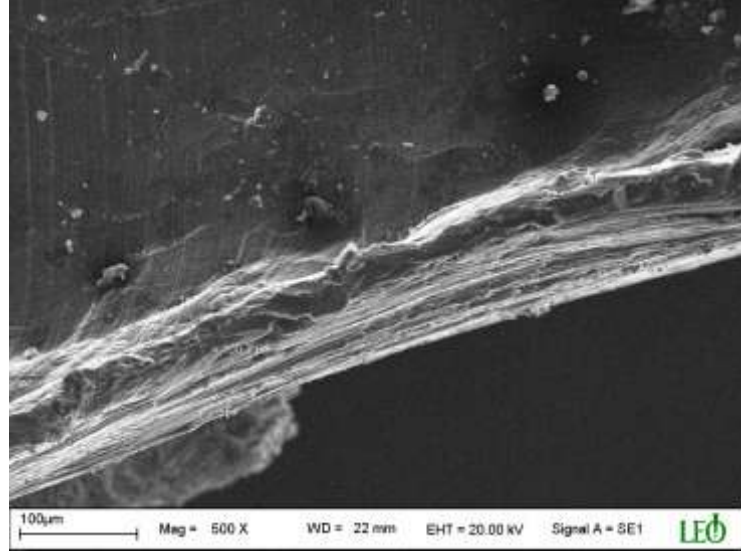


b) 0.2 mm/ dev

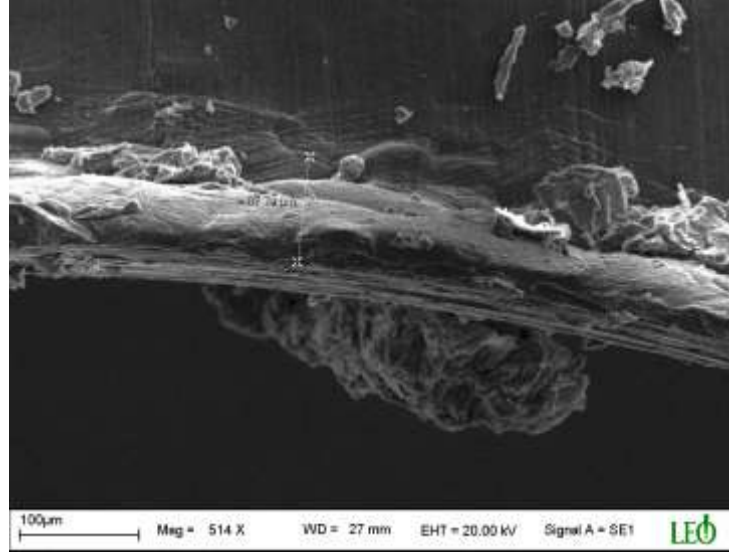


c) 0.3 mm/ dev

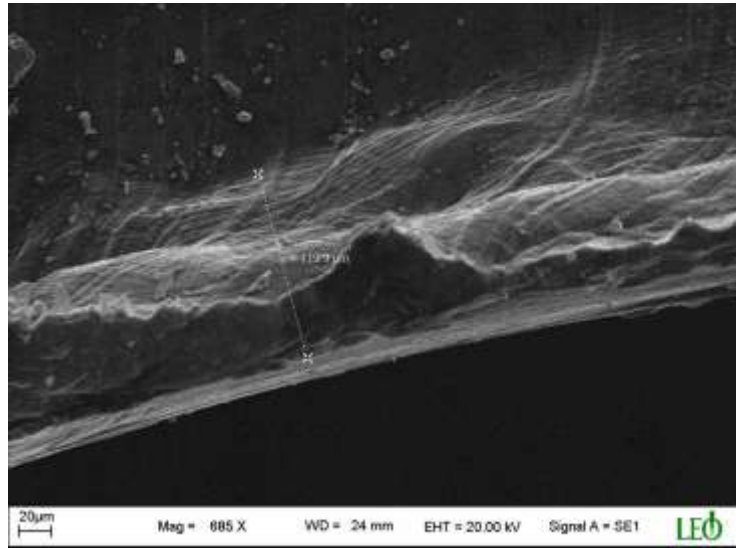
Şekil 3.63. Ø10 mm, 118° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 0.1 mm/ dev

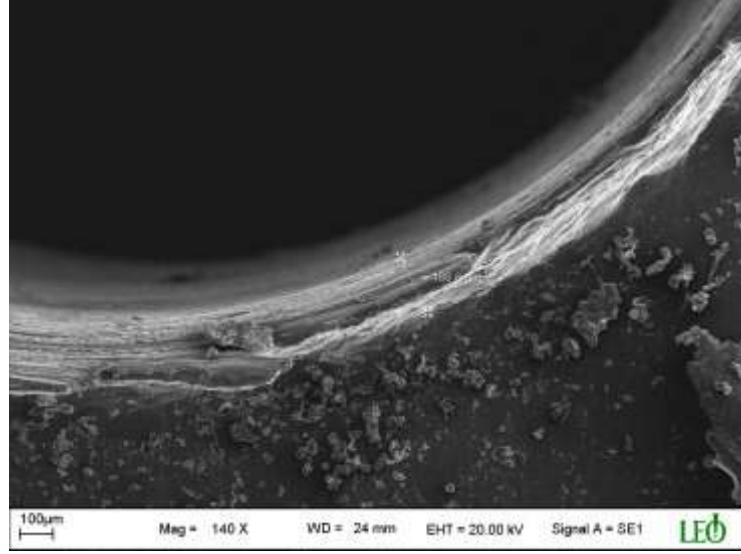


b) 0.2 mm/ dev

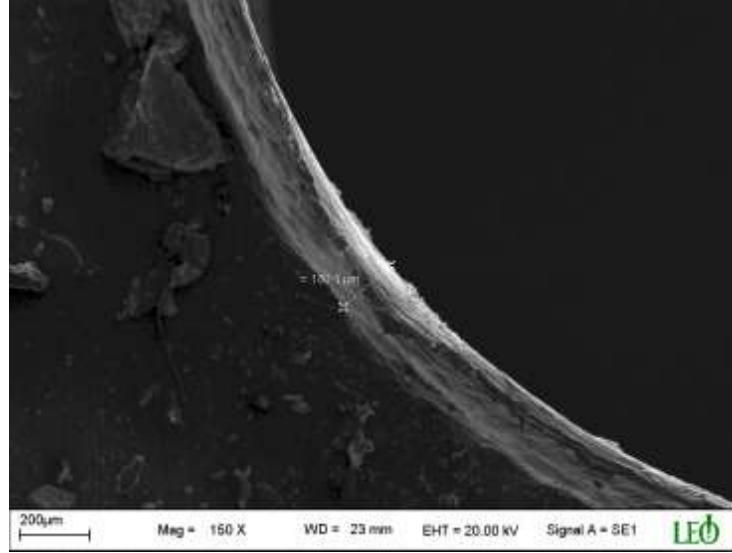


c) 0.3 mm/ dev

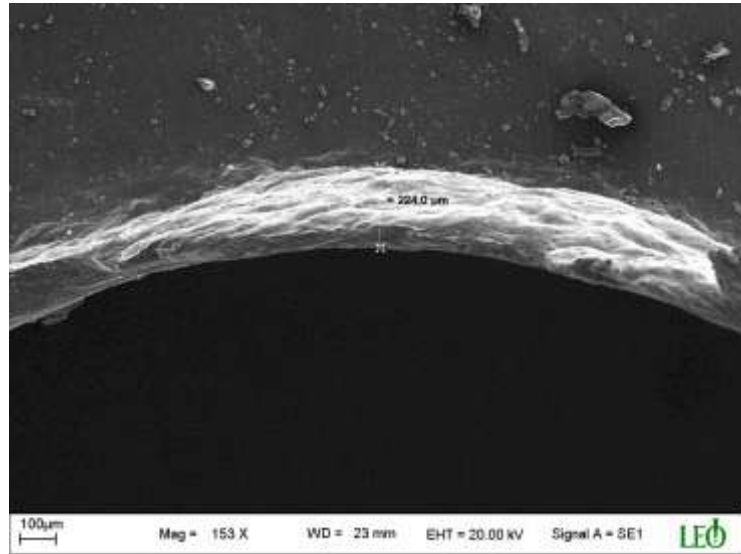
Şekil 3.64. Ø10 mm, 130° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



a) 0.1 mm/ dev



b) 0.2 mm/ dev

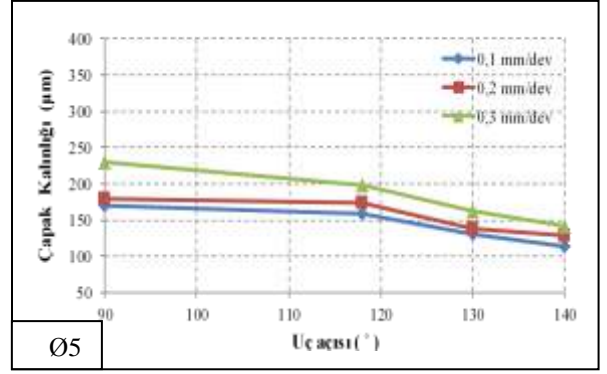
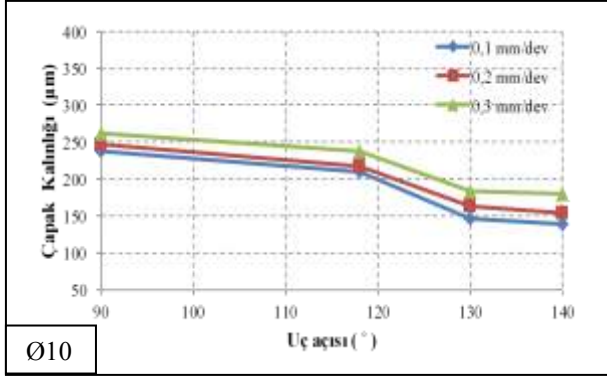


c) 0.3 mm/ dev

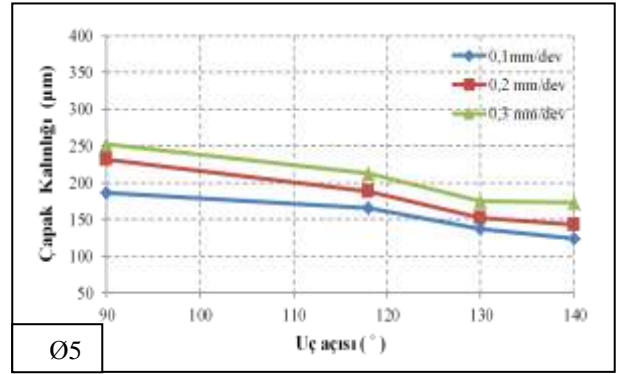
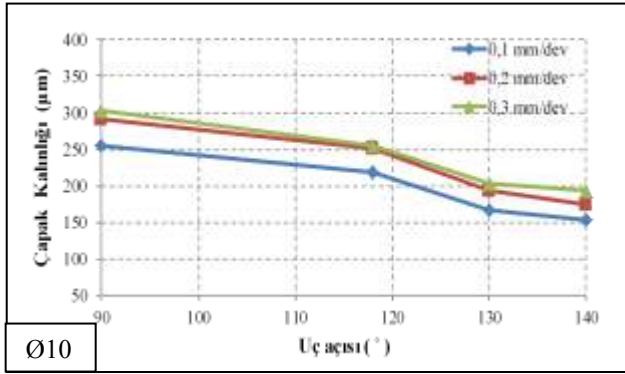
Şekil 3.65. Ø10 mm, 140° ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri

3.4.3. Uç açısının Çapak Kalınlığı Üzerine Etkisi

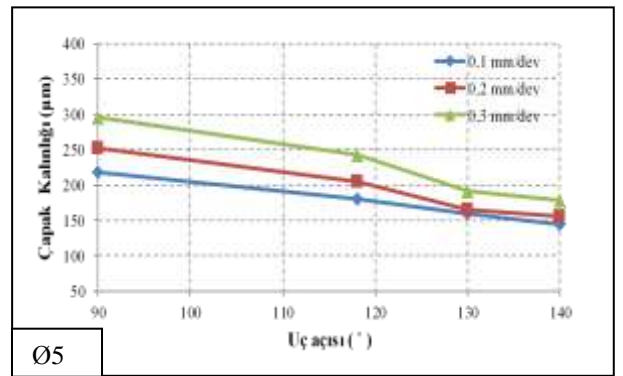
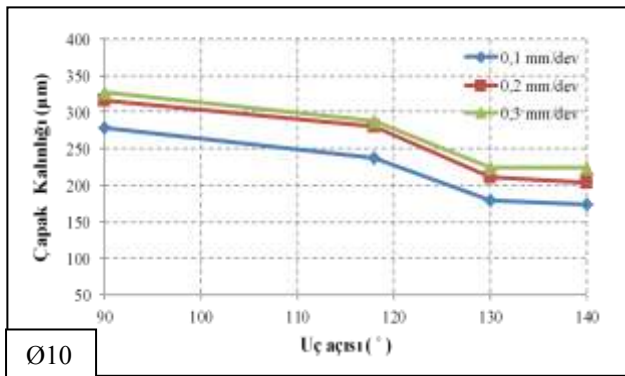
Bu bölümde ise delme parametrelerine göre uç açısının oluşan çapak kalınlıklarına etkisi incelendi. Bunun için Tablo 3.4'den faydalanarak aşağıdaki grafikleri çizildi (Şekil 3.66).



a) 400 dev/dak



b) 800 dev/dak



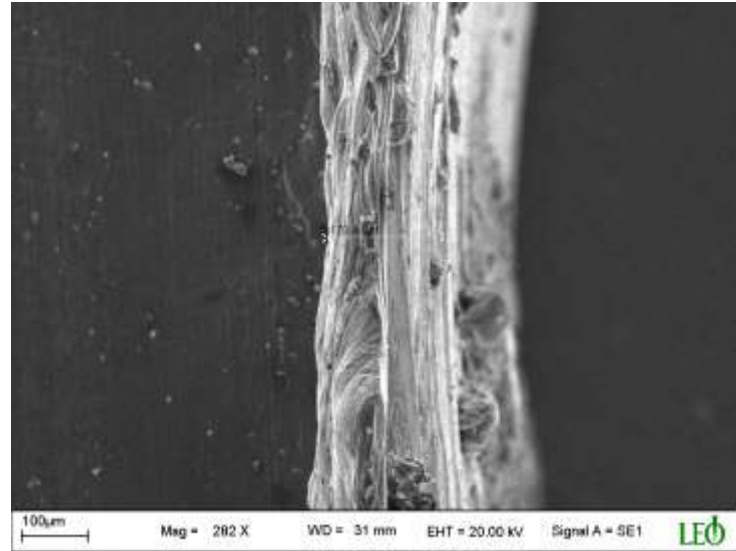
c) 1200 dev/dak

Şekil 3.66. Çapak kalınlıklarının matkap uç açısına göre değişimleri

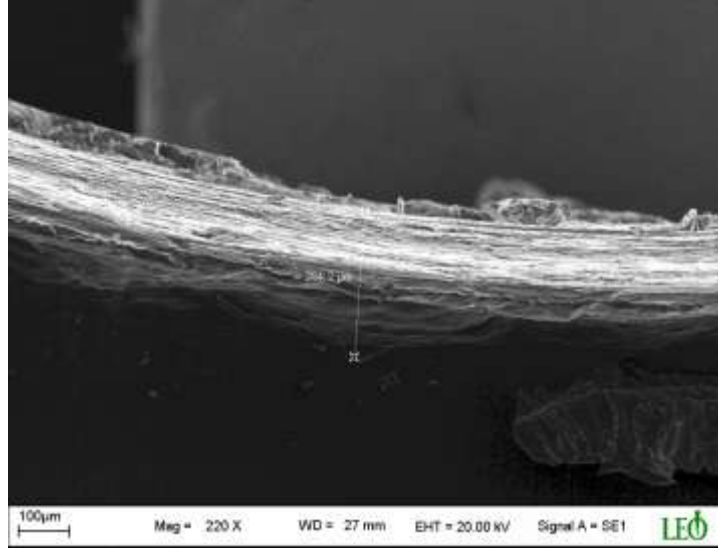
Grafikler incelendiğinde 90°'lik uç açısına sahip matkap ile yapılan deneylerde oluşan çapak kalınlıklarının diğer uç açıları (118°, 130° ve 140°) ile yapılan deneylerde oluşan çapak kalınlıklarından daha büyük olduğu görülmektedir (Şekil 3.66 a, b, c). Bunun sebebi daha önce de bahsedildiği gibi 90°'lik uç açısına sahip matkabın kesme ağzının uzunluğu diğer uç açılarından daha büyük olması ve daha fazla sürtünmenin oluşmasına sebep olması şeklinde açıklanabilir. Bu durum açığa çıkan ısı miktarını artırarak ve daha çok plastik deformasyon bölgesinin oluşmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde, uç açısı küçüldükçe kesici ağız önünde deformasyona uğrayan miktar arttığından çapak kalınlığı da artmaktadır (Şekil 3.67-3.72).

Ayrıca uç açısı azaldıkça radyal kuvvetin artması matkabın delik çıkış bölgesinde deformasyon miktarını artırarak kesme işlemine maruz kalmayan son tabakanın daha geniş alanlara yayılmasına neden olmaktadır. Bu durum Şekil 3.67-3.72-a'daki SEM görüntülerinde de açıkça görülmektedir.

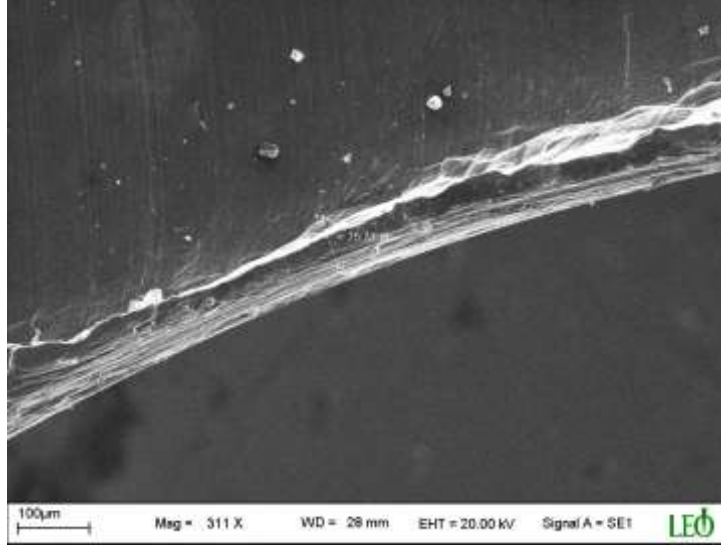
Yine, Ø10 mm'lik matkap ile yapılan delme işleminde meydana gelen çapak kalınlığının Ø5 mm'lik matkaba göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.66 a, b, c, d). Bu durum da benzer şekilde kesici ağız temas alanı ve kesici ağız önünde deformasyona uğrayan talaş miktarının artması şeklinde açıklanabilir.



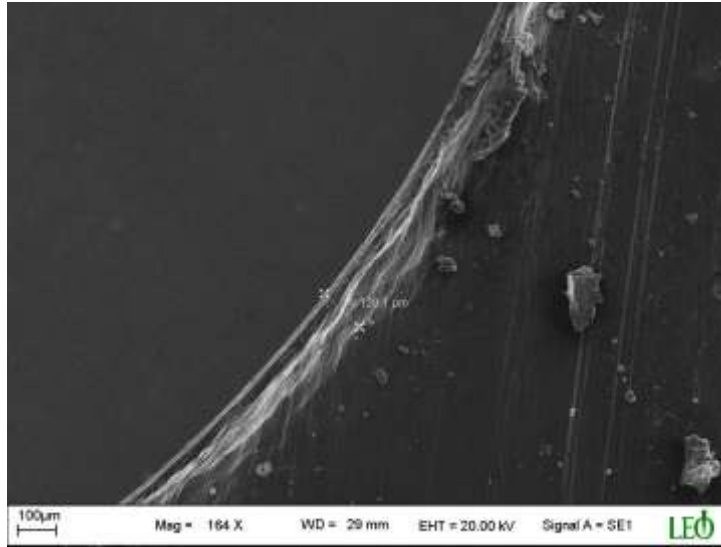
a) 90°



b) 118°

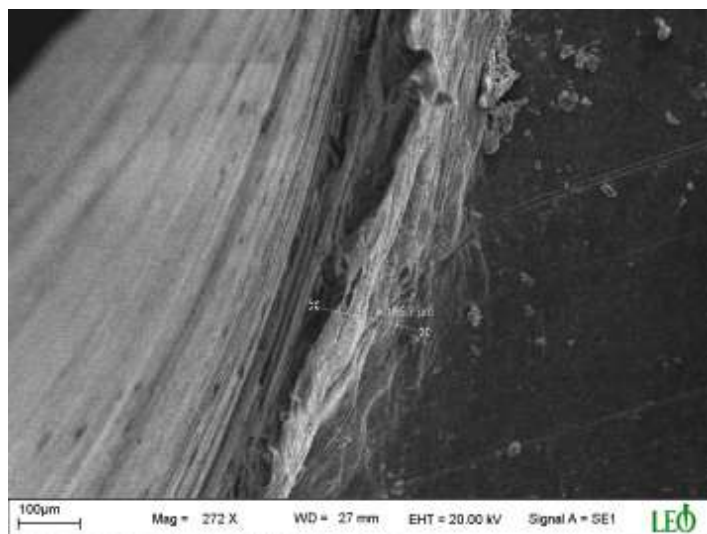


c) 130°

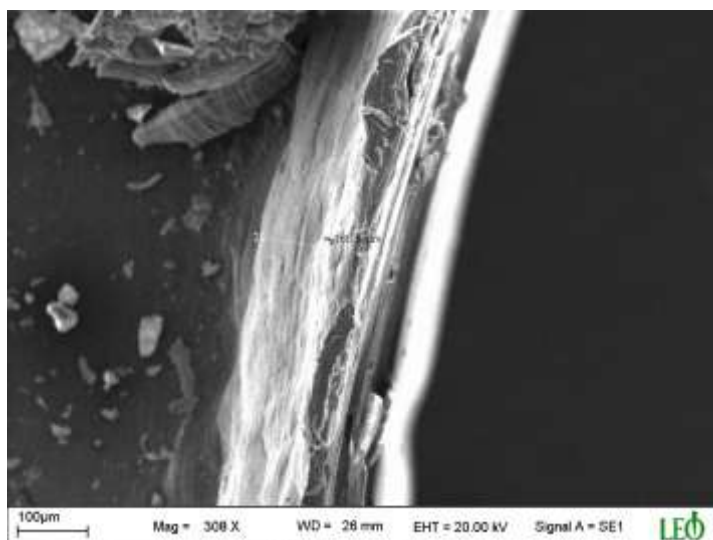


d) 140°

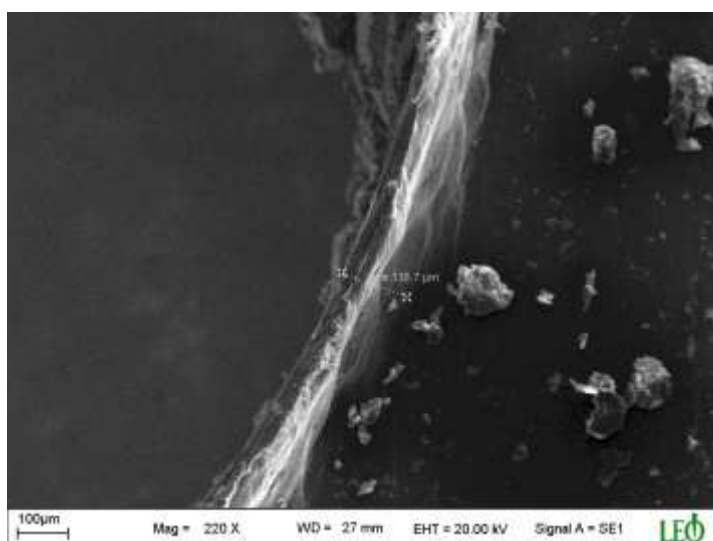
Şekil 3.67. Ø5 mm, 0.1 mm/dev ve 400 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



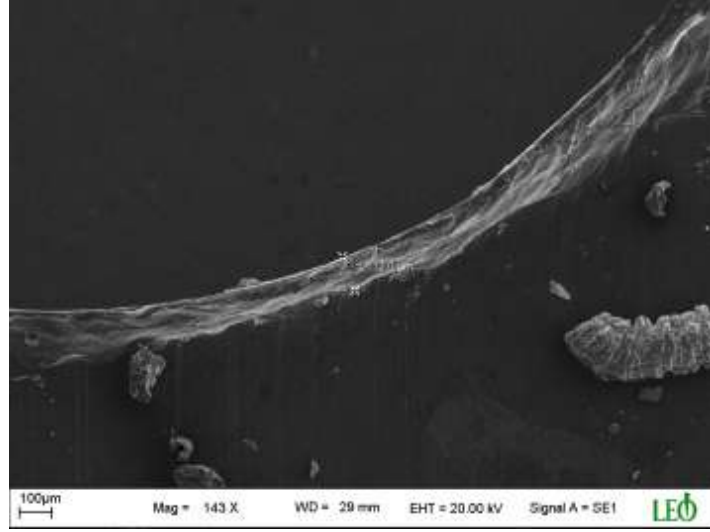
a) 90°



b) 118°

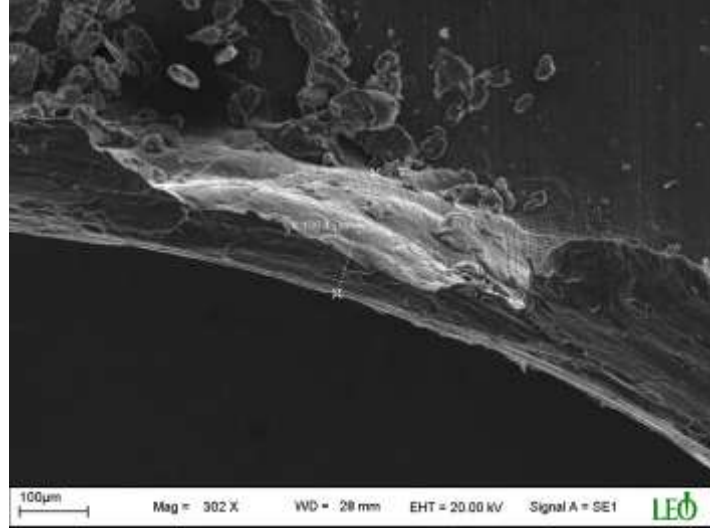


c) 130°

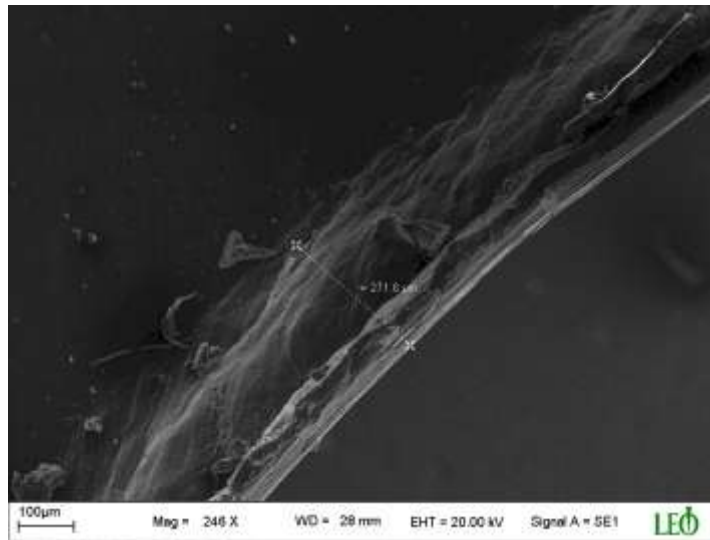


d) 140°

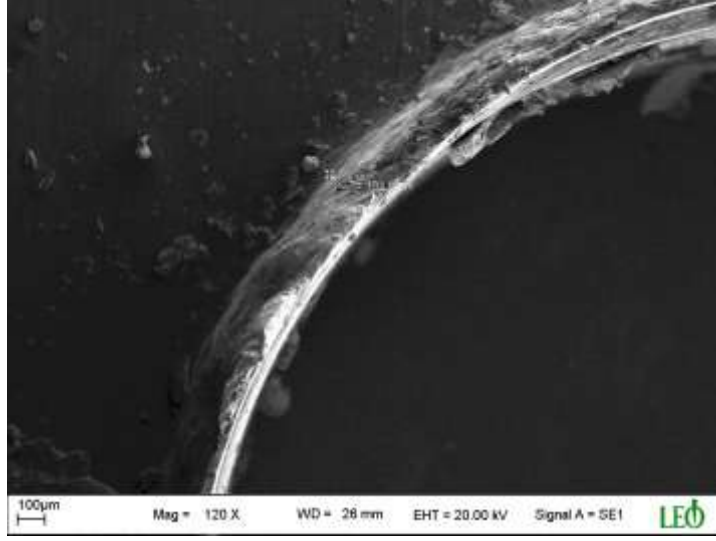
Şekil 3.68. Ø5 mm, 0.2 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



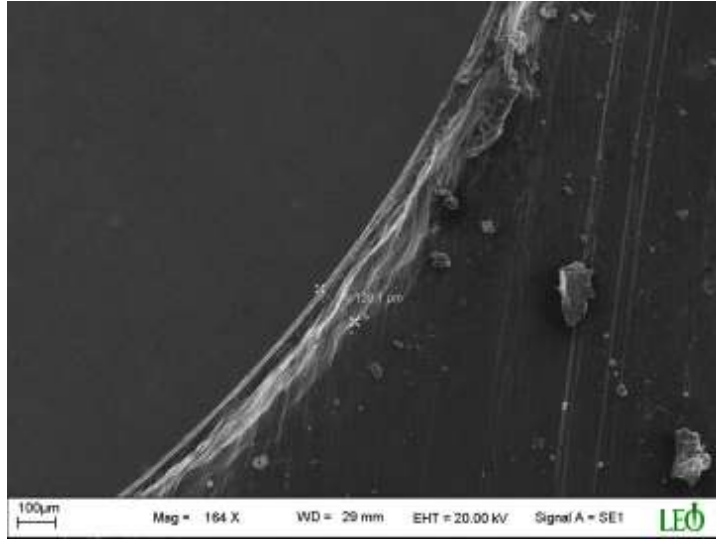
a) 90°



b) 118°

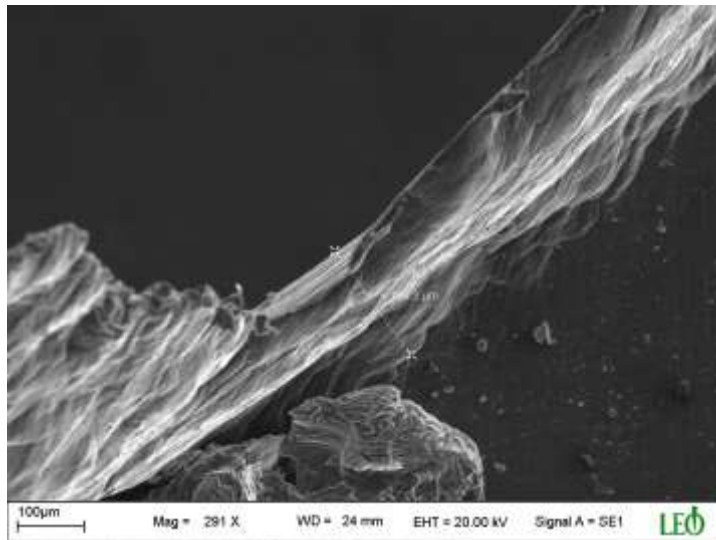


c) 130°

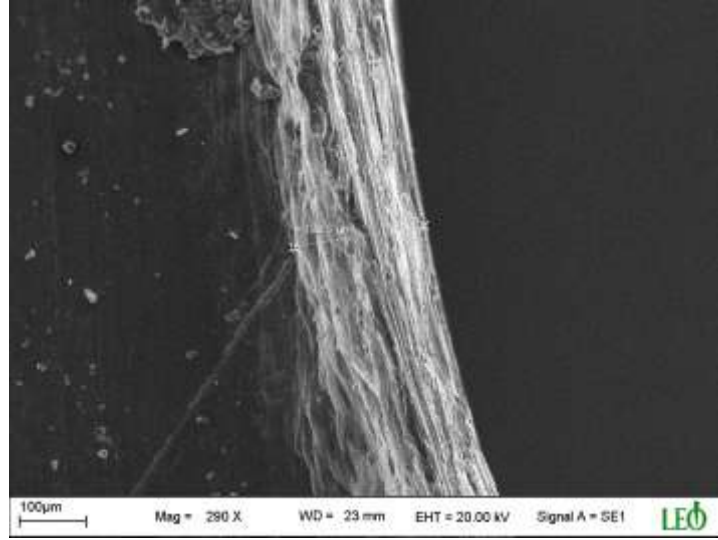


d) 140°

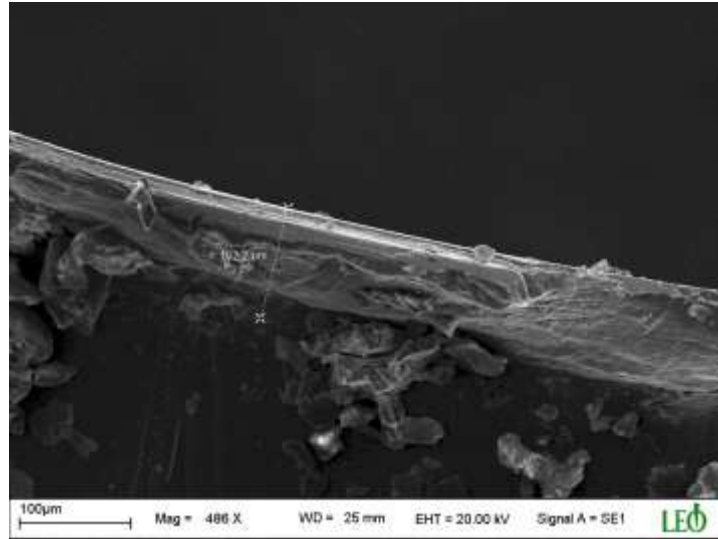
Şekil 3.69. Ø5 mm, 0.3 mm/dev ve 1200 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



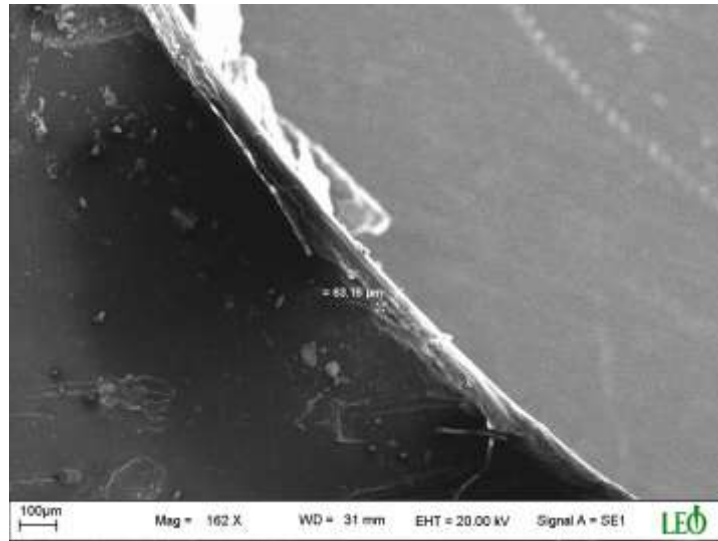
a) 90°



b) 118°

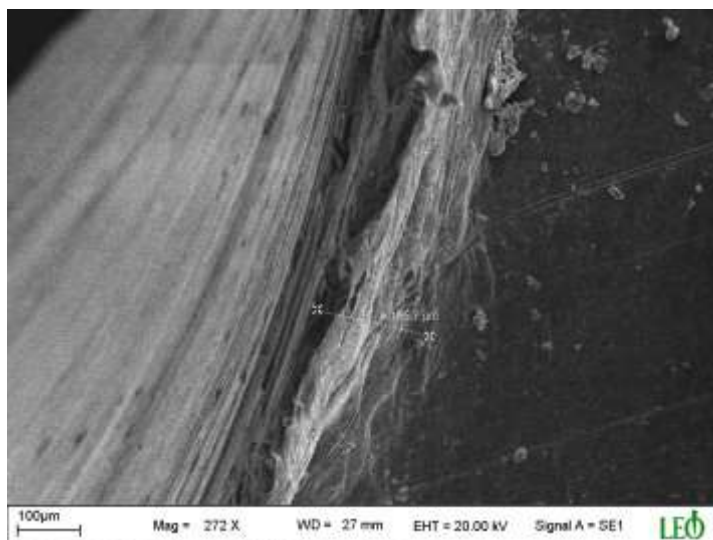


c) 130°

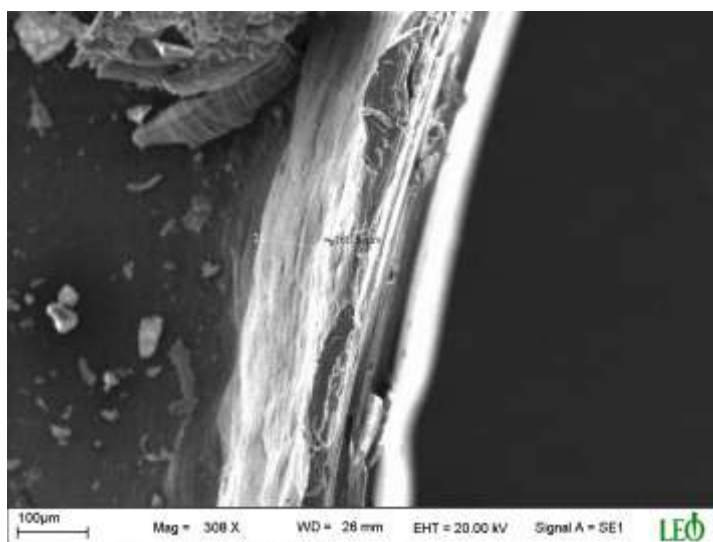


d) 140°

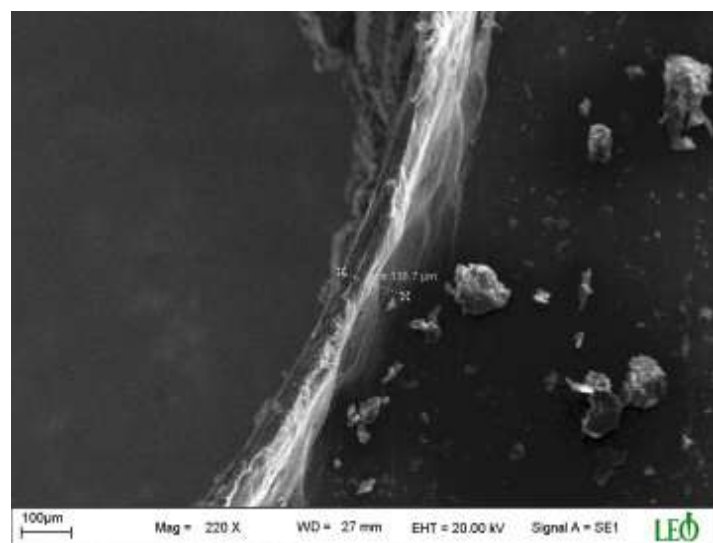
Şekil 3.70. Ø5 mm, 0.1 mm/dev ve 400 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



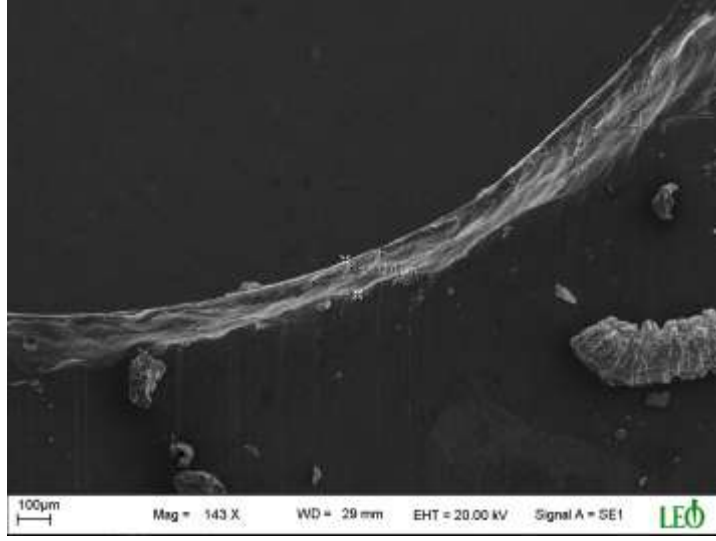
a) 90°



b) 118°

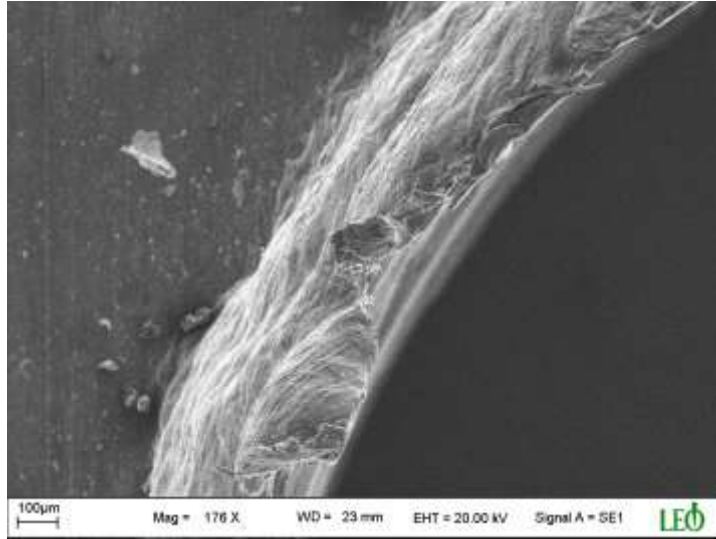


c) 130°

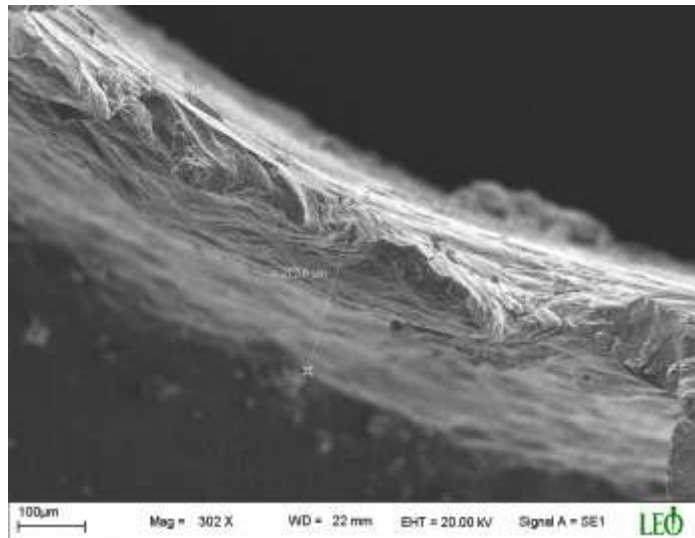


d) 140°

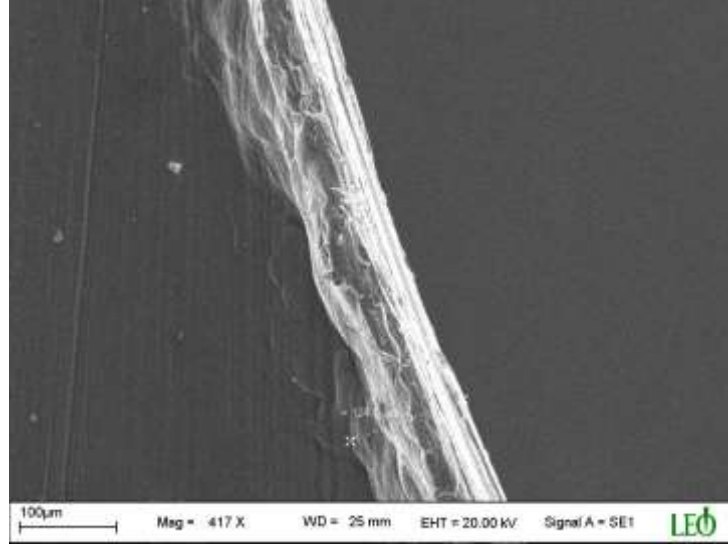
Şekil 3.71. Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri



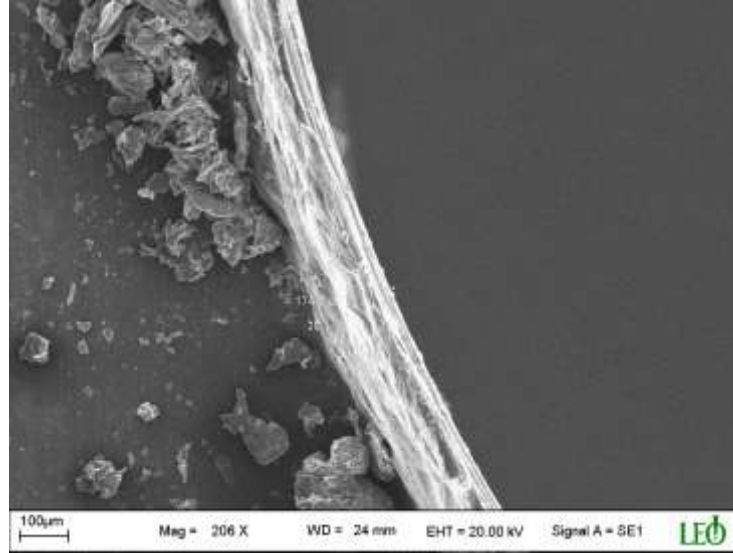
a) 90°



b) 118°



c) 130°



d) 140°

Şekil 3.72. Ø10 mm, 0.3 mm/dev ve 1200 dev/dak için çapak kalınlıklarının SEM görüntüleri

3.5. Delme Parametrelerinin Çapak Şekli Üzerine Etkisi

Delme işlemleri sonrası delik çıkışında meydana gelen çapaklar boyutsal hassasiyette hatalara yol açmaktadır. Bu çapaklar, makine elemanların montajında, sıkışma, sapma ve boşluk gibi birçok hatalara neden olmaktadır. Sert ve kırılğan çapaklar, çatlak başlangıcına sebep olarak malzemenin yorulma dayanımını önemli derecede etkilemektedir [53-62]. Çapaklardan kaynaklanan kırıntı parçacıklar, hareketli makine elemanlarında büyük hasarlara da yol açmaktadır. Bunun yanı sıra, çapaklardaki keskin kenarlar işçi güvenliği açısından tehlikelere, elektriksel kısa devrelere ve arızalara yol açabilmektedir.

Dolayısıyla, oluşan çapakların temizlenmesi için ikincil bir bitirme işlemine ihtiyaç duyulmaktadır [59-61]. Çapak temizleme işlemi, parça üretiminde genellikle son işlemdir. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki, çapakların elle alınması işlemi, çapağın şekline bağlı olarak büyük zaman ve maliyete neden olmaktadır [33-35]. Bu nedenlerden dolayı çapak şeklinin belirlenmesi önemlidir. Çapaklar daha önceki araştırma sonuçlarına göre üniform çapak, yarı sürekli çapak ve taç çapak olmak üzere üç şekilde ayrılmıştır [3-33, 53-62].

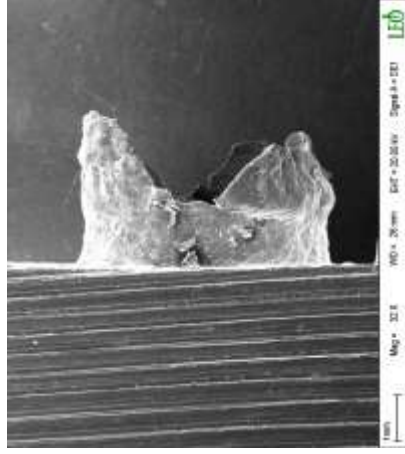
Bu çalışmada da tüm bu nedenler dikkate alınarak deney malzemesi olarak seçilen Al-5005 malzemesinde delme işleminde oluşan çapak şekilleri aşağıdaki bölümlerde sunuldu.

3.5.1. Devir Sayısının Çapak Şekli Üzerine Etkisi

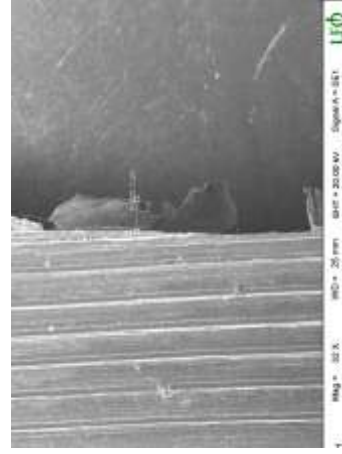
Bu bölümde, yapılan delme deneyleri sonrasında delme parametrelerine göre devir sayısının oluşan çapak şekillerine etkisi incelendi. Bunun için Bölüm 2.4’de belirtildiği gibi Leica MZ 7.5 marka mikroskop ve Leo Evo 40 marka SEM cihazı kullanılarak çapak görüntüleri alındı.

Delik çıkış bölgesinden alınan görüntüler incelendiğinde, devir sayısının 400, 800 ve 1200 dev/dak olması durumunda çapak şeklinde çok büyük bir değişimin olmadığı görülmektedir (Şekil 3.73-3.80-a, b ve c). Bu şekiller incelendiğinde genelde çapak şekillerinin birbirine benzediği ancak devir sayısının artmasına bağlı olarak kesilemeyerek delik çevresinde oluşan çapak miktarının daha yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 3.73-3.80- c). Bu durum Bölüm 3.3.1’de belirtildiği gibi devir sayısının artmasına bağlı olarak sıcaklığın artmasından [92,93] kaynaklanmaktadır. Artan ısı miktarı kesme bölgesinde malzemenin sünekliliğini artırdığından [92,93] delik çıkışına doğru deformasyon miktarını artırmaktadır. Benzer şekilde matkap çapının da çapak şekline büyük bir etkisinin olmadığı, sadece delik çevresinde deformasyona uğramış miktarın artmasına neden olduğu görülmektedir (Şekil 3.77-3.80-a, b ve c).

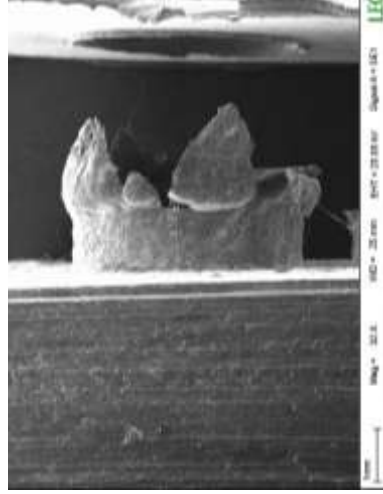
Yine, bu bölümde Şekil 3.73-3.80-a, b ve c’deki SEM görüntüleri deney parametrelerinin fazla olması ve fotoğraf tekrarından kaçınmak için tüm kesme parametrelerinden elde edilen görüntüler verilmedi. Bu bölümde çapak şekillerinin devir sayısına göre değişimin en belirgin elde edildiği delme parametreleri dikkate alınarak verildi.



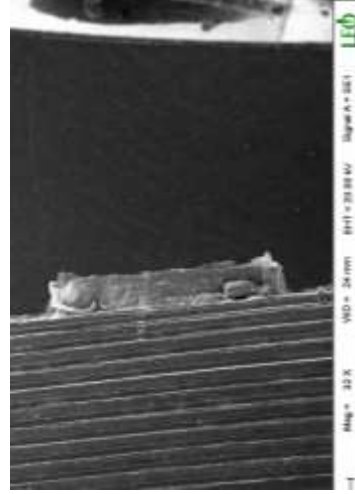
a) 400 dev/dak



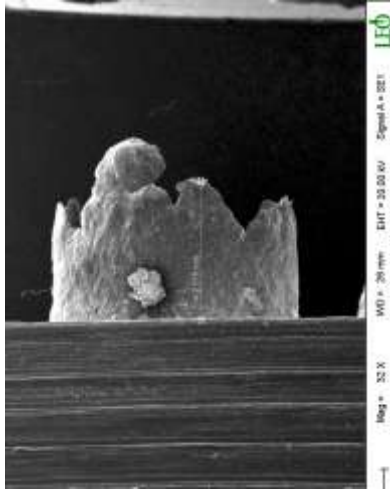
a) 400 dev/dak



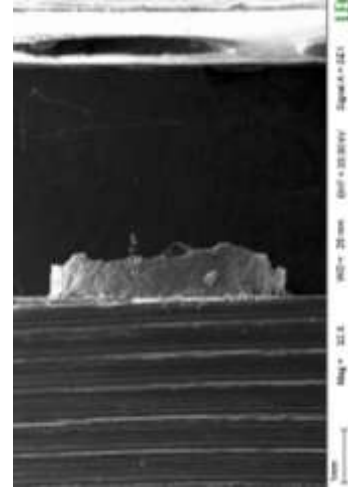
b) 800 dev/dak



b) 800 dev/dak



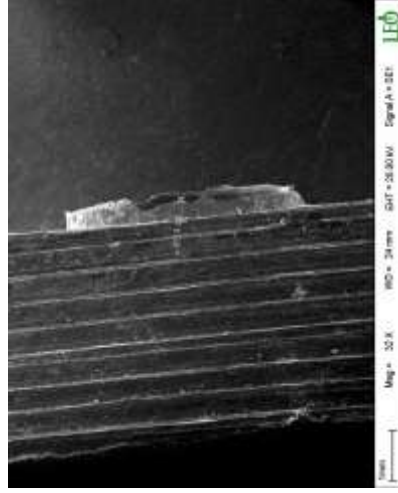
c)1200 dev/dak



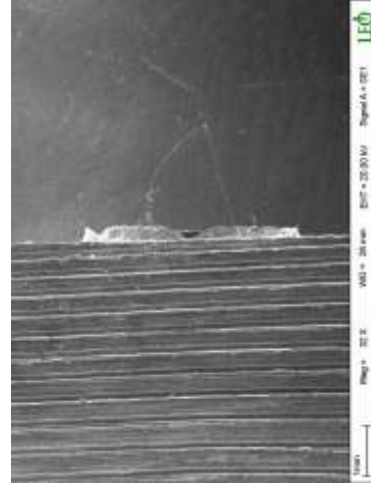
c)1200 dev/dak

Şekil 3.73. Ø5 mm, 0.3 mm/dev ve 90° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri

Şekil 3.74. Ø5 mm, 0.1 mm/dev ve 118° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri



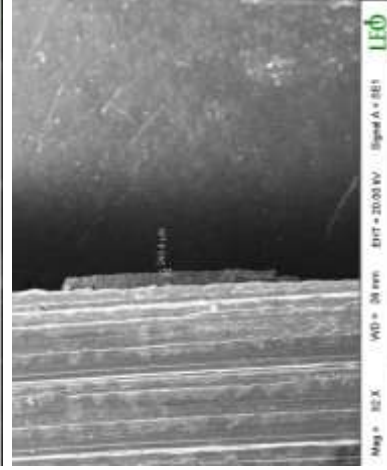
a) 400 dev/dak



a) 400 dev/dak



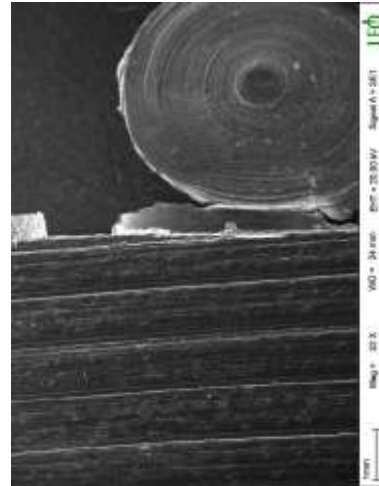
b) 800 dev/dak



b) 800 dev/dak



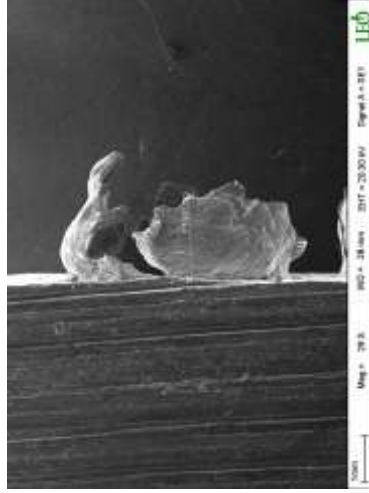
c)1200 dev/dak



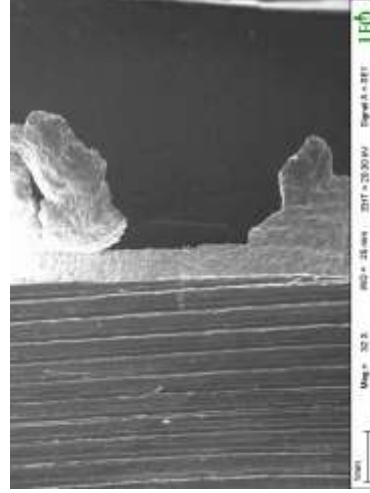
c)1200 dev/dak

Şekil 3.75. Ø5 mm, 0.1 mm/dev ve 130° için
çapak şekillerinin SEM görüntüleri

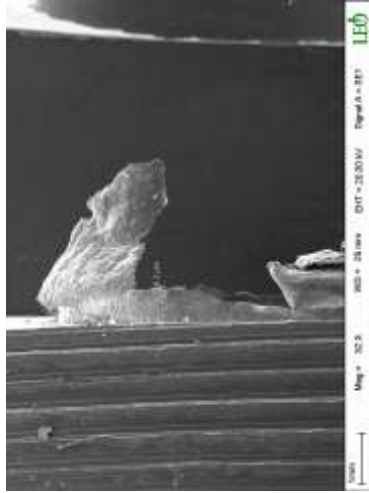
Şekil 3.76. Ø5 mm, 0.1 mm/dev ve 140° için
çapak şekillerinin SEM görüntüleri



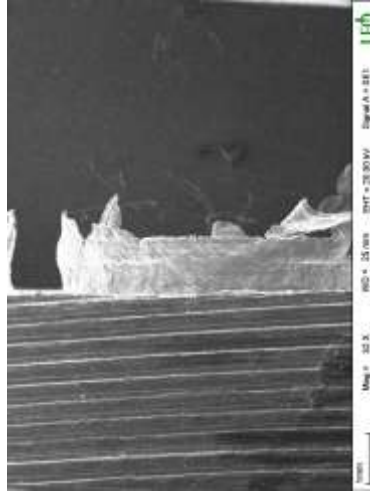
a) 400 dev/dak



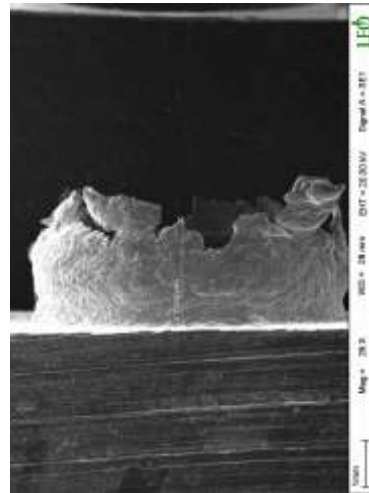
a) 400 dev/dak



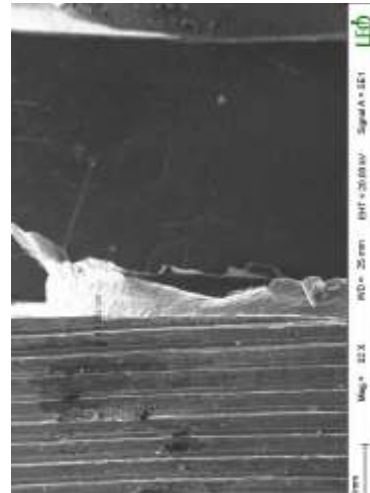
b) 800 dev/dak



b) 800 dev/dak



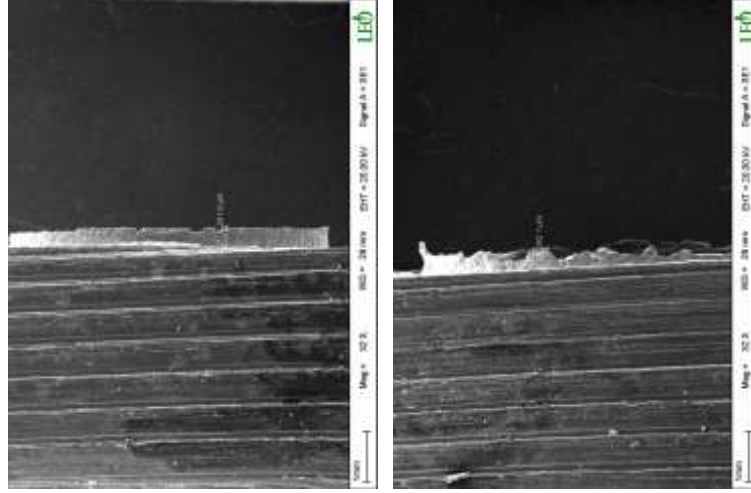
c)1200 dev/dak



c)1200 dev/dak

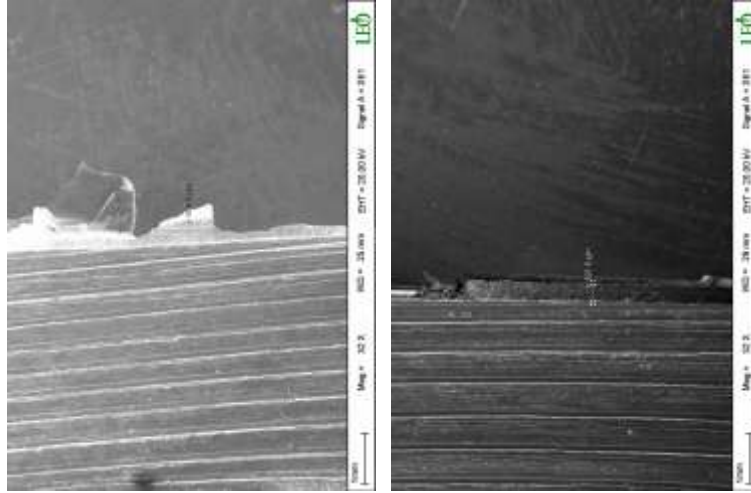
Şekil 3.77. Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 90° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri

Şekil 3.78. Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 118° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri



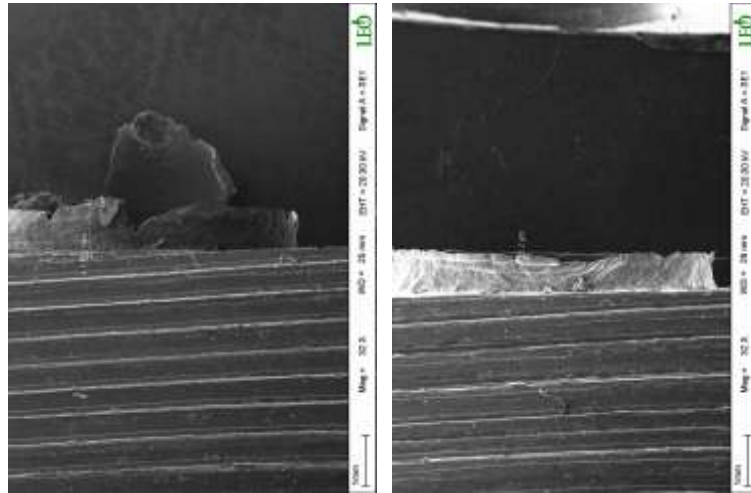
a) 400 dev/dak

a) 400 dev/dak



b) 800 dev/dak

b) 800 dev/dak



c)1200 dev/dak

c)1200 dev/dak

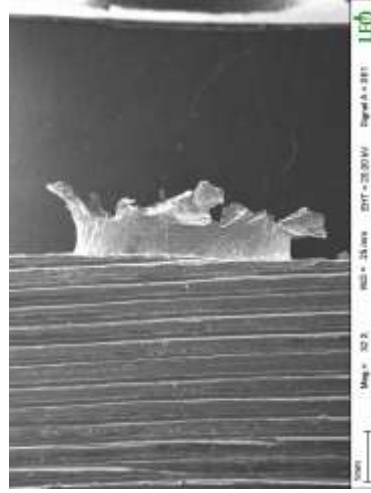
Şekil 3.79. Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 130° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri

Şekil 3.80. Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 140° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri

3.5.2. İlerlemenin Çapak Şekli Üzerine Etkisi

Bu bölümde, yapılan delme deneyleri sonrasında delme parametrelerine göre ilerlemenin oluşan çapak şekillerine etkisi incelendi. Bu bölümde de önceki bölümlerde olduğu gibi deney parametrelerinin fazla olması nedeniyle tezde gereksiz yere şekil tekrarından kaçınmak için her bir delme parametresine göre elde edilen çapak şekilleri verilmedi. Sadece konuyu açıkça ifade eden şekiller verildi.

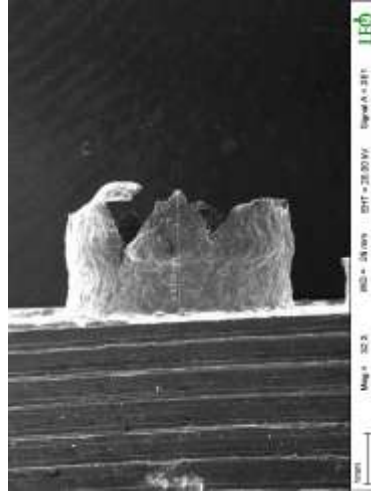
Delik çıkış bölgesinden alınan görüntüler incelendiğinde, ilerlemedeki değişiminin çapak şekilleri üzerinde çok büyük etkisinin olduğu görülmektedir (Şekil 3.81-3.88-a, b ve c). Genel olarak matkap uç açısının 90° olması durumunda taç çapak ile yarı sürekli çapak oluştuğu gözlemlenmektedir (Şekil 3.81 ve 3.85' a, b, c). Matkap uç açısının 118° olması durumunda ise genelde yüksek ilerleme değerlerinde (0.3 mm/dev) taç çapak ile yarı sürekli çapak oluşurken ilerlemenin azalması durumunda ise çapak şekillerinin yarı sürekli çapak ile üniform çapak şekilleri arasında bir değişim gösterdiği görülmektedir (Şekil 3.32, 3.36, 3.82 ve 3.86'a, b ve c). Bunun sebebi ise yine Bölüm 3.3.2'de bahsedildiği gibi ilerleme miktarının artmasına bağlı olarak kesme bölgesinde meydana gelen plastik deformasyon miktarının ve kesilmeyen son tabakanın artması [53-62] ile açıklanabilir. Ayrıca matkap, deliğin çıkışına doğru ilerlerken plastik deformasyondan dolayı meydana gelen çıkıntı matkabın ilerlemesine bağlı olarak bütün yönlerde büyümekte ve genişlemektedir. Bu da çapağın kararsız bir hale gelmesine neden olmaktadır (Şekil 3.81, 3.82, 3.85 ve 3.86). Matkap uç açısının 130° ve 140° olması durumunda ise ilerleme miktarının çapak şekillerine büyük bir etkisinin olmadığı görülmektedir (Şekil 3.83, 3.84, 3.87 ve 3.88'a, b ve c). Ancak ilerlemenin artması delik çıkış bölgesinde oluşan kararlı çapağın boyutlarını artırmaktadır. Bunun sebebi de, benzer şekil de plastik deformasyon miktarının ve kesilmeyen son tabakanın artması [53-62] ile açıklanabilir (Şekil 3.82 ve 3.86-a, b ve c). Matkap çapının da çapak şekillerine büyük bir etkisinin olmadığı, sadece delik çevresinde yine deformasyona uğramış miktarın artmasına neden olduğu görülmektedir (Şekil 3.81-3.88-a, b ve c).



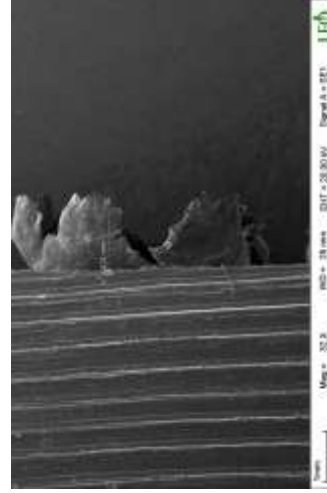
a) 0.1 mm/dev



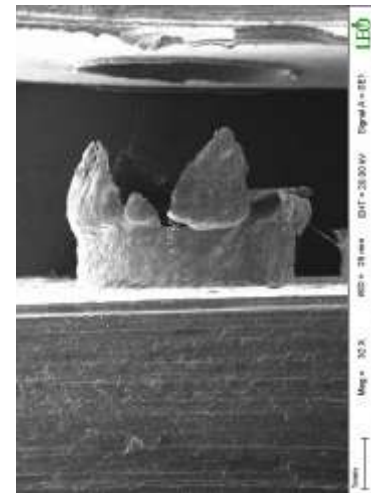
a) 0.1 mm/dev



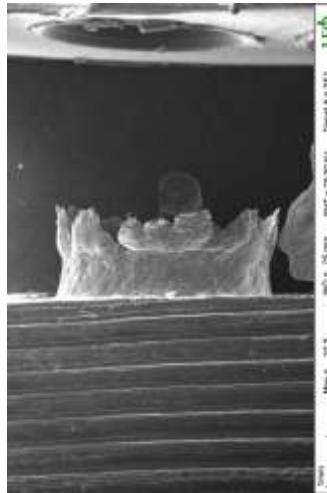
b) 0.2 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



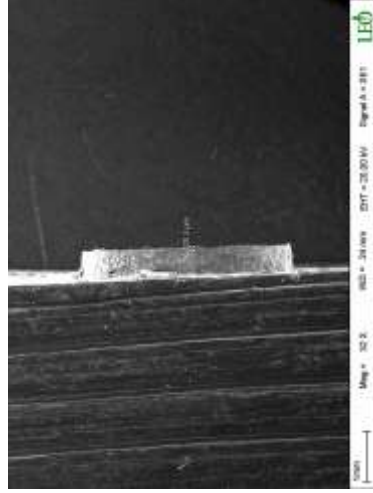
c) 0.3 mm/dev



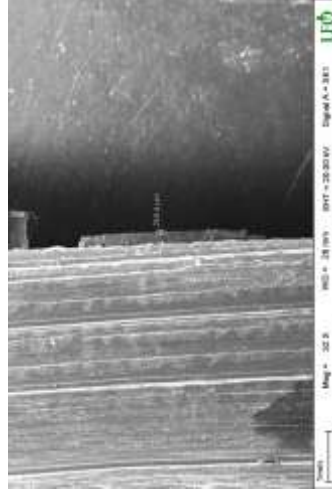
c) 0.3 mm/dev

Şekil 3.81. Ø5 mm, 800 dev/dak ve 90° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri

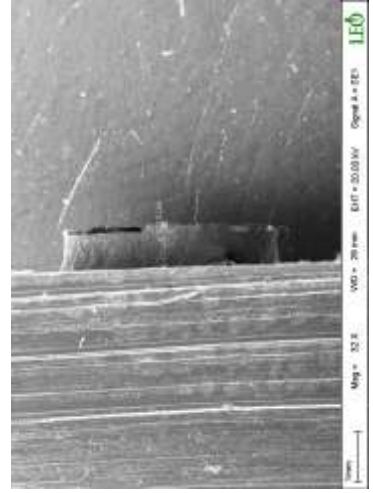
Şekil 3.82. Ø5 mm, 800 dev/dak ve 118° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri



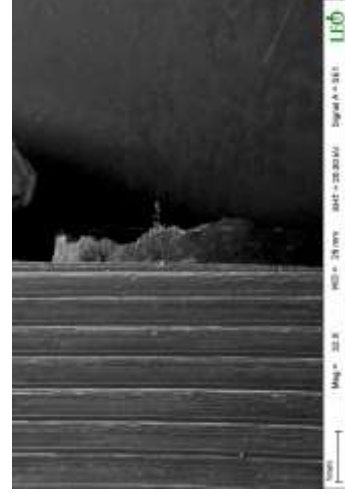
a) 0.1 mm/dev



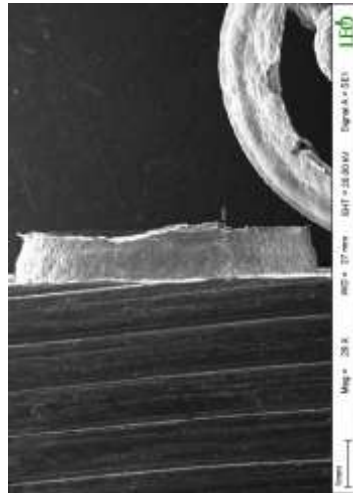
a) 0.1 mm/dev



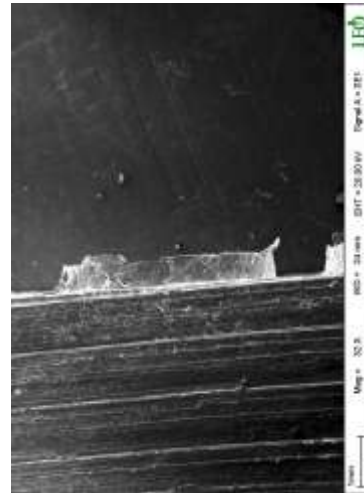
b) 0.2 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



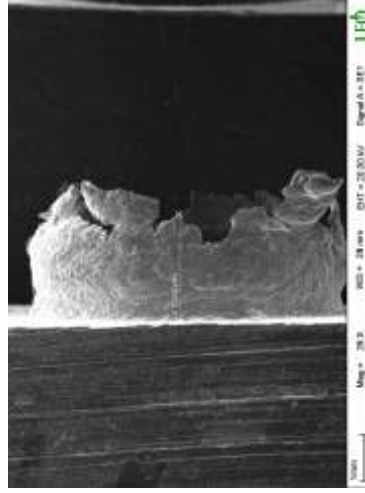
c) 0.3 mm/dev



c) 0.3 mm/dev

Şekil 3.83. Ø5 mm, 800 dev/dak ve 130° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri

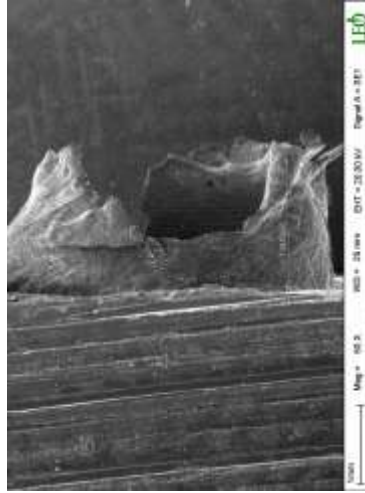
Şekil 3.84. Ø5 mm, 800 dev/dak ve 140° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri



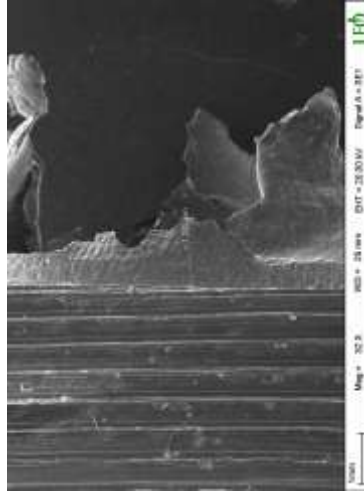
a) 0.1 mm/dev



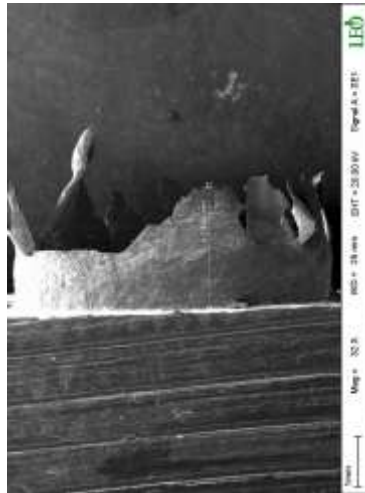
a) 0.1 mm/dev



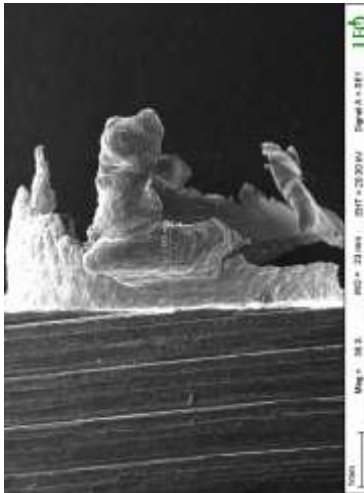
b) 0.2 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



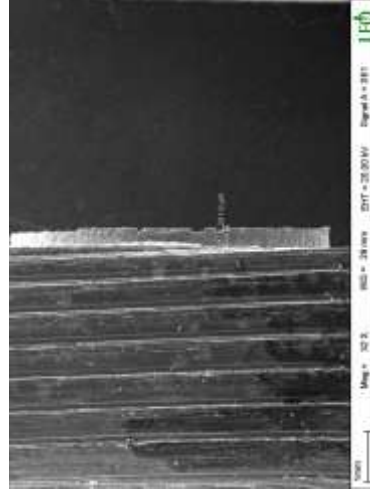
c) 0.3 mm/dev



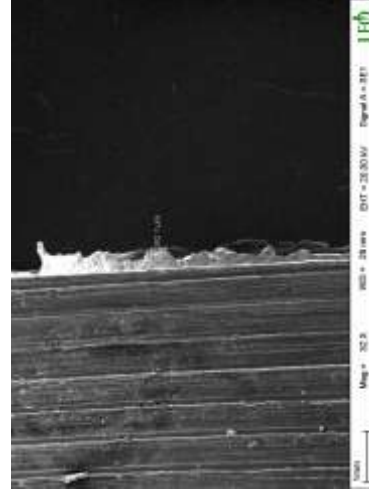
c) 0.3 mm/dev

Şekil 3.85. Ø10 mm, 1200 dev/dak ve 90° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri

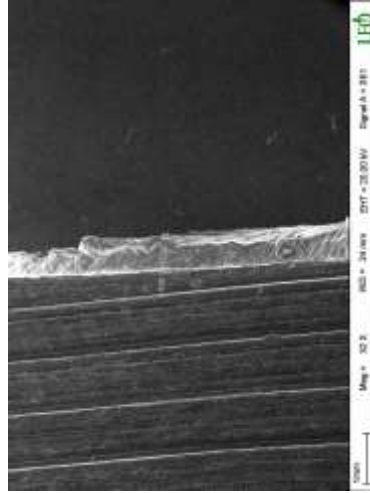
Şekil 3.86. Ø10 mm, 1200 dev/dak ve 118° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri



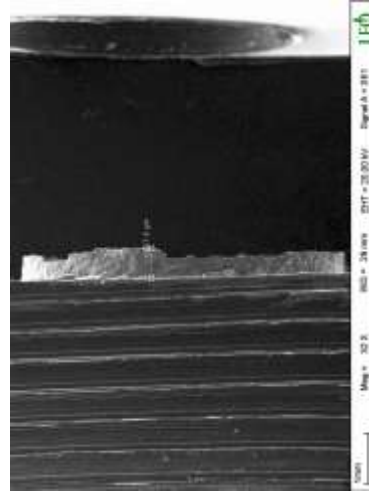
a) 0.1 mm/dev



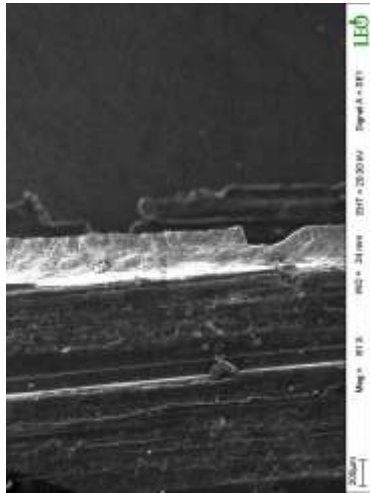
a) 0.1 mm/dev



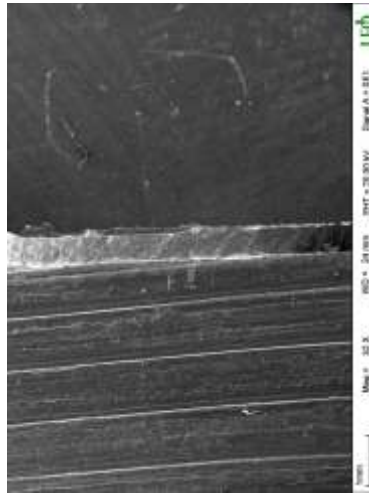
b) 0.2 mm/dev



b) 0.2 mm/dev



c) 0.3 mm/dev



c) 0.3 mm/dev

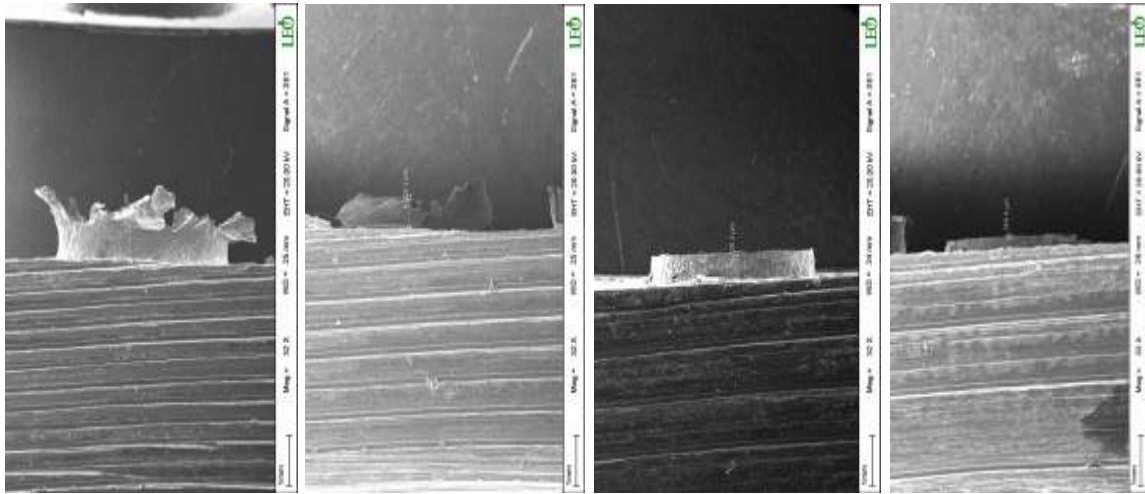
Şekil 3.87. Ø10 mm, 400 dev/dak ve 130° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri

Şekil 3.88. Ø10 mm, 400 dev/dak ve 140° için çapak şekillerinin SEM görüntüleri

3.5.3. Uç Açısının Çapak Şekli Üzerine Etkisi

Bu bölümde ise yapılan delme deneyleri sonrasında delme parametrelerine göre uç açısının oluşan çapak şekillerine etkisi incelendi. Bu bölümde de gereksiz yere şekil tekrarından kaçınmak için her bir devir sayısına göre elde edilen çapak şekilleri verilmedi. Yine, delik çıkış bölgesinden alınan görüntüler incelendiğinde, uç açısındaki değişimlerin çapak şekilleri üzerinde oldukça büyük etkisinin olduğu görülmektedir (Şekil 3.89-3.94). Matkap uç açısı arttıkça genel olarak çapak şeklinin taç çapaktan üniform çapağa doğru değiştiği görülmektedir (Şekil 3.89-3.94'a, b ve c). Bu durum uç açısı arttıkça kesme kenar uzunluğunun azalması ve buna bağlı olarak ilerlemedeki plastik deformasyon alanının azalması ile açıklanabilir. Tüm bunlarla beraber matkap uç açısının 90° olması durumunda matkabın deliğin çıkışında plastik deformasyondan dolayı meydana getirdiği çıkıntı bütün yönlerde büyüyerek genişlemekte ve çıkıntı maksimum noktasına kadar ulaştıktan sonra ilk kırılmanın deliğin ekseninde meydana gelmesindedir [32]. Matkap uç açısının 130° ve 140° olması durumunda ise ilk kırılmanın, kesme kenarında meydana gelmesindedir [32].

Ayrıca, matkap çapının da çapak şekline büyük bir etkisinin olmadığı, sadece delik çevresinde yine deformasyona uğramış miktarın artmasına neden olduğu görülmektedir (Şekil 3.89-3.94).



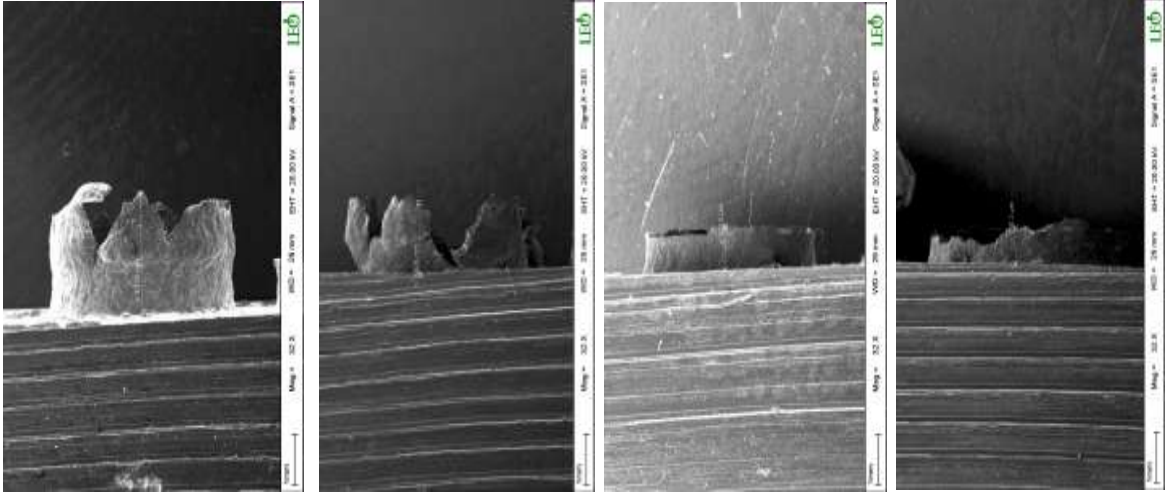
a)90°

b)118°

c)130°

d)140°

Şekil 3.89. Ø5 mm, 0.1 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak şekillerinin SEM görüntüleri



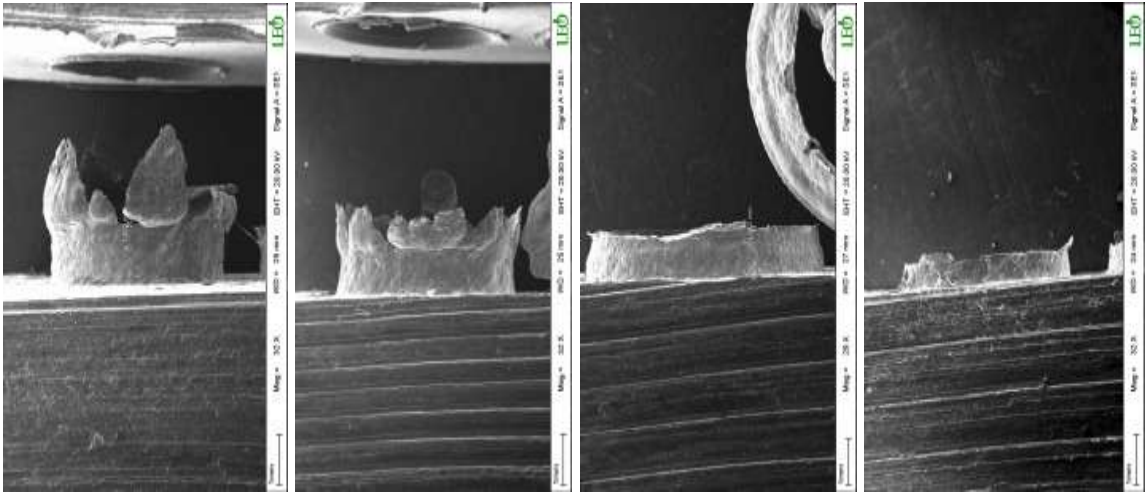
a)90°

b)118°

c)130°

d)140°

Şekil 3.90. Ø5 mm, 0.2 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak şekillerinin SEM görüntüleri



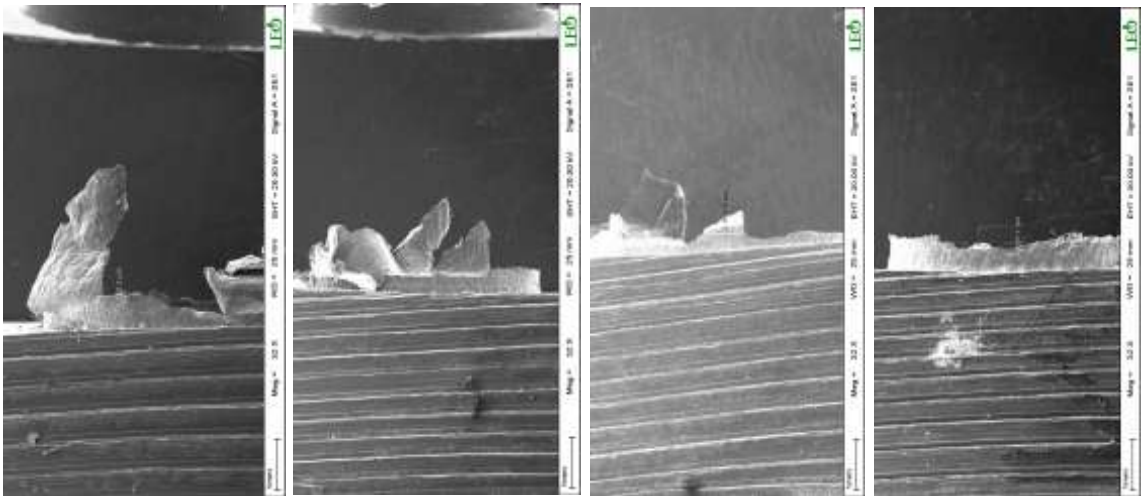
a)90°

b)118°

c)130°

d)140°

Şekil 3.91. Ø5 mm, 0.3 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak şekillerinin SEM görüntüleri



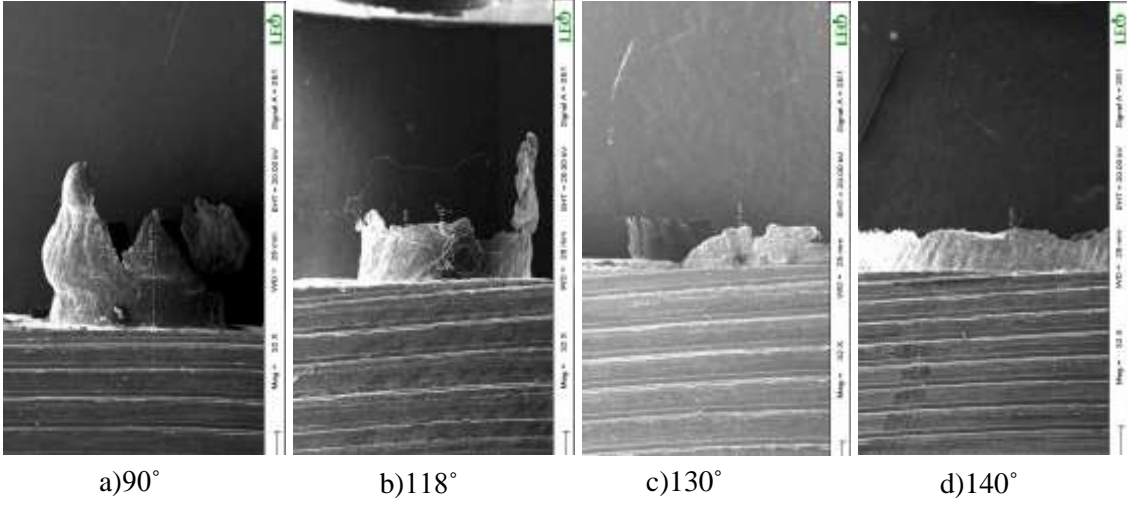
a)90°

b)118°

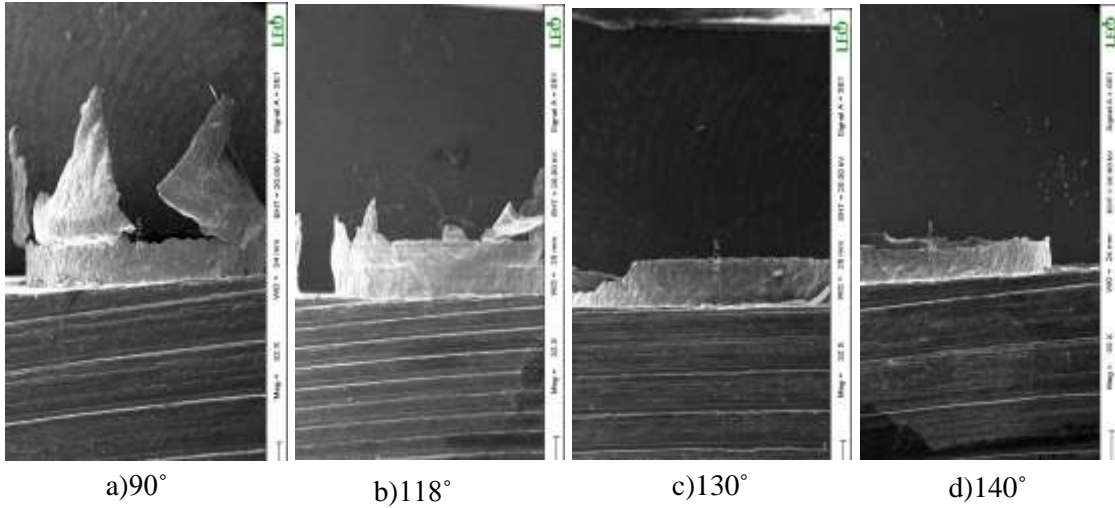
c)130°

d)140°

Şekil 3.92. Ø10 mm, 0.1 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak şekillerinin SEM görüntüleri



Şekil 3.93. Ø10 mm, 0.2 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak şekillerinin SEM görüntüleri

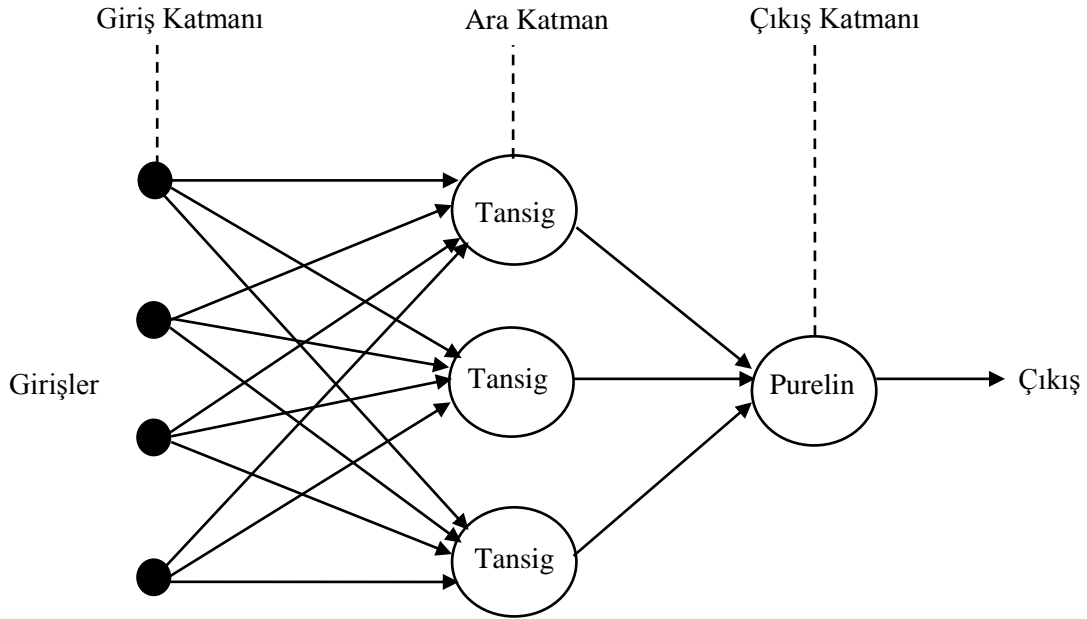


Şekil 3.94. Ø10 mm, 0.3 mm/dev ve 800 dev/dak için çapak şekillerinin SEM görüntüleri

Buraya kadar tüm deney sonuçları incelendiğinde genel olarak delme parametrelerindeki değişimlerin çapak boyutlarını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Ancak deney parametrelerindeki değişimler bazen çapak şekillerinde kararlı bir yapının çıkmasına bazen de kararsız bir yapının oluşmasına neden olduğu da görülmektedir. Bu durumun önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi formüllerle ifade edilmesi oldukça güçtür. Bu durumda genellikle literatürde YSA modellemenin kullanılacağı önerilmektedir [24-33,73-76]. Literatürdeki öneriler dikkate alınarak bu çalışmada yukarıdaki deney sonuçlarına ek olarak çapak boyutlarını modellemek ve bu model ile çapak boyutunu önceden tahmin edebilmek için geliştirilen YSA modeli ve yapısı aşağıdaki bölümlerde sunuldu.

3.6. Geliştirilen YSA Model ile Çapak Boyutlarının Tahmini

Delme işleminde meydana gelen çapak istenmeyen bir yan üründür ve işlenen parçanın üretim maliyetini önemli derecede etkiler [4-6]. Bu nedenle çapak şeklinin önceden bilinmesi oldukça önem taşımaktadır. Bu çalışmada da YSA modelin yukarıda bahsedilen avantajları dikkate alınarak deney malzemesi olarak kullanılan Al-5005 malzemesinin delinmesinde oluşan çapakların kalınlık ve yüksekliklerini modellemek ve bu model için çapak boyutlarını önceden tahmin edebilmek için ileri beslemeli YSA modeli üç katmandan (4-3-1) oluşturuldu (Şekil 3.95). Geliştirilen bu modelin çapak boyutlarını tahmin etmedeki etkinliğini değerlendirmek için YSA modeli ilk önce deneysel verilerle eğitildi ve daha sonra test edildi. Bahsedilen bu işlemler için MATLAB ‘‘Neural Network Toolbox’’ yapay sinir ağı araç kutucuğu kullanıldı.



Modelin çapak yüksekliğine dair verdiği cevaplar ve deney sonuçlarına göre % hata miktarları toplu olarak Tablo 3.5’de görülmektedir.

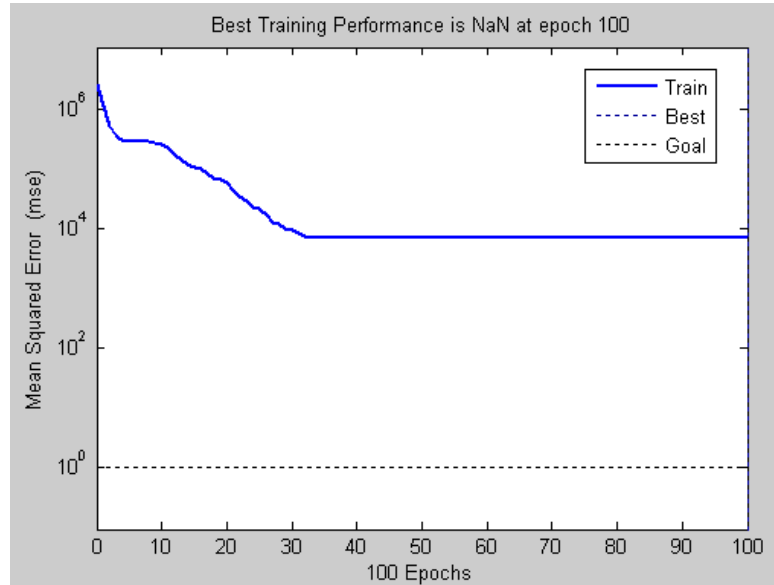
Tablo 3.5. Deneysel ve geliştirilen YSA modele göre çapak yüksekliğine ait bulgular

Deney No	Deneysel çapak yüksekliği (µm)	YSA modele göre çapak yüksekliği (µm)	Hata (%)
S1	1110	1104	0.5
S2	1557	1499	3.8
S3	1916	1988	3.7
S4	1198	1296	7.6
S5	1663	1660	0.1
S6	2106	2088	0.9
S7	1553	1562	0.6
S8	1931	1896	1.8
S9	2249	2268	0.8
S10	710	654	8.4
S11	1280	1267	1.0
S12	1651	1723	4.2
S13	773	781	1.1
S14	1514	1454	4.1
S15	1952	1931	1.0
S16	839	903	7.2
S17	1805	1635	10.4
S18	2089	2133	2.1
S19	590	566	4.2
S20	811	751	7.9
S21	1040	1125	7.6
S22	621	733	15.3
S23	1010	946	6.7
S24	1174	1335	12.1
S25	768	907	15.4
S26	1332	1148	15.9
S27	1478	1549	4.6
S28	313	271	1.3
S29	589	503	17.1
S30	724	828	12.6
S31	406	364	11.3

S32	758	674	12.3
S33	1022	1020	0.1
S34	525	615	14.7
S35	1033	878	17.6
S36	1078	1226	12.1
S37	2087	2088	0.1
S38	2304	2291	0.6
S39	2504	2598	3.6
S40	2922	2722	7.3
S41	3158	3084	2.4
S42	3324	3364	1.2
S43	3092	3017	2.5
S44	3287	3379	2.7
S45	3729	3706	0.6
S46	1079	1147	6.0
S47	1529	1488	2.7
S48	1909	1861	2.6
S49	1145	1329	13.9
S50	1695	1688,8	0.4
S51	2022	2073	2.5
S52	1239	1521	18.6
S53	1910	1896	0.7
S54	2253	2287	1.5
S55	653	693	5.9
S56	1089	970,8	12.2
S57	1323	1290	2.6
S58	860	839	2.5
S59	1296	1139	13.7
S60	1489	1480	0.6
S61	970	998	2.8
S62	1480	1321	12.0
S63	1799	1679	7.1
S64	377	396	5.0
S65	651	617	5.5

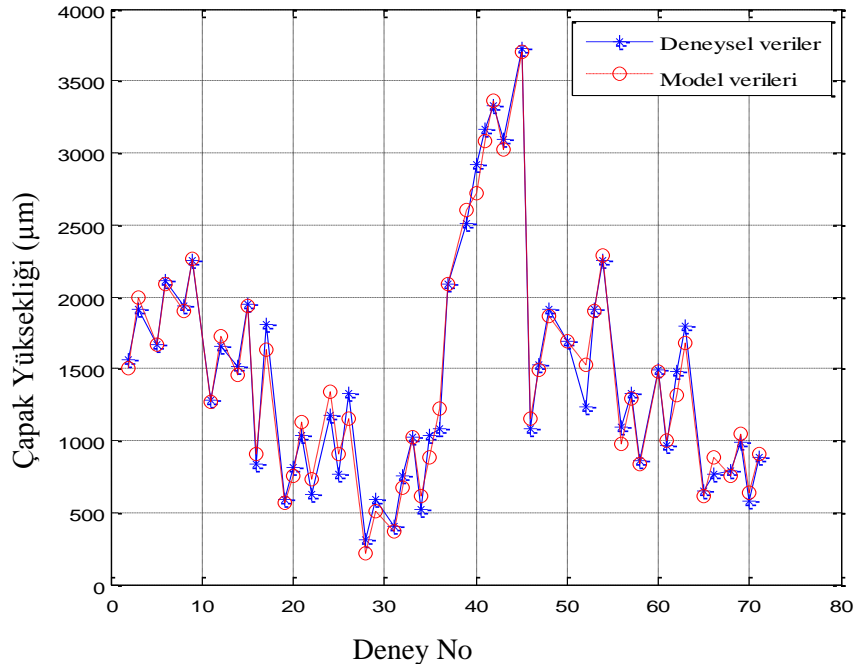
S66	763	880	13.4
S67	421	511	17.7
S68	790	755	4.6
S69	994	1042	4.7
S70	574	639	10.2
S71	884	906	2.5
S72	1155	1217	5.1

Geliştirilen YSA modelin çapak yüksekliklerini tahmin etmekteki başarısını test etmek için Tablo 3.5'deki değerler veri grubu olarak kullanıldı ve bu gruplar aktivasyon fonksiyonunun tipine göre normalize edildi. Daha sonra eğitim aşamasına geçildi. Böylelikle modelin çıkış değeri ile eğitim verileri karşılaştırılarak çıkış hataları bulundu ve bu hata değeri kullanılarak çıkış katmanından geriye doğru bir önceki katmana ait nöron çıkışlarındaki hatalar hesaplandı. Daha sonra, bu hataları minimum yapacak yeni ağırlık katsayıları belirlendi. İşlemlere bu şekilde devam edildi ve çapak boyutunun tahminindeki hatayı minimum yapan iterasyon sayısı çapak yüksekliği için 35 olarak tespit edildi (Şekil 3.96). Geliştirilen YSA modelde, deneysel verilerin %75'i modellerin eğitiminde kullanılırken, geriye kalan %25'i modelin test edilmesinde kullanıldı.

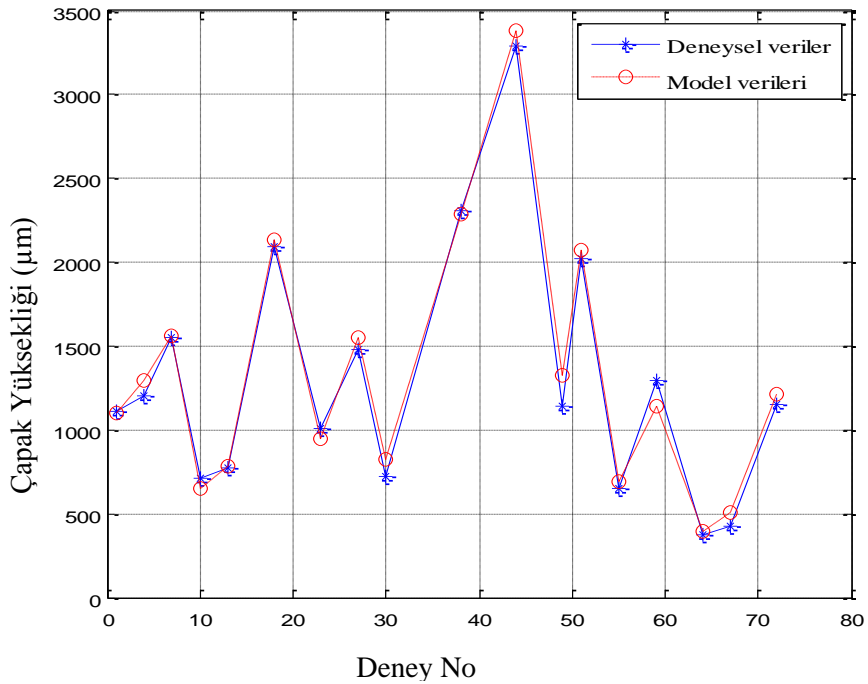


Şekil 3.96. Çapak yüksekliği için iterasyon sayısına göre hatanın değişimi

Eğitim tamamlandıktan sonra, daha önceden eğitim sırasında kullanılmayan deney verileri ile test işlemine geçildi. Şekil 3.97’de çapak yüksekliği için modelin eğitilmesi ile ilgili Şekil 3.98’de ise test edilmesi ilgili grafikler görülmektedir. YSA modelin kararlılığını gözlemek amacıyla çapak yüksekliğinin test işlemlerinde seçilen parametreler deney parametreleri arasından rastgele seçildi.



Şekil 3.97. Çapak yükseklikleri için deney verileri ile YSA modelin eğitilmesi



Şekil 3.98. Çapak yüksekliği için deney ve YSA sonuçlarının test edilmesi

Çapak yükseklikleri için elde edilen veri grupları arasında oldukça fazla farklılıklar olmasına rağmen (Tablo 3.3), deney ölçümlerinin mikrometre seviyesinde olduğu düşünüldüğünde, YSA modelden oldukça başarılı bir sonuç elde edildiği söylenebilir. Çapak yükseklikleri için deney sonuçları ile YSA modelin vermiş olduğu cevaplar karşılaştırıldığında, modelin % 94'e yakın doğrulukta cevaplar verdiği görülmektedir (Şekil 3.98). Önceki çalışmalarda da çapak yüksekliklerinin kararsız bir yapı sergilemesinden dolayı çapakların modellenmesinin zor olduğu [28-30] ancak YSA modelden iyi sonuçlar elde edileceği belirtilmiştir [28-30]. Yine Şekil 3.98'de test dataları ile YSA dataları arasında yer yer farklılıkların oluşması yüksek ilerleme, yüksek devir sayısı ve düşük uç açısında çapak yüksekliğinin kararsız yapı göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Yine benzer şekilde, modelin çapak kalınlıklarına ait verdiği cevaplar ve deney sonuçlarına göre % hata miktarları da toplu olarak Tablo 3.6'da görülmektedir.

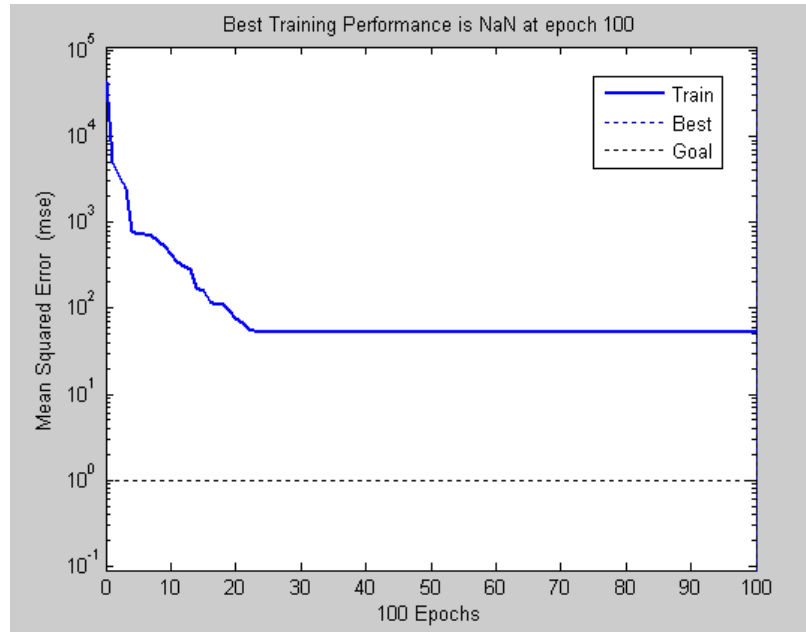
Tablo 3.6. Deneysel ve geliştirilen YSA modele göre çapak kalınlığına ait bulgular

Deney No	Deneysel çapak kalınlığı (µm)	YSA modele göre çapak kalınlığı (µm)	Hata (%)
S1	170.2	183.1	7.0
S2	178.6	201.7	11.5
S3	229.2	227.8	0.6
S4	185.7	196.6	5.5
S5	231.1	222.8	3.7
S6	253.0	247.4	2.3
S7	217.1	223.2	2.7
S8	251.5	247.9	1.5
S9	294.7	273.9	7.6
S10	159.2	161.4	1.4
S11	172.8	174.6	1.0
S12	197.4	191.2	3.2
S13	164.8	174.9	5.8
S14	188.8	195.7	3.5

S15	212.5	216.0	1.6
S16	180.2	190.6	5.5
S17	205.4	211.0	2.7
S18	243.3	234.4	3.8
S19	130.4	131.1	0.7
S20	138.8	143.3	3.1
S21	163.0	159.6	2.1
S22	136.7	135.9	0.6
S23	152.7	151.1	1.1
S24	176.0	174.3	1.0
S25	158.6	152.4	4.1
S26	164.9	170.8	3.5
S27	192.1	192.6	0.3
S28	114.2	116.2	1.7
S29	129.4	125.8	2,9
S30	141.3	138.3	2,2
S31	124.0	126.0	1.6
S32	143.5	138.6	3.5
S33	173.7	158.7	9.5
S34	145,1	138.9	4.5
S35	155.3	159.0	2.3
S36	178.2	178.7	0.3
S37	238.2	227.2	4.8
S38	247.4	252.5	2.0
S39	260.9	270.6	3.6
S40	255.7	253.0	1.1
S41	290.5	283.1	2.6
S42	303.8	308.2	1.4
S43	279.1	283.6	1.6
S44	315.0	308.7	2.0

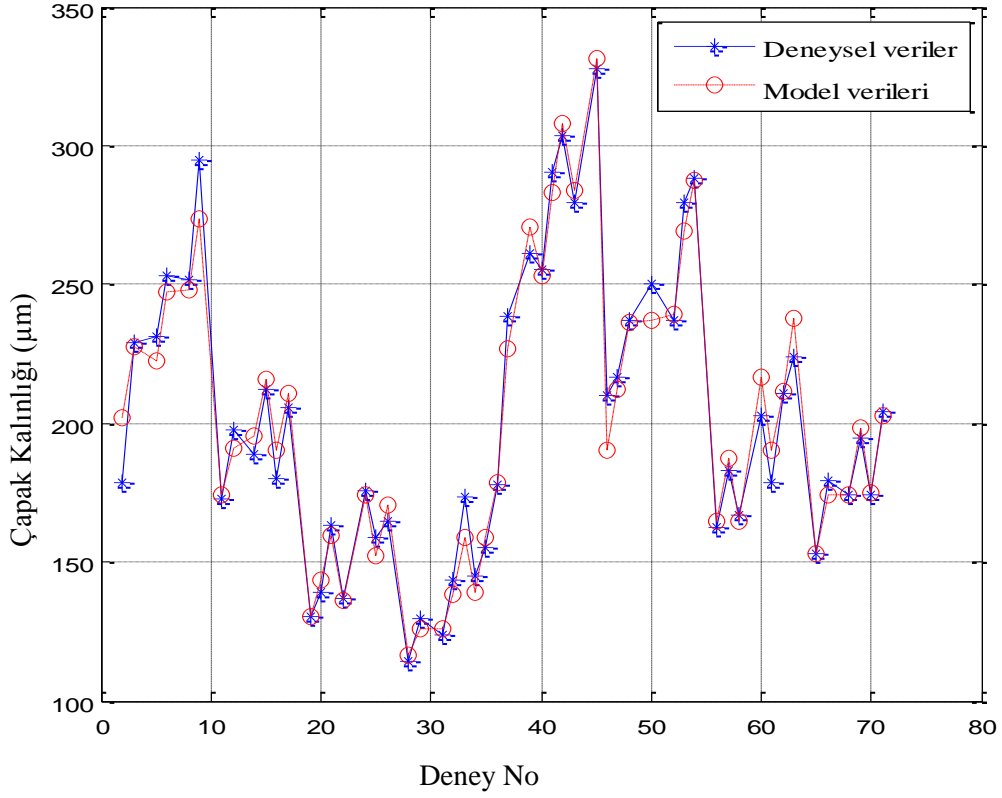
S45	327.9	331.3	1.0
S46	210.2	190.5	10.3
S47	216.3	212.0	2.0
S48	237.1	236.3	0.3
S49	217.8	220.3	1.1
S50	250.3	236.7	5.7
S51	255.3	266.7	4.3
S52	237.2	239.6	1.0
S53	279.4	269.6	3.6
S54	288.5	287.4	0.4
S55	145.4	142.3	2.2
S56	162.2	164.8	1.6
S57	183.3	187.4	2.2
S58	166.7	164.8	1.2
S59	193.3	187.4	3.1
S60	203.0	216.5	6.2
S61	178.6	190.2	6.1
S62	210.9	211.4	0.2
S63	223.7	237.4	5.8
S64	138.1	135.9	1.6
S65	153.3	153.2	0.1
S66	179.0	174.0	2.9
S67	154.6	153.6	0.7
S68	174.2	174.5	0.2
S69	194.5	198.3	1.9
S70	174.1	174.9	0.5
S71	204.0	202.9	0.5
S72	225.0	228.6	1.6

Yine geliştirilen YSA modelin çapak kalınlıklarını tahmin etmekteki başarısını test etmek için Tablo 3.6'daki değerler veri grubu olarak kullanıldı ve bu gruplar aktivasyon fonksiyonunun tipine göre normalize edildi. Daha sonra burada da çapak yüksekliğindeki işlemlere benzer şekilde işlemler yapıldı ve çapak kalınlığının tahminindeki hatayı minimum yapan iterasyon sayısı için 25 olarak tespit edildi (Şekil 3.99). Çapak kalınlığı için de, deneysel verilerin %75'i model eğitiminde kullanılırken, geriye kalan %25'i modelin test edilmesinde kullanıldı.

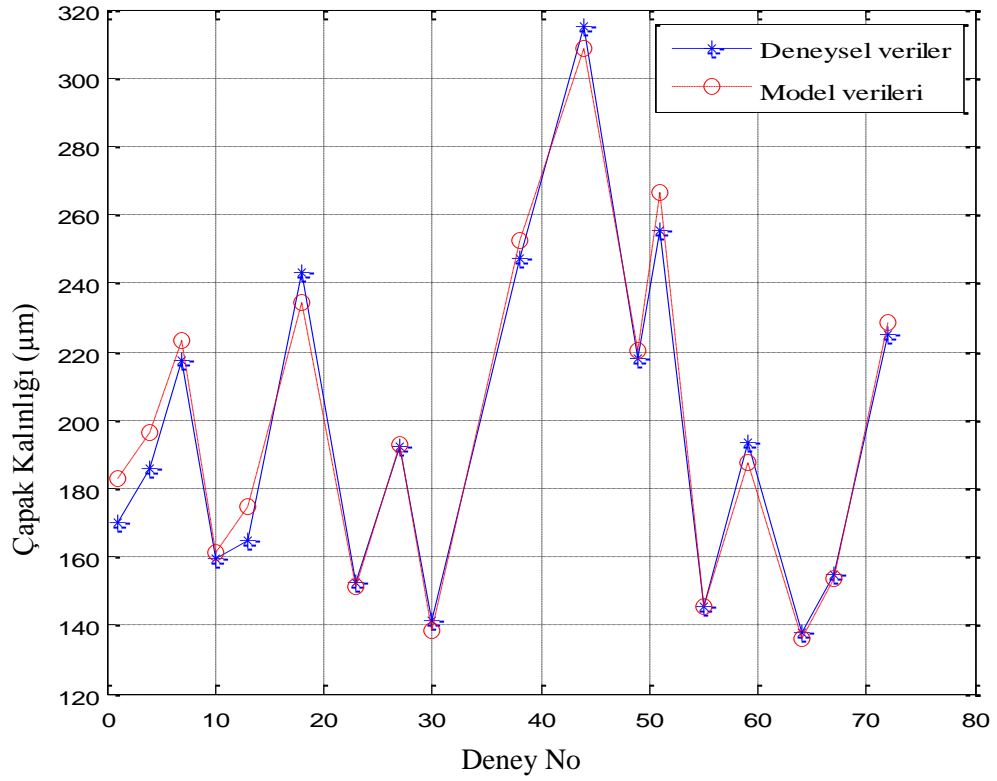


Şekil 3.99. Çapak yüksekliği için iterasyon sayısına göre hatanın değişimi

Eğitim tamamlandıktan sonra, benzer şekilde daha önceden eğitim sırasında kullanılmayan deney verileri ile test işlemine geçildi. Şekil 3.100'de çapak kalınlığı için modelin eğitilmesi ile ilgili Şekil 3.101'de ise test edilmesi ilgili grafikler görülmektedir. YSA modelin kararlılığını gözlemlemek amacıyla çapak kalınlığında da test işlemlerinde seçilen parametreler deney parametreleri arasından rastgele seçildi.



Şekil 3.100. Çapak kalınlığı için deney verileri ile YSA modelin eğitilmesi



Şekil 3.101. Çapak kalınlığı için deney ve YSA sonuçlarının test edilmesi

Sonuç olarak, çapak kalınları içinde de elde edilen deney verileri arasında oldukça fazla farklılıklar olmasına rağmen (Tablo 3.4), deney ölçümlerinin mikrometre seviyesinde olduğu düşünüldüğünde, YSA modelden benzer şekilde oldukça başarılı bir sonuç elde edildiği söylenebilir. Modelin, girilen parametrelere göre çapak kalınlıklarına dair verdiği cevaplar ile deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırıldığında farklılıkların az olduğu, sonuçların yine birbirlerine oldukça yakın olduğu ve modelin % 96'ya yakın doğrulukta cevaplar verdiği görülmektedir (Şekil 3.101). Şekil 101'de de test dataları ile YSA dataları arasında yer yer farklılıkların oluşması yine yüksek ilerleme, yüksek devir sayısı ve düşük uç açısında çapak kalınlığının kararsız yapı göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, kararlı delme parametrelerine (delik boyunca sabit delme parametreleri) göre deney malzemesinde oluşan çapakların boyutları hem deneysel olarak belirlendi hem de YSA kullanılarak modellendi. Ancak bu bölüme kadar yapılan deneysel ve teorik çalışmalara göre çapak boyutlarını belirli bir seviyenin altına indirmenin mümkün olmadığı görülmektedir. Deneysel ve teorik sonuçlara göre en küçük boyutlarda çapağın elde edildiği kararlı delme parametrelerinin 140° , 0.1 mm/dev ve 400 dev/dak olduğu görülmektedir.

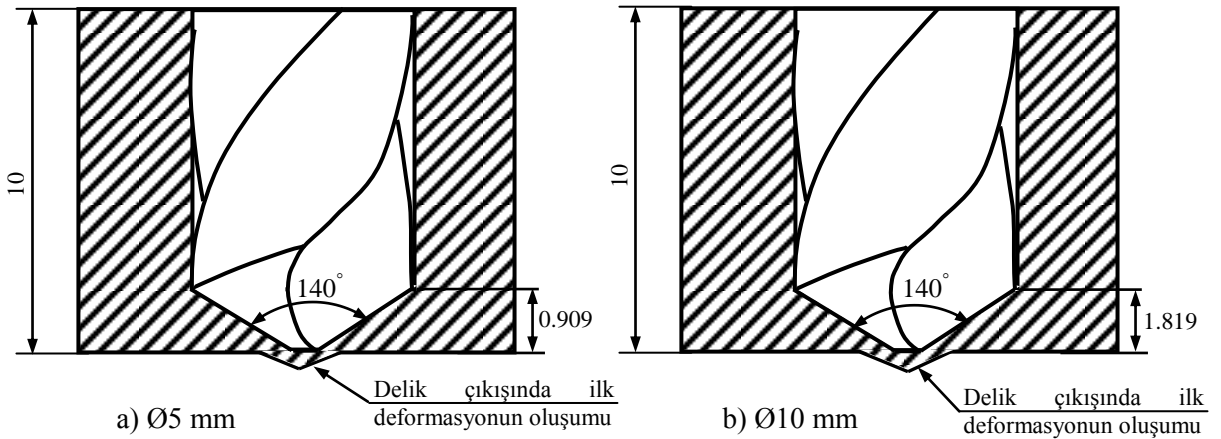
Yine şuna kadar alüminyum ve benzeri malzemelerin delinmesinde buna benzer sonuçlar elde edilmiş [4-33] ve çapak boyutları üzerinde devir başına ilerlemenin önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca önceki çalışmalarda devir başına ilerleme değeri genel olarak 0.1-0.25 mm/dev aralığı seçilmiştir [4-33]. Çünkü ilerleme değerinin 0.1 mm/dev'den daha küçük olarak seçilmesi halinde üretim maliyetlerinin yükseleceği ifade edilmiştir [53,60]. Ayrıca çapak alma işlemlerinin otomasyonel olarak yeterince yaygınlaşmadığı ve maliyetlerin yüksek olmasından da bahsedilmiştir [53-62].

Bu çalışmada, delme parametrelerine göre deney malzemesinde oluşan çapakların boyutlarını azaltmak için mevcut çalışmalardan farklı olarak CNC freze tezgâhının kontrol özelliklerinden faydalanıldı ve kararsız delme işlemi, delik boyunca ilerleme değiştirilerek oluşturuldu. Bu yeni yöntemin uygulanması ve elde edilen sonuçlar ise aşağıdaki bölümde sunuldu.

3.7. Kararsız Delme Yöntemine Göre Çapak Oluşumlarının İncelenmesi

3.7.1. Yöntemin Uygulanması

Bu çalışmada, önceki bölümde yapılan delme deneyleri sonrası delik çıkış bölgesinde oluşan çapakların boyutlarını azaltmak için delik boyunca kararsız delme parametreleri oluşturuldu ve buna göre CNC freze tezgâhının kontrol sisteminin özelliklerinden faydalanarak yeni deneyse tasarım yapıldı. Bu yeni tasarımda, yukarıda bahsedilen delme parametrelerine göre en düşük çapak boyutlarının elde edildiği 140°'lik matkap uçları kullanıldı. Kararsız delme şartları ise uç açısından sonra en etkin parametre olan matkap ucunun devir başına ilerleme 0.1, 0.2 ve 0.3 mm/dev değerlerinde, delik çıkışına yakın bir mesafede matkap ucu delik içerisinden çıkartılmadan, otomatik olarak on katı kadarlık bir azaltma (0.01, 0.02 ve 0.03 mm/dev) yapılarak gerçekleştirildi. Delme parametrelerinin değiştirildiği mesafe (KDM) ise hem delme süresini uzatmayacak hem de delik çıkışında ilk deformasyonun oluştuğu (Bkz. Bölüm 1-Şekil 1.17) matkap uç koniklik yüksekliği dikkate alınarak belirlendi (Şekil 3.102). Şekil üzerindeki bu mesafelerin değerleri ise, matkap uç açısı ve çapı dikkate alınarak $\text{Ø}5 \text{ mm}$ 'lik matkap için $\text{KDM} = 5 \cdot \tan(20)/2 = 0.909 \text{ mm}$ ve $\text{Ø}10 \text{ mm}$ 'lik matkap için ise $\text{KDM} = 10 \cdot \tan(20)/2 = 1.819 \text{ mm}$ olarak hesaplandı.



Şekil 3.102. Kararsız delme parametrelerinin oluşturulduğu deformasyon bölgesi ve mesafesi

3.7.2. Kararsız Delme Deney Sonuçları ve Tartışma

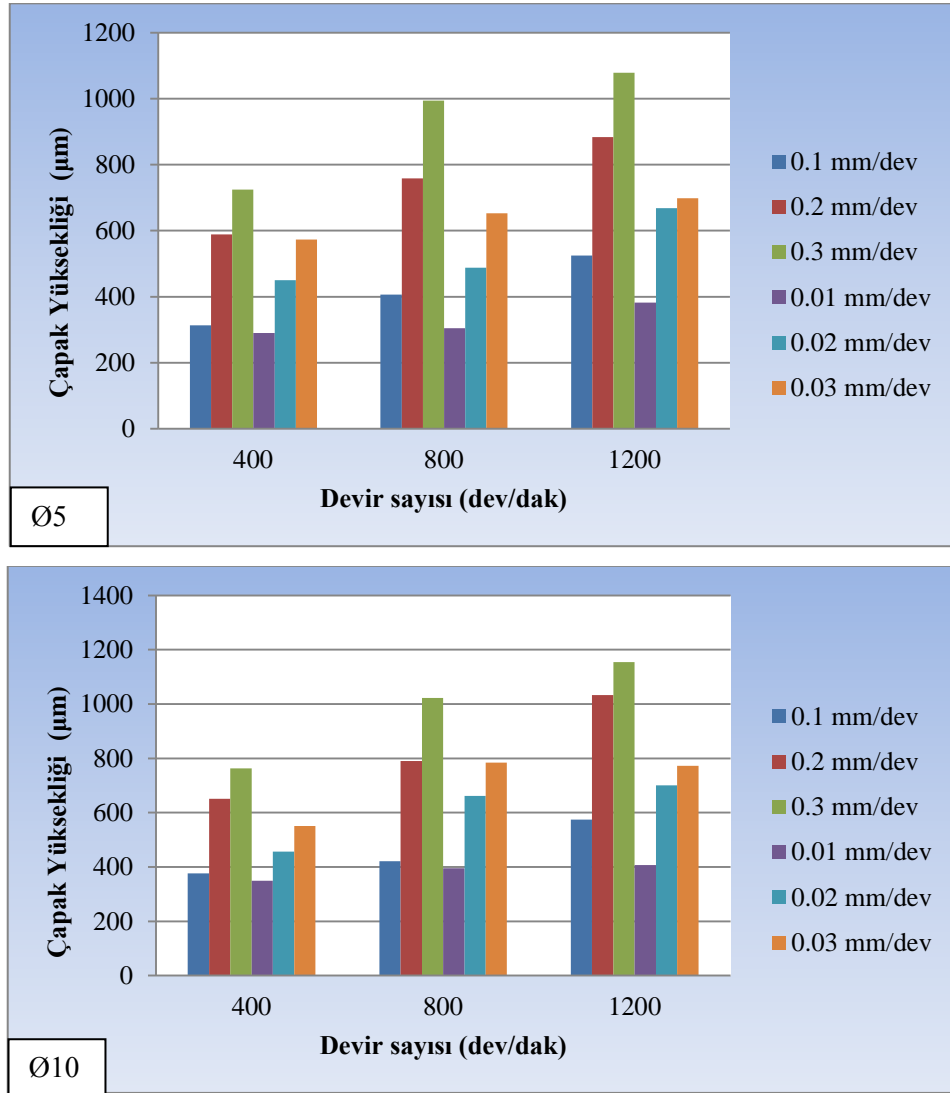
Kararsız delme deneylerinin yapılacağı şartlar yukarıdaki şekilde belirlendikten sonra, önceki bölümlerde yapılan deneylere benzer olarak bu bölümde de CNC freze tezgâhında bir dizi deneyler yapıldı. Bu deneyler sonucu delik çıkış bölgesinde oluşan

çapakların yükseklikleri de yine önceki bölümlerdeki ölçüm yöntemleri kullanılarak belirlendi. Kararlı (Bkz. Bölüm 3.'deki deneyler) ve kararsız delme deneyleri sonrası oluşan çapak yükseklikleri için ölçüm sonuçlarının ortalama değerleri Tablo 3.7'de görülmektedir. Bu tabloda α -matkap uç açısı (derece), s-devir başına ilerleme (mm/dev), n-devir sayısı (dev/dak), h_{ort} -ortalama çapak yüksekliği (μm), w_{ort} -ortalama çapak kalınlığını (μm) ve t-delme süresini (saniye) ifade etmektedir. Delme işlemlerine harcanan süreler delme işlemi boyunca kronometre kullanılarak belirlendi.

Tablo 3.7.Kararlı ve kararsız delme parametrelerine göre çapak yüksekliğine ait bulgular

Matkap çapı 5 mm										
Kararlı delme deneylerinin sonuçları					Kararsız delme deneylerinin sonuçları					Çapak yüksekliklerindeki azalma (%)
α	n	s	h_{ort}	t	α	n	s	h_{ort}	t	
140	400	0.1	313	29	140	400	0.01	290	38	5
140	400	0.2	589	22	140	400	0.02	450	28	23
140	400	0.3	724	14	140	400	0.03	573	24	20
140	800	0.1	406	21	140	800	0.01	305	27	24
140	800	0.2	758	11	140	800	0.02	488	19	36
140	800	0.3	994	8	140	800	0.03	653	18	36
140	1200	0.1	525	14	140	1200	0.01	382	20	27
140	1200	0.2	884	7	140	1200	0.02	668	15	37
140	1200	0.3	1078	5	140	1200	0.03	698	12	35
Matkap çapı 10 mm										
Kararlı delme deneylerinin sonuçları					Kararsız delme deneylerinin sonuçları					Çapak yüksekliklerindeki azalma (%)
α	n	s	h_{ort}	t	α	n	s	h_{ort}	t	
140	400	0.1	377	31	140	400	0.01	350	40	7
140	400	0.2	651	25	140	400	0.02	457	32	29
140	400	0.3	763	17	140	400	0.03	551	26	28
140	800	0.1	421	27	140	800	0.01	395	31	6
140	800	0.2	790	23	140	800	0.02	662	27	16
140	800	0.3	1022	16	140	800	0.03	784	24	23
140	1200	0.1	574	15	140	1200	0.01	407	21	29
140	1200	0.2	1033	10	140	1200	0.02	701	17	32
140	1200	0.3	1155	7	140	1200	0.03	772	13	33

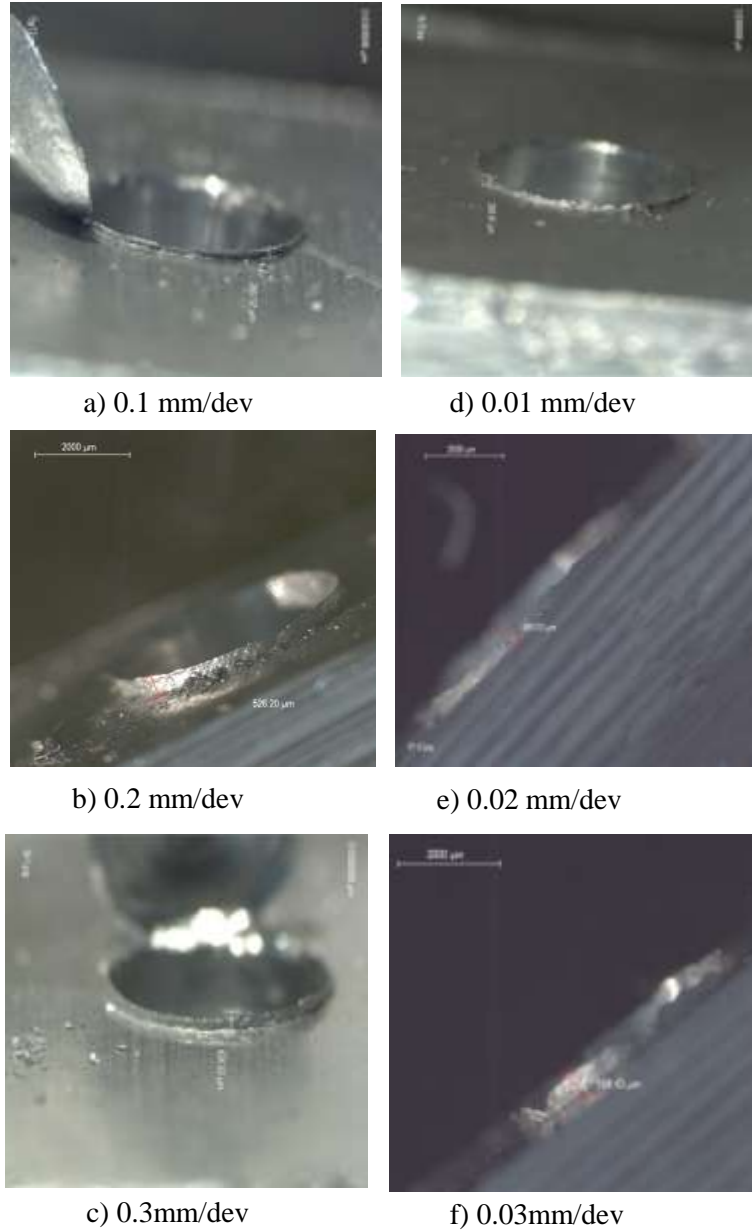
Kararsız delme parametrelerinin hem çapak yüksekliğine etkilerini daha açık bir şekilde görebilmek hem de kararlı delme ile kıyaslamak amacıyla Tablo 3.7 dikkate alınarak aşağıdaki grafikler çizildi.



Şekil 3.103. Kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre çapak yüksekliklerinin değişimleri

Grafikler toplu olarak incelenir ise devir başına ilerleme değerlerinin KDM'den itibaren on katı kadar azaltılması durumunda kararlı delmeye göre çapak yüksekliklerinde dikkate değer bir azalmanın olduğu görülmektedir (Şekil 3.103). Bunun sebebi deliğin çıkışında ilk kırılmadan sonra hem ilerleme miktarının azalmasına bağlı olarak deformasyon kuvvetlerin azalması [52,106] hem de bir devirde talaş kesme derinliğinin azalmasıdır (Bkz. Bölüm 1-Şekil 1.13). Bu durum, ilk kırılmadan sonra plastik deformasyon bölgesinde kesme işlemine maruz kalmayan tabakanın azalması şeklinde de açıklanabilir. Bu da delik çevresinde çapak yüksekliğinin azalmasına neden olduğu

görülmektedir (Şekil 3.104 ve 3.109'a-f). Yine kararsız delmede matkap, malzemenin arka yüzeyinden çıkmaya başladığı anda malzemedeki kopmayan en son ince tabakada oluşan kaymalardaki düzensizliğin azalmasına paralel olarak çapak yüksekliklerinde azalmanın olduğu görülmektedir (Şekil 3.104 ve 3.109'a, d, c, f). Genel olarak bu durumun benzer şekilde diğer uç açılarında da çapak yüksekliklerini azaltacağı aşikârdır. Ayrıca daha önceki bölümlerde yapılan deneylere paralel olarak kararsız delmede de devir sayısı ve çaptaki artışın çapak yüksekliğine çok büyük etkisinin olmadığı benzer şekilde delik çevresinde deformasyona uğrayan miktarın artmasına neden olduğu görülmektedir (Şekil 3.104 ve 3.109).



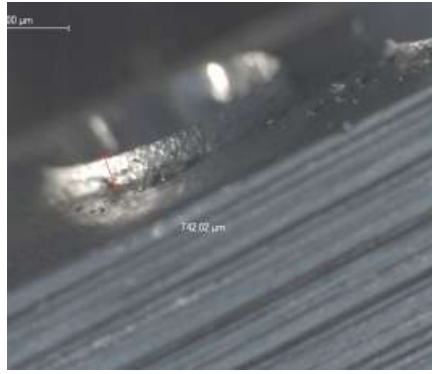
Şekil 3.104. Ø5 mm, 400 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak yüksekliklerinin değişimleri



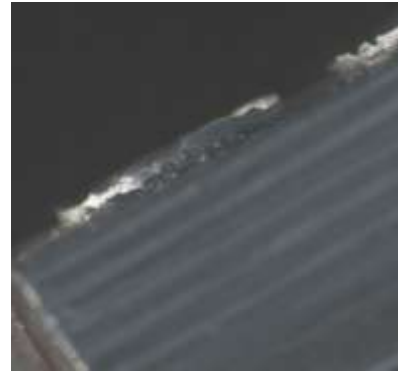
a) 0.1mm/dev



d) 0.01mm/dev



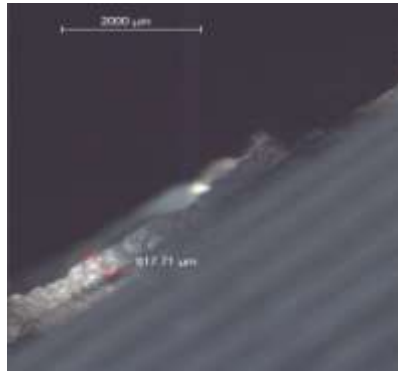
b) 0.2mm/dev



e) 0.02mm/dev



c) 0.3mm/dev



f) 0.03mm/dev

Şekil 3.105. Ø5 mm, 800 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak yüksekliklerinin değişimleri



a) 0.1mm/dev



d) 0.01mm/dev



b) 0.2mm/dev



e) 0.02mm/dev

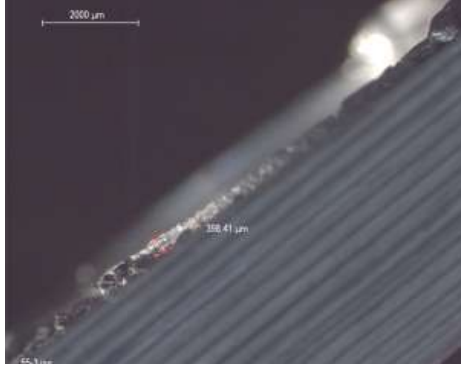


c) 0.3mm/dev



f) 0.03mm/dev

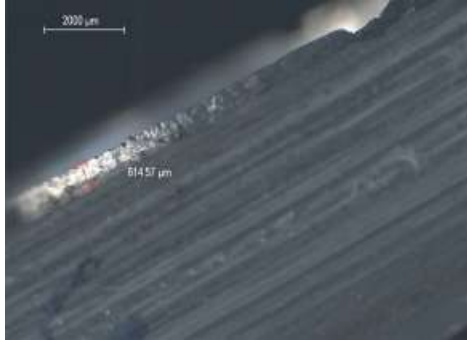
Şekil 3.106. Ø5 mm, 1200 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak yüksekliklerinin değişimleri



a) 0.1mm/dev



d) 0.01 mm/dev



b) 0.2mm/dev



e) 0.02 mm/dev



c) 0.3mm/dev



f) 0.03 mm/dev

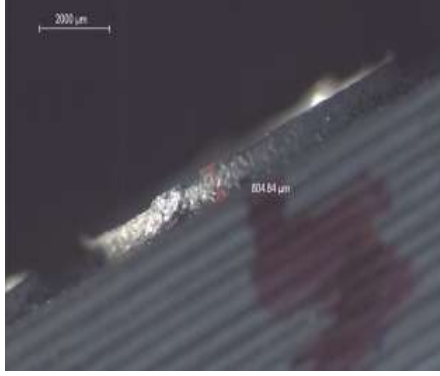
Şekil 3.107. Ø10 mm, 400 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak yüksekliklerinin değişimleri



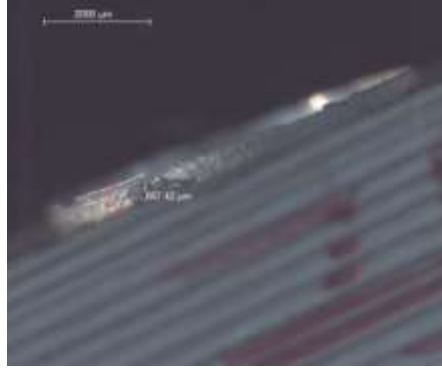
a) 0.1mm/dev



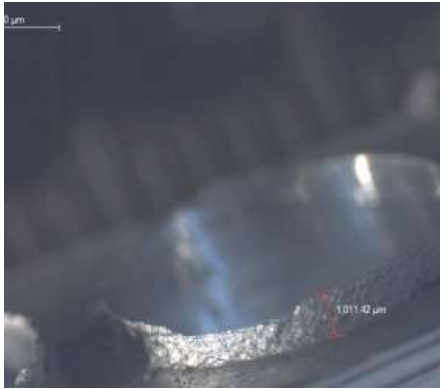
d) 0.01 mm/dev



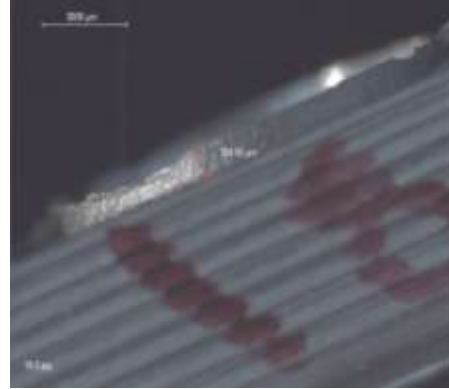
b) 0.2mm/dev



e) 0.02mm/dev



c) 0.3mm/dev



f) 0.03 mm/dev

Şekil 3.108. Ø10 mm, 800 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak yüksekliklerinin değişimleri



a) 0.1mm/dev

d) 0.01 mm/dev



b) 0.2mm/dev

e) 0.02 mm/dev



c) 0.3mm/dev

f) 0.03 mm/dev

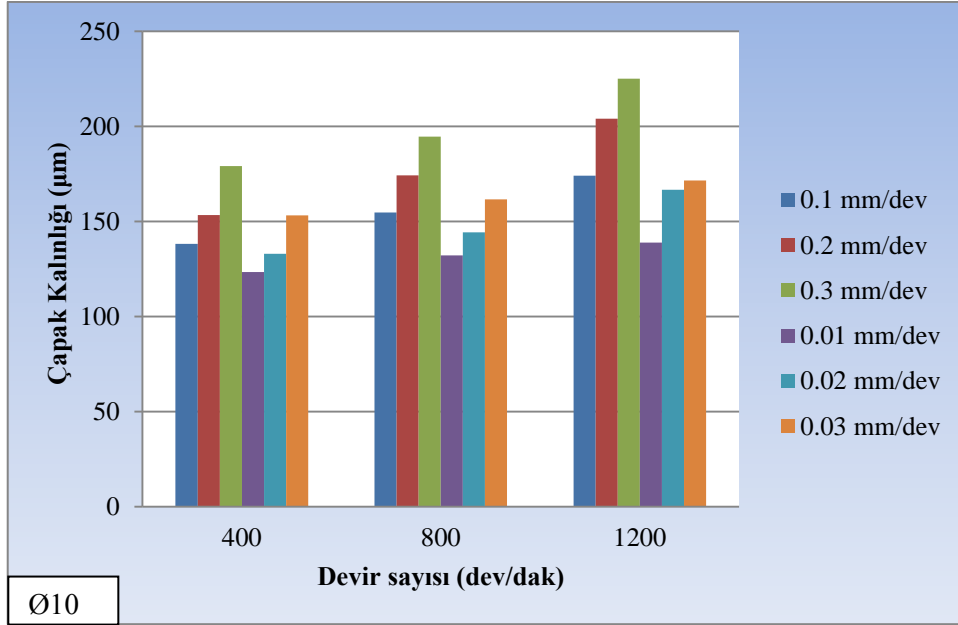
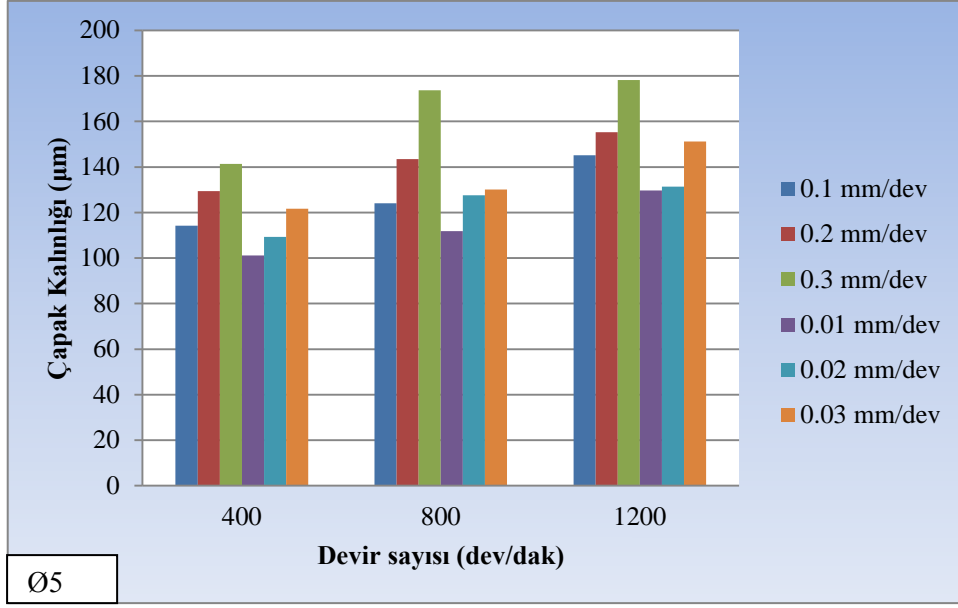
Şekil 3.109. Ø10 mm, 1200 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak yüksekliklerinin değişimleri

Yine bu çalışmada yukarıda yapılan deneylerden elde edilen çapak kalınlıklarına ait ölçüm sonuçlarının ortalama değerleri ve yüzde azalma miktarları da toplu olarak Tablo 3.8’de görülmektedir.

Tablo 3.8.Kararlı ve kararsız delme parametrelerine göre apak kalınlığına ait bulgular

Matkap apı 5 mm										
Kararlı delme deneylerinin sonuçları					Kararsız delme deneylerinin sonuçları					apak kalınlığındaki azalma (%)
α	n	s	W_{ort}	t	α	n	s	W_{ort}	t	
140	400	0.1	114.2	29	140	400	0.01	101.2	38	11
140	400	0.2	129.4	22	140	400	0.02	109.3	28	16
140	400	0.3	141.3	14	140	400	0.03	121.7	24	14
140	800	0.1	124.0	21	140	800	0.01	111.8	27	9
140	800	0.2	143.5	11	140	800	0.02	127.5	19	11
140	800	0.3	173.7	8	140	800	0.03	130.1	18	13
140	1200	0.1	145.1	14	140	1200	0.01	129.6	20	10
140	1200	0.2	155.3	7	140	1200	0.02	131.3	15	15
140	1200	0.3	178.2	5	140	1200	0.03	151.2	12	22
Matkap apı 10 mm										
Kararlı delme deneylerinin sonuçları					Kararsız delme deneylerinin sonuçları					apak kalınlığındaki azalma (%)
α	n	s	W_{ort}	t	α	n	s	W_{ort}	t	
140	400	0.1	138.1	31	140	400	0.01	123.4	40	10
140	400	0.2	153.3	25	140	400	0.02	132.9	32	13
140	400	0.3	179.0	17	140	400	0.03	153.1	26	14
140	800	0.1	154.6	27	140	800	0.01	132.1	31	15
140	800	0.2	174.2	23	140	800	0.02	144.3	27	17
140	800	0.3	194.5	16	140	800	0.03	161.6	24	16
140	1200	0.1	174.1	15	140	1200	0.01	138.9	21	20
140	1200	0.2	204.0	10	140	1200	0.02	166.7	17	18
140	1200	0.3	225.0	7	140	1200	0.03	171.5	13	23

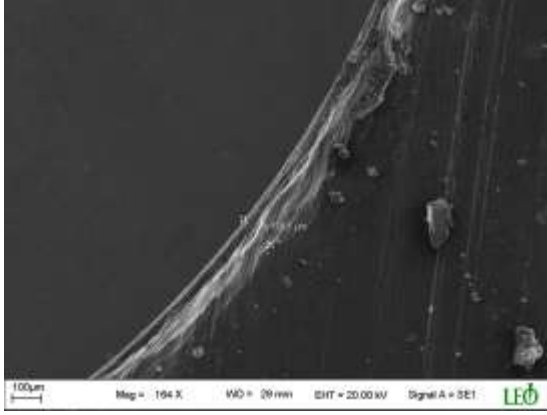
Yine kararsız delme parametrelerinin hem apak kalınlığına etkilerini daha açık bir Şekilde görebilmek hem de kararlı delme ile kıyaslamak amacıyla Tablo 3.8 dikkate alınarak aşağıdaki grafikler çizildi.



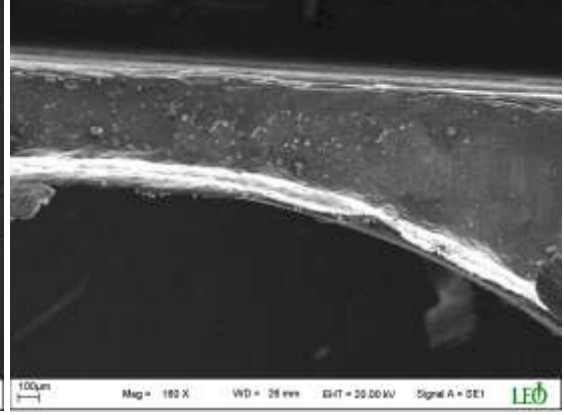
Şekil 3.110. Kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre çapak kalınlıklarının değişimleri

Bu grafikler de toplu olarak incelenir ise, devir başına ilerleme değerlerinin KDM'den itibaren on katı kadar azaltılması durumunda kararlı delmeye göre çapak kalınlıklarında da azalmanın olduğu görülmektedir (Şekil 3.110). Bunun sebebi de çapak yüksekliğine benzer şekilde deliğin çıkışında ilk kırılmadan sonra kararsız delmedeki deformasyona uğrayan miktarın, kararlı delmeye göre daha az olması ve plastik deformasyon bölgesinde kesme işlemine maruz kalmayan tabakanın azalmasıdır. Bu durum ise delik çevresinde oluşan çapak kalınlığının azalmasına neden olmaktadır (Şekil

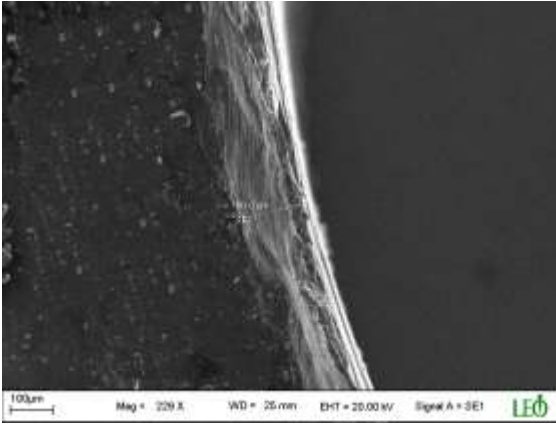
3.111 ve 3.116'a-f). Yine kararsız delmede de devir sayısı ve çaptaki artışın çapak kalınlığına da çok büyük etkisinin olmadığı görülmektedir (Şekil 3.111 ve 3.116).



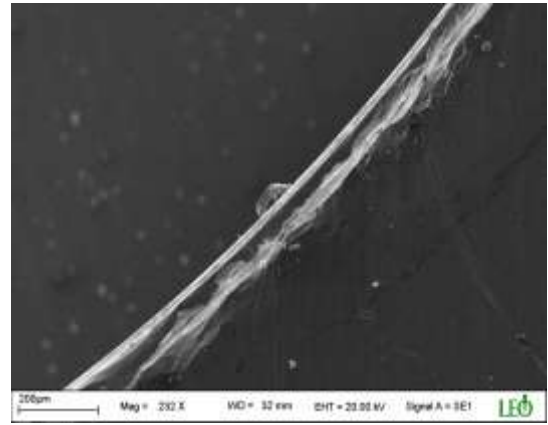
a) 0.1mm/dev



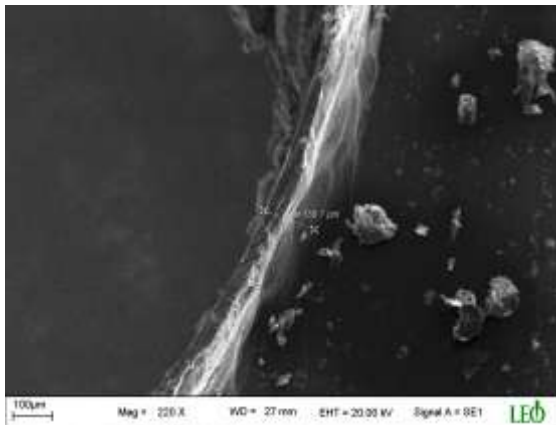
d) 0.01 mm/dev



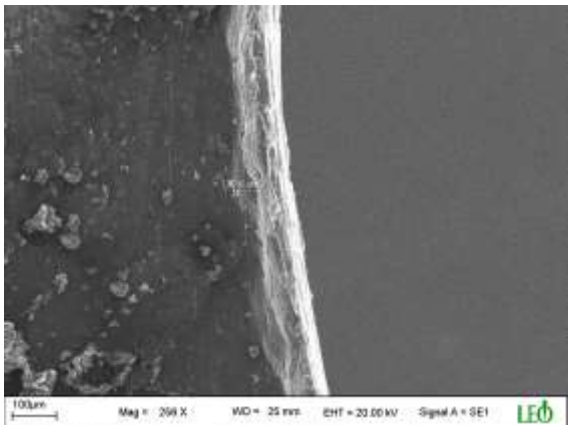
b) 0.2mm/dev



e) 0.02 mm/dev

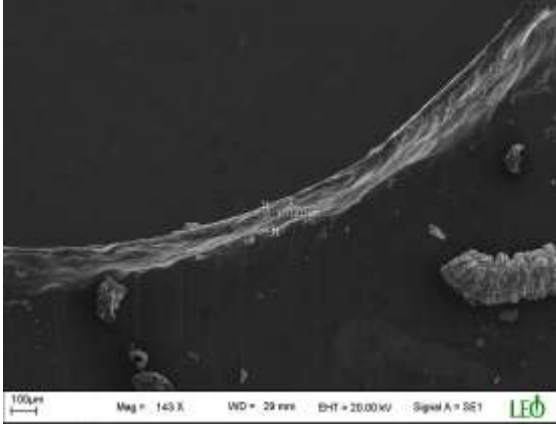


c) 0.3mm/dev

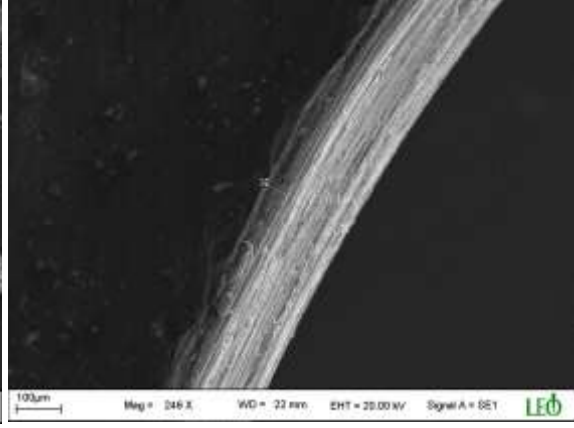


f) 0.03 mm/dev

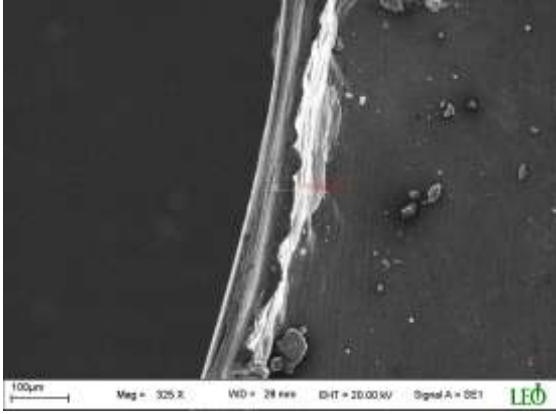
Şekil 3.111. Ø5 mm, 400 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak kalınlıklarının değişimleri



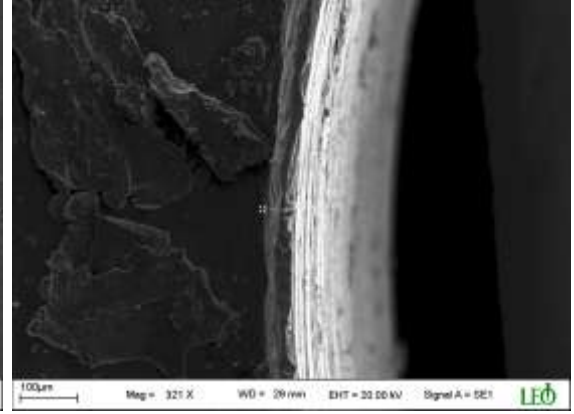
a) 0.1mm/dev



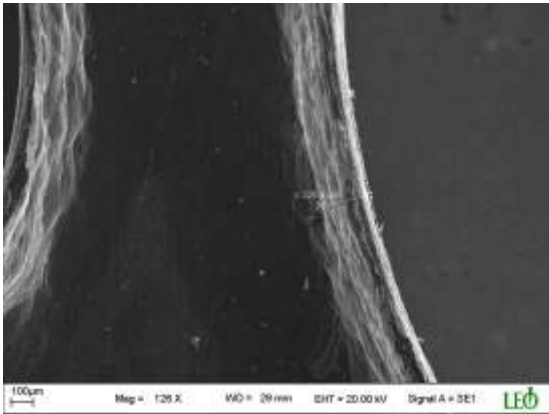
d) 0.01mm/dev



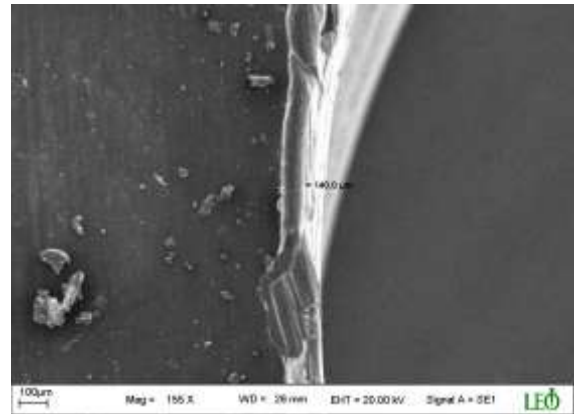
b) 0.2mm/dev



e) 0.02 mm/dev

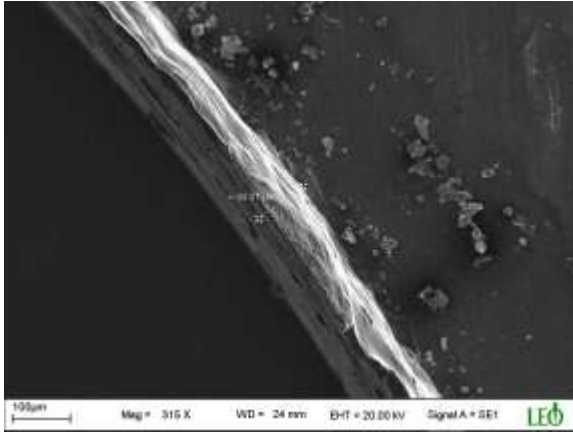


c) 0.3mm/dev

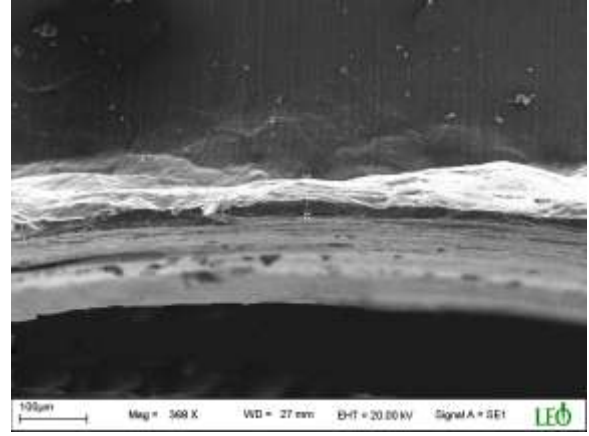


f) 0.03mm/dev

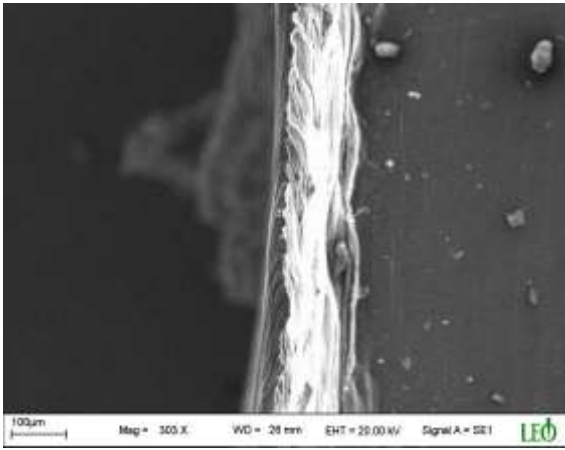
Şekil 3.112. Ø5 mm, 800 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak kalınlıklarının değişimleri



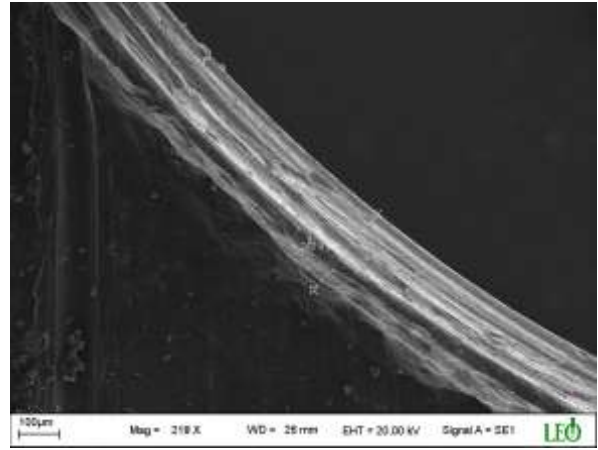
a) 0.1mm/dev



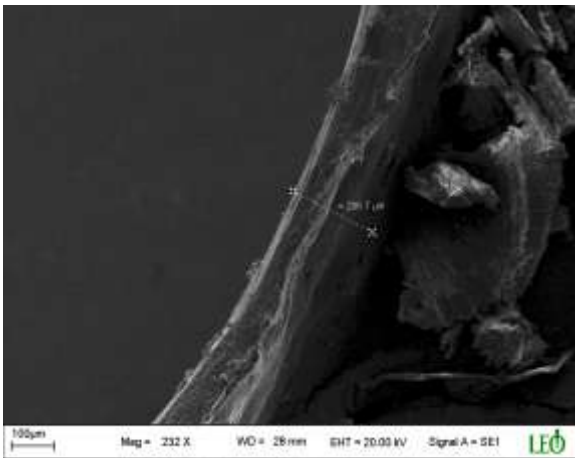
d) 0.01 mm/dev



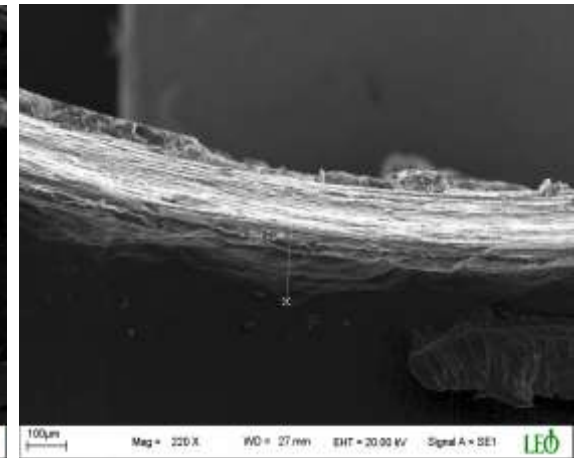
b) 0.2mm/dev



e) 0.02 mm/dev

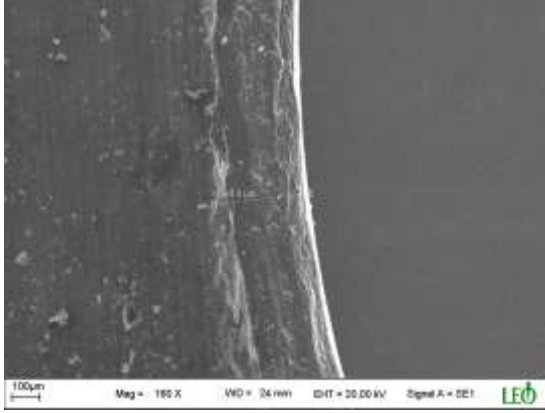


c) 0.3mm/dev

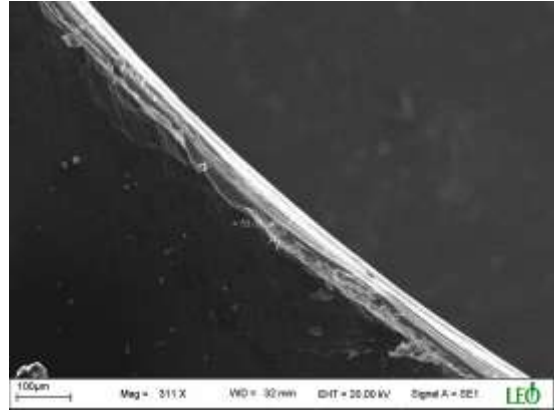


f) 0.03 mm/dev

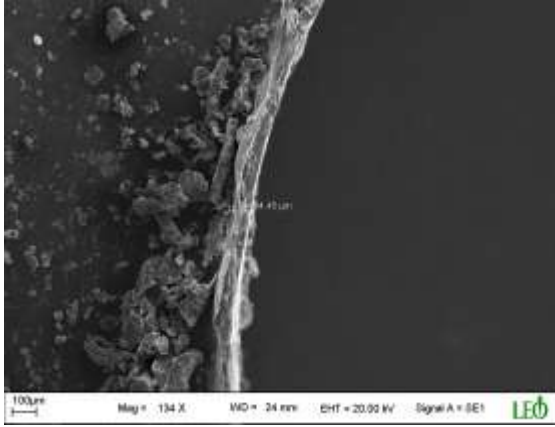
Şekil 3.113. Ø5 mm, 1200 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak kalınlıklarının değişimleri



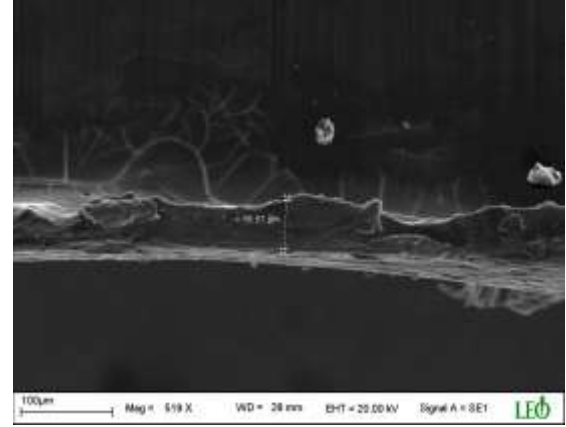
a) 0.1mm/dev



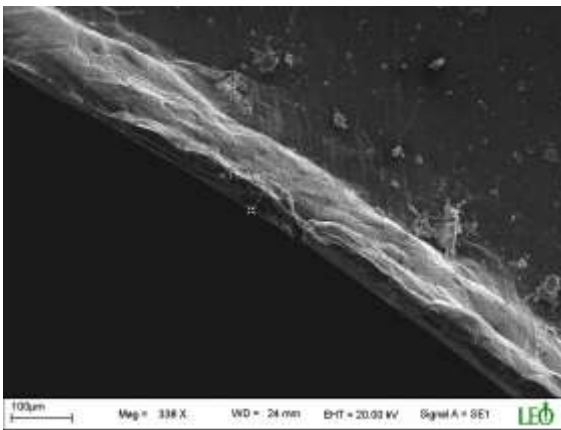
d) 0.01 mm/dev



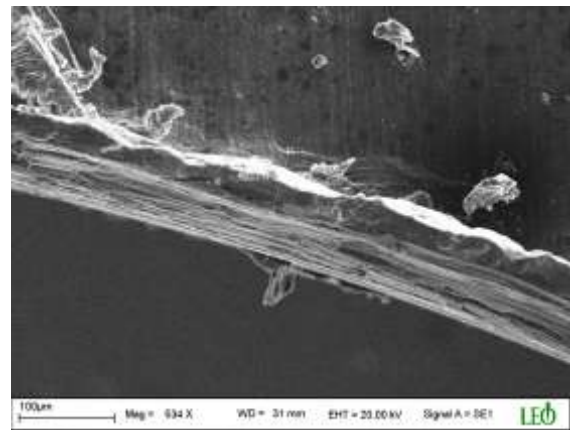
b) 0.2mm/dev



e) 0.02mm/dev

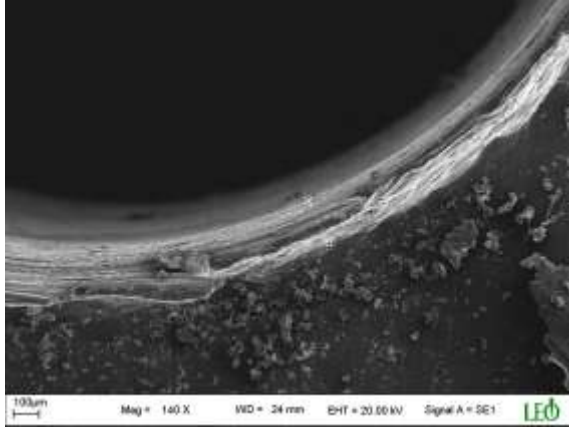


c) 0.3mm/dev

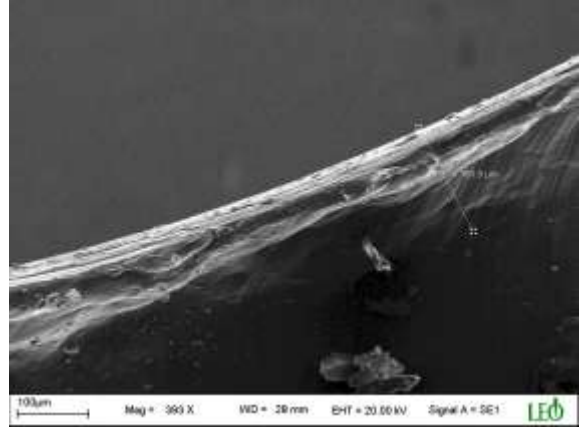


f) 0.03mm/dev

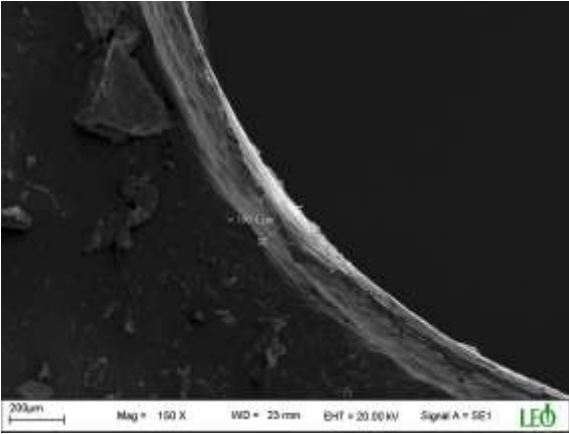
Şekil 3.114. Ø10 mm, 400 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak kalınlıklarının değişimleri



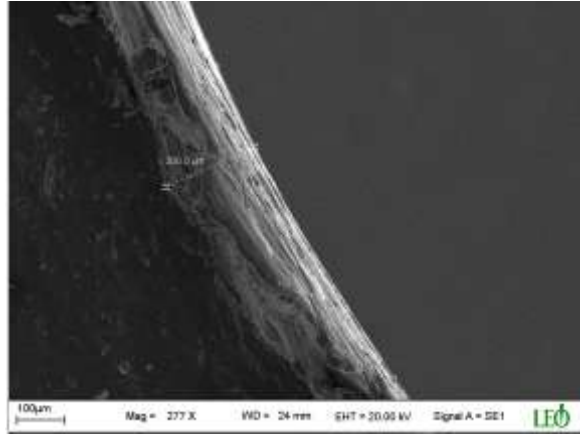
a) 0.1mm/dev



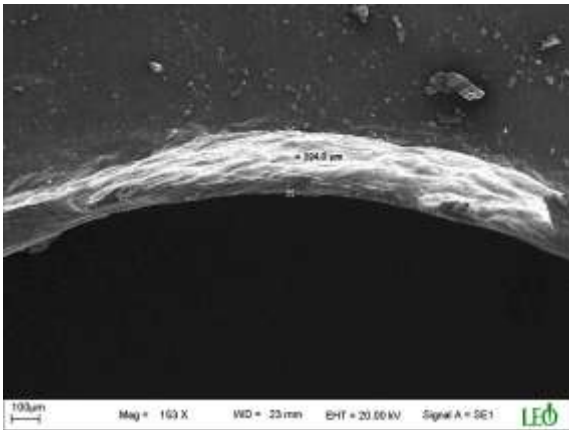
d) 0.01mm/dev



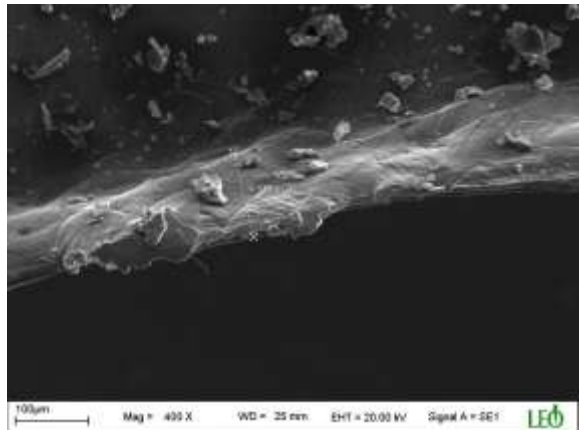
b) 0.2mm/dev



e) 0.02mm/dev

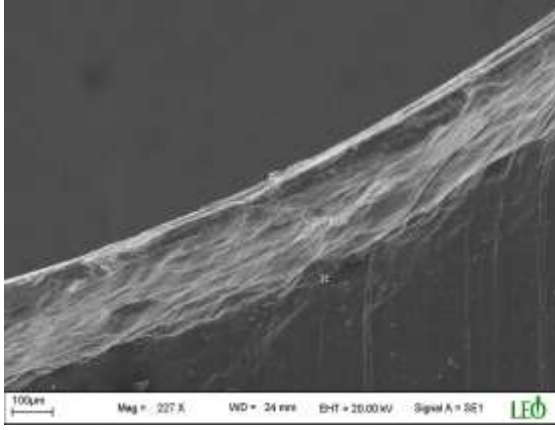


c) 0.3mm/dev

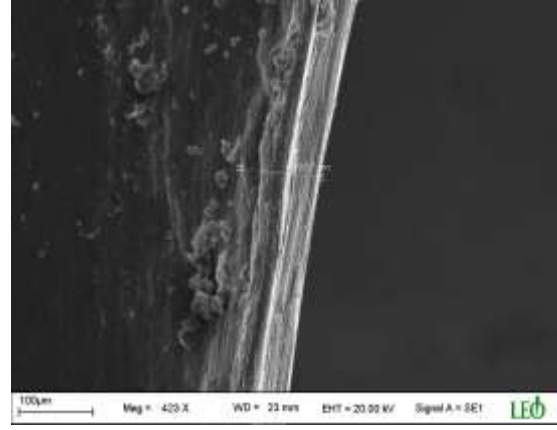


f) 0.03 mm/dev

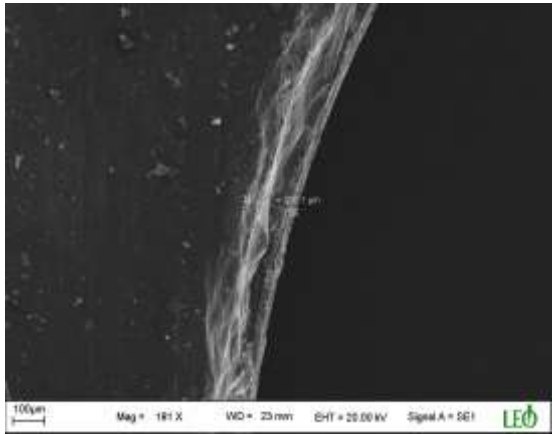
Şekil 3.115. Ø10 mm, 800 dev/dak için kararlı ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak kalınlıklarının değişimleri



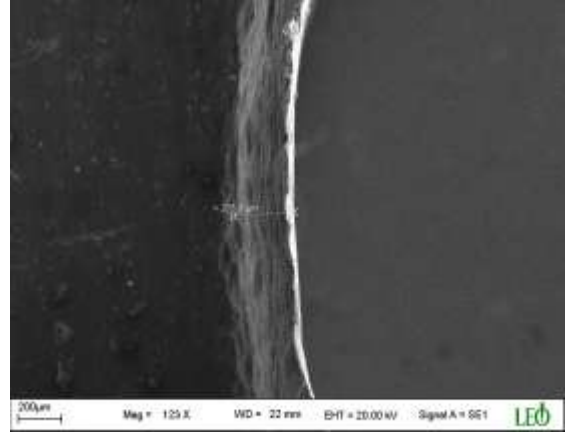
a) 0.1mm/dev



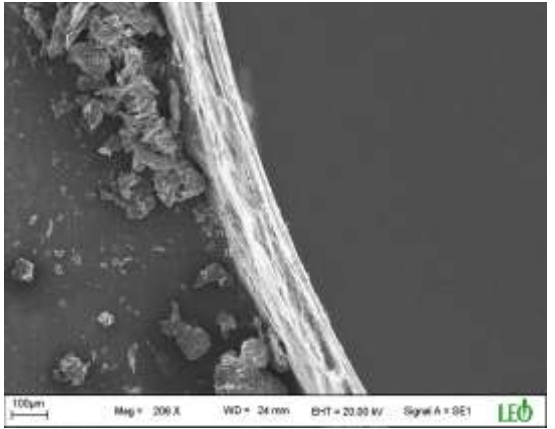
d) 0.01mm/dev



b) 0.2mm/dev



e) 0.02 mm/dev



c) 0.3mm/dev



f) 0.03mm/dev

Şekil 3.116. Ø10 mm, 1200 dev/dak için kararsız ve kararlı ilerleme değerlerine göre oluşan çapak kalınlıklarının değişimleri

Sonuç olarak, kararsız delme yönteminde uç koniklik mesafesinden itibaren ilerlemenin azaltılması ile çapak yüksekliklerinde %25'e çapak kalınlıklarında ise %35'e varan bir azalmanın olduğu görülmektedir (Tablo 3.7 ve 3.8). Yine tasarlanan bu yöntemde delme sürelerinde çok dikkate değer bir artışın oluşmadığı da görülmektedir (Tablo 3.7 ve 3.8). Bu yeni yöntemde oluşan zaman artışının delme maliyetini olumsuz yönde etkilemeyeceği de düşünülmektedir. Çünkü çok düşük boyutlarda oluşan çapağın temizleme maliyeti, büyük boyutlarda oluşan çapağın temizleme maliyetlerine göre daha ekonomik olmaktadır [53-62]. Yani bir taraftan delme süresinin artmasına bağlı olarak maliyet artarken diğer taraftan, çok küçük boyutlarda çapak oluştuğu için çapak temizleme maliyeti azalmaktadır. Maliyetlerdeki bu artma ve azalma ise birbirini dengelemektedir. Ayrıca çapak boyutlarının azaltılması ile yer yer parçanın görevini normal bir şekilde yerine getirmesi ve kullanıcının talebine cevap vermesinden dolayı çapak temizlemesine bile ihtiyaç dahi göstermeden iş parçasının kullanılmasına olanak sağlayacağı da düşünülmektedir. Bu gibi durumlarda ise çapak temizleme maliyetleri ortadan kalkacağı için delme işlemi oldukça ekonomik olacaktır. Çapak boyutlarını azaltmak için literatürde [13-28, 109-112] önerilen yapıştırıcı uygulaması, özel tip matkap, çakı ve çapak temizleme bıçağı gibi yöntemlerin hem uygulanmasındaki zorlukları hem de bu özel tip kesicilerin imalat ve bakım giderleri dikkate alındığında [57-62], ayrıca CNC tezgâhlarının sanayide giderek yaygınlaşması düşünüldüğünde bu çalışmada sunulan kararsız delme yönteminin çok daha ekonomik olacağı görülmektedir.

4. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, Al-5005 alaşımının CNC freze tezgâhında delinmesi işleminde devir sayısı, ilerleme, matkap çapı ve uç açısının etkisine bağlı olarak iş parçasında oluşan çapak boyutları hem deneysel hem de YSA model kullanılarak incelendi. Ayrıca, delme deneyleri sonucu deliğin mikrosertlik ve pürüzlülük ölçümleri yapılarak bunların çapak boyutlarına etkisi de incelendi. Ek olarak bu çalışmada, çapak boyutlarını azaltmak için kararsız delme yöntemi olarak tanımlanan yeni bir delme yöntemi sunuldu ve buna göre yeni deneyler de yapıldı. Yapılan tüm bu deneylere göre aşağıdaki sonuçlar elde edildi.

- Delinen yüzeye yakın mesafelerde ölçülen mikrosertlik değerlerinin yüksek uzak mesafelerde ise az olduğu görüldü. Ayrıca mikrosertlik değerlerinin artmasına bağlı olarak çapak boyutlarının da arttığı tespit edildi.
- Genel olarak devir sayısı ve ilerleme arttıkça delik yüzeyine yakın bölgelerde mikrosertliğin arttığı, uç açısının artmasına bağlı olarak da azaldığı görüldü.
- Devir sayısı ve uç açısının artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerleme ve çapın artmasına bağlı olarak da arttığı görüldü.
- Devir sayısına bağlı olarak ölçülen pürüzlülük değerlerinin çapak boyutları üzerinde etkili olmadığı, ancak diğer parametrelere bağlı olarak ölçülen pürüzlülük değerlerinin çapak boyutlarını etkilediği görüldü.
- En düşük çapak yüksekliği ve kalınlığı Ø5 mm, 400 dev/dak, 0.1 mm/dev ve 140° uç açısına sahip matkap ile edildi.
- Matkap çapı, devir sayısı ve ilerleme arttıkça çapak boyutlarının arttığı, uç açısının artmasına bağlı olarak ise azaldığı görüldü.
- Çapak boyutları üzerinde sırasıyla uç açısı, ilerleme, çap ve devir sayısının etkili olduğu görüldü.
- Devir sayısının 400, 800 ve 1200 dev/dak olması durumunda çapak şeklinde çok büyük bir değişimin olmadığı genelde çapak şekillerinin birbirine benzediği, ancak devir sayısının artmasına bağlı olarak delik çevresinde oluşan çapak miktarının daha yoğun olduğu görüldü.

- Matkap uç açısının 90° olması halinde, genel olarak yüksek ilerleme ve devir sayılarında taç çapak gözlemlenirken ilerleme ve devir azaldıkça taç çapak ile yarı sürekli çapak oluştuğu görüldü.
- Matkap uç açısının 118° olması durumunda, yüksek ilerleme ve devir sayılarında taç çapak oluşurken ilerlemenin ve devir sayısının azalması durumunda ise çapak şekillerinin yarı sürekli çapak ile üniform çapak şekilleri arasında bir değişim gösterdiği görüldü.
- Matkap uç açısının 130° ve 140° olması durumunda ise, genel olarak üniform çapak oluştuğu ve diğer delme parametrelerinin çapak şeklinde etkili olmadığı sadece çapak boyutlarını artırdığı görüldü.
- Matkap çapının, çapak şekillerine büyük bir etkisinin olmadığı, sadece delik çevresinde deformasyona uğramış miktarın artmasına neden olduğu görüldü.
- Çapak yükseklikleri için elde edilen veri grupları arasında oldukça fazla farklılıklar olmasına rağmen, deney sonuçları ile YSA modelin vermiş olduğu cevaplar karşılaştırıldığında, modelin % 94 hassasiyetle gerçek değerlere yakın doğrulukta cevaplar verdiği görüldü.
- Yine çapak kalınlıkları için de elde edilen veri grupları arasında oldukça fazla farklılıklar olmasına rağmen, deney sonuçları ile YSA modelin vermiş olduğu cevaplar karşılaştırıldığında, modelin % 96 hassasiyetle gerçek değerlere yakın doğrulukta cevaplar verdiği görüldü.
- Bu çalışmada oluşturulan YSA modelin Al-5005 malzemesinin delinmesinde çapak boyutlarını önceden tahmin etmek için bir model olarak kullanılabileceği görüldü.
- Kararsız delme yöntemi olarak tanımlanan yeni delme yönteminde, kararlı delmeye göre elde edilen en küçük çapak yüksekliklerinde % 25'e çapak kalınlıklarında ise % 35'e varan bir azalma elde edildi.
- Çapak boyutlarını azaltmak için literatürde önerilen yapıstırıcı uygulaması, özel tip matkap, çakı ve çapak temizleme bıçağı gibi yöntemlerin hem uygulanmasındaki zorlukları hem de bu özel tip kesicilerin imalat ve bakım giderleri dikkate alındığında, ayrıca CNC tezgâhlarının sanayide giderek yaygınlaşması düşünüldüğünde bu çalışmada sunulan kararsız delme yönteminin çok daha ekonomik olacağı görülmektedir.

- Kararsız delme yöntemi ile yapılan deneylerde delme sürelerinde çok dikkate değer bir artışın oluşmadığı da görüldü.
- Kararsız delme şartları oluşturularak gerçekleştirilen deneylerde, çok küçük boyutlarda oluşan çapakların yer yer kullanıcının talebine cevap vermesinden dolayı, çapak temizlemesine bile ihtiyaç duyulmadan iş parçasının kullanılmasına olanak sağlayacağı da görüldü.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmada, daha sonra yapılacak çalışmalara yönelik bazı öneriler sırasıyla aşağıdaki gibi sunuldu:

1. Delme parametrelerinin değiştirildiği mesafe, delik çıkışına yakın bölgedeki deformasyon oluşum aşamaları (Bkz. Bölüm 1-Şekil 1.17) dikkate alınarak değiştirilebilir ve bu durumun hem çapak oluşumu üzerindeki etkisi hem de oluşan çapak boyutlarına göre kararsız delme yönteminin uygulandığı optimum mesafe araştırılabilir.
2. CNC tezgâhının kontrol ünitesinden yararlanarak, delik çıkışında ilk deformasyonun olduğu bölgeye kadar yüksek devir ve ilerleme değerlerinde delme yapılıp (delme süresini azaltmak için), daha sonra aynı anda hem matkap ucu hem de devir ve ilerleme değerleri değiştirilerek çapak oluşumları araştırılabilir.
3. Kararsız delme yöntemi uygulanarak delinen malzemelerin delik yüzeylerinin metalürjik ve fiziksel değişimleri araştırılabilir.
4. Delik boyunca anlık olarak hem sıcaklık hem de kuvvet ölçümleri yapılarak matkap ucunun kararsız delme şartları otomasyonel olarak oluşturulup, çapak boyutlarına etkisi incelenebilir.
5. Çapak şekillerinin geometrisi için model oluşturma konusu araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] ASM Handbook, 1999. Machining, Printed in USA, Volume: **16**, 761-804.
- [2] **Stringer, P., Byrne, G. ve Ahearne, E.**, 2010. Tool design for burr removal in drilling operations, http://www.ucd.ie/mecheng/ams/news_items/Peter%20Stringer.pdf, 1-7.
- [3] **Kim, J., ve Dornfeld, D. A.**, Development of an Analytical Model for Drilling Burr Formation in Ductile Materials, Transactions of the ASME, Vol. **124**, 2002:192-198.
- [4] **Koelsch, J.**, 2001. ‘Divining Edge Quality by Reading the Burrs’, Quality Magazine, December, 24-28.
- [5] **Toropov, A. A., ve Ko, S.L.**, 2007. Simulation of Burr Formation in Feed Direction in Turning, Key Eng. Mat. **329**, 719-724.
- [6] **Stein, J. M., ve Dornfeld, D. A.**, 1997. "Burr Formation in Drilling Miniature Holes", CIRP Annals, Vol. **46**, 63-66.
- [7] **Tosun, N.**, 2006. Determination of optimum parameters for multi-performance characteristics, in drilling by using grey relational analysis, *Int J Adv Manuf Technol* **28**, 450–455.
- [8] **Lee, K., ve Dornfeld, D. A.**, 2005. Micro-burr formation and minimization through process control, *Precis Eng*, **29**, 246–252.
- [9] **Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Achyutha, B. T., ve Siddeswarappa, B.**, 2007. Genetic Algorithm based Burr Size Minimisation in Drilling using Artificial Neural Network Models Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, *P I Mech Eng B-J Eng*, **221**, 12, 1695-1704.
- [10] **Kim, K. H., Cho, C. H., Jeon, S Y., Lee, K., ve Dornfeld, D. A.**, 2003. Drilling and deburring in a single process, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part *P I Mech Eng B-J Eng* , **217**, 9, 1327-1331.
- [11] **Kılıçkap, E.**, 2010. Modeling and optimization of burr height in drilling of Al-7075 using Taguchi method and response surface methodology, *Int J Adv Manuf Technol*, **10**. 170-179
- [12] **Kılıçkap, E.**, 2009. Al-7075'in Delinmesinde Oluşan Çapak Üzerine Delme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi, *I. Ulusal talaşlı imalat sempozyumu*, İstanbul, 2-3 Ekim, 142-150.
- [13] **Sung-Lim, K., ve Jing, K. L.**, 2001. Analysis of burr formation in drilling with a new-concept drill, *J. Mater Process Tech.*, **113**, 392-398,

- [14] **Wang, G. C., ve Zhang, C. Y.**, 2004. Mechanism of Burr Formation in Milling, *Adv Eng Mater.*, **78**-281, 259-260.
- [15] **Toropov, A., Ko, S. L., B., Kim, K.**, 2005. Analysis of Burr Formation Mechanism in Turning Aluminum Alloy Al6061-T6, *Adv Eng Mater*, **291**, 253-259.
- [16] **Ko, S. L., Chang J. E. ve Kaipakjian, S.**, 2003. Development of Drill Geometry for Burr Minimization In Drilling, *Cirp Ann-Manuf Techn* , **52**, 1, 45-48.
- [17] **Nakao, Y. ve Dornfeld, D.**, 2003. Influence of Exit Surface Angle on Drilling Burr Formation, Laboratory for Manufacturing and Sustainability Consortium on Deburring and Edge Finishing, *J Manuf Sci E-T Asme*, **125**, 637-644.
- [18] **Lee K.**, 2002. "Optimization and Quality Control in Burr Formation Using Design of Experiment (II): *Drilling of Intersecting Holes Avila Laboratory for Manufacturing Automation Research Reports*," LMA Annual Reports
- [19] **Lin, T. R. ve Shyu, R. F.**, 2000. Improvement of Tool Life and Exit Burr using Variable Feeds when Drilling Stainless Steel with Coated Drills, *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, **16**, 308-313.
- [20] **Sofronas, A.**, 1976. The effect of system stiffness, workpiece hardness and spindle speed on drilling burr thicknesses, *SME Technical Paper*, MR76-132,
- [21] **Hasegawa, Y., Shigio, Z. ve Akiyasu, Y.**, 1975. *Burrs in Drilling Aluminum and Prevention of it*, *SME*, **75**-480.
- [22] **Pande, S. ve Relekar, H.**, 1986. Investigations on Reducing Burr Formation in Drilling, *Int J Mach Tool Manufact*, **26**, 3, 339-348.
- [23] **Kim, D., Lee, W., Oh, Y. S. ve Chu, C. N.**, 2005. Prevention of exit burr in micro drilling of metal foils by using a cyanoacrylate adhesive, *Int J Adv Manuf Tech*, **27**. 11-12, 1071-1076.
- [24] **Sofronas, A., Steve, A.**, 1975. The Formation And Control of Drilling Burrs, *Ph. D. Thesis*, University of Detroit.
- [25] **Lee and Kiha**, 2004. Integrated Precision Machining and Burr Minimization in Metals, *Ph. D. Thesis*, University of California, Berkeley.
- [26] **Min, S., Dornfeld, D. A.**, 1998. *Consortium on Deburring and Edge Finishing*, University of California at Berkeley.
- [27] **Park, I.**, 1996. Modeling of Burr Measurement Processes in Metal Cutting'' *Ph. D. Thesis* University of California, Berkeley.
- [28] **Dornfeld, D. A. ve Guo, Y. B.**, 2000. Finite Element Modeling of Burr Formation Process In Drilling 304-Stainless Stell, *J. Manuf. Sci. Eng*, **4**,122, 612-620.

- [29] **Dornfeld, D. A.**, 1992. "Intelligent Deburring of Precision Components", *International Conference on Industrial Electronics, Control, Instrumentation and Automation*, IEEE, pp. 953-960.
- [30] **Stein, J. M., Narayanaswami, R., Ho, S. W., Lam, A. Y., Park, I., Babu, M., Afzal, A. ve Dornfeld, D. A.** 1993. "Intelligent Deburring of Precision Components", Tech. Papers, NAMRI/SME.
- [31] **Sokolowski, A., Narayanaswami, R., ve Dornfeld, D. A.**, 1994. Prediction of Burr Size using Neural Networks and Fuzzy Logic, *Japan-USA symposium on Flexible Automatio*, **11**, 64, 1658-1663.
- [32] **Sudakaram, S.**, 1999. Effect of Drill Geometry on Burr Height in Drilling of Aluminum 20204-T3, *Ph. D. Thesis*, Wichita State University.
- [33] **Dini, G.**, 2003. Online Prediction of Delamination in Drilling of GFRP using Neural Network Approach, *Mach Sci Technol*, **7**, 3, 295-314.
- [34] <http://www.alfed.org.uk>, ALFED (Avrupa Alüminyum Federasyonu), 10 Mayıs 2009 .
- [35] **Helvacioğlu, İ.**, Alüminyum Cürufu ve Önemi, *TMMOB*, **80**, 18.
- [36] **Gitzen, W. H.**, 1970. *Alumina As A Ceramic Material*, The American Ceramic Society.
- [37] **John, E. H.**, 1984. *Alüminyum Özellikleri ve Fiziksel Metalurji*, Alüminyum Derneği ve ASM International.
- [38] **Gitzen, W. H.**, 1966. *Alumina ceramics*, The American Ceramic Society.
- [39] **Mazzolani, F.**, 1995. *Aluminum Alloy Structures*, Cambridge University, Great Britain.
- [40] http://www.noregt.com/ee/images/uploads_noregt., 12 Mayıs 2009.
- [41] **Geçkinli. L. F.**, 2002. Alüminyum ve alaşımlarının ısıl işlemi, *2.ısııl işlem sempozyumu*, İstanbul, TÜRKİYE. 07-08 Şubat, 56-59.
- [42] <http://www.finishing.com/>, 10 Mayıs 2009.
- [43] **Askeland, D. R.** , 1990. *The Science And Engineering Of Metarials*, USA.
- [44] **Chain, K., S., Jones, P. ve Wang, Q.**, 2003. Fatigue crack growth and fracture paths in sand cast B319 and A356 aluminium alloys. *Indian J Eng Mater* **1-2**, 341,18-34.
- [45] **Cerit, M.**, TMMOB. 1996. Üretim ve Tasarım, MMO, **170**.

- [46] **Özcan, Ş. ve Bulut, H.**, 1991. Atölye ve Teknoloji I-II, Gül Yayınevi, Ankara.
- [47] Hava Teknik Okullar Komutanlığı, 1985. Metallerin Şekillendirilmesi, Hav. Tek. Ok. K. lığı Basımevi, İzmir.
- [48] **Bağcı, M., Erişgin, Y. ve Aslaner, M.**, 1982. Taşlamacılık ve Alet Bileme Teknolojisi, Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları, Etüd ve Programlama Dairesi Yayınları, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.
- [49] **Nebiler, İ.**, 1987. Tesviyecilik Atölye İş ve İşlem Yaprakları, Modül Teknik Eğitim ve Hizmet Organizasyonu-2, Emek Matbaacılık, Manisa.
- [50] **Özkara, H.**, 1998. Meslek Teknolojisi I ve III, İlksan Matbaası Ltd. Şti, Ankara.
- [51] **Şahin, N.**, 1995. Tesviyecilik Meslek Bilgisi I, Kozan Yayınevi, Ankara.
- [52] **Akkurt, M.**, 2004. Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [53] **Chang, J. E. ve Yang, G. E.**, 2003. Burr Minimizing Scheme in Drilling, *J Mater Process Tech*, **140**, 237-242.
- [54] **Gillespie, L. K.**, 1994. Process Control for Burrs and Deburring, *3. International Conference on precision surface finishing and burr technology*, Korea, 1-11.
- [55] **Min, S., Dornfeld, D. A., Kim, J. and Shyu, B.**, 2001. Finite Element Modeling of Burr Formation in Metal Cutting, *Mach Sci Technol*, **5 (3)**, 307-322.
- [56] **Domfeld, D. A.**, 2006. Strategies for burr minimization and cleanability in aerospace band automotive manufacturing, *Consortium on deburring and edge finishing*, University of California, Berkley, USA.
- [57] **Kim, J., ve Dornfeld, D. A.**, 2002. Development of an Analytical Model for Drilling Burr Formation in Ductile Materials, *J Manuf Sci E-T Asme*, **124**, 192-198.
- [58] **Costa, E. S., Silva, M. B. ve Macdhado, A. R.**, 2009. Burr Produced on the Drilling Process as a Function of Tool Wear and Lubricant- Coolant Conditions, *J. of Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.*, **31**, 57-63.
- [59] **Park, I. W. ve Dornfeld, D. A.**, 2000. "A Study on Burr Formation Processes using the Finite Element Method- Part I, Trans. ASME, J. Engineering Materials and Technology, April, Vol. **122**, pp.221-228.
- [60] **Julie, M., David, A. D.**, 1997. Burr Formation in Drilling Miniature Holes, *Annals of the CIRP* **46**, 7, 79-97. University of California, Berkeley,
- [61] **Dornfeld D.**, 2004. Strategies for Preventing and Minimizing Burr Formation, Codef: 1-18.

- [62] **Takeyama, K.**, 1993. Study on Oscillatory Drilling Airing at Prevention of Burr, *Jornal of Japan Soc. Of Prec. Eng.*, **9**, 10, 1719-1724.
- [63] **Manjunatha, N.**, 2007. Ann Model to Predict Burr Height and Thickness, Bachelor of Sicence in Industrial Engineering and Management, *Ph. D. Thesis* Wichita State University.
- [64] **Brundle, C. R., Evans, C. A. Jr. ve Wilson, S.**, 1992. *Encyclopedia of Materials Characterization*, Butterworth-Heinemann, Holland.
- [65] **Flegler, S. L., Heckman, J. W.**, 1993. Klomparens, Scanning and Transmission Electron Microscopy: An Introduction, Oxford Univ. UK.
- [66] **Ko, S. L., Jun, K. B., ve Lea, J. G.**, 1999. Development of the Burr Measurement System using Laser, *4th Japan-Korea Joint Technical Conference on Surface Finishing Bun Technology*, Inchon: 6676.
- [67] **Küçükkağmıcı, A. S.**, 1997. "Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Yöntemleri", *Y.Lisans Tezi*, G. Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.
- [68] **Stewart, W.**, "Surface Roughness Methods of Measurment", *Product Engineering*, p 124.
- [69] **Michael, F., Kahles, J.F. ve Koster W.P.**, 1989. ASM Handbook: "Surface finish and surface integrity", ASM, **3**: 468-475.
- [70] **Tash, M. W., Samuel, F. H., Doty, H. W. ve Valtierra, S.**, 2006. Effect of metallurgical parameters on the machinability of heat-treated 356 and 319 aluminum alloys, *Indian J Eng Mater*, **1-2**, 434 , 207-217.
- [71] <http://www.gordonengland.co.uk/hardness/microhardness.html>, 8 Nisan.2008.
- [72] **Abasov, V. A.**, 1997. Microhardness of chromium steels ground by different methods, *Met Sci Heat Treat*, **5**, 39, 219-220.
- [73] **Elmas, Ç.**, 2007. *Yapay Zeka Uygulamaları*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [74] **Haykin, S.**, 1999. *Neural Networks" A Comprehensive Foundation*. Prentice Hall, New Jersey.
- [75] **İnan, A.**, 1999. Yapay Sinir Ağlarının Güç Sistemlerinde Kullanım Alanları, *Kaynak Elektrik*, **119**,104-114.
- [76] **Kalogirou, S.A.**, 2000. Applications of Artificial Neural-Networks for Energy Systems, *Appl Energ*, **67**, 17-35.
- [77] **Han J., Moraga C.**, 1995. The Influence of the Sigmoid function Parameters on the Speed of Backpropogation Learning, *LNCS*, **930**, 195- 201, Germany.

- [78] **Kadiyalam, S., and Gurumorthy, R.**, 1996. Neural Network with modified backpropagation learning applied to structural optimisation, *Aiaa Journal*, **34**, 408-412.
- [79] **Jean, J. S. N. ve Wang, J.**, 1994. Weight smoothing to improve network generalisation, *Ieee Trans. on Neural Networks*, **5**, 752-763.
- [80] **Reed, R.**, 1996. Pruning algorithms- A survey, *IEEE Trans. On neural networks* **4**, 2, 740-747.
- [81] **Altun, H. ve Curtis, K. M.** 1998. Exploiting the Statistical Characteristics of the Speech Signals for improvement Neural Learning in MLP Neural Networks, *Ieee Trans. on Neural Networks*, **98**, 547-556, Cambridge, UK.
- [82] **Xavior, M. A. Ve Adithan, M.**, 2009. “Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. **209**, pp. 900-909.
- [83] **Sales, W. F., Diniz, A. E. Ve Machado, A. R.**, 2001. “Application of cutting fluids in machining processes”, *J Braz Soc Mech Sci*, **23**, 2.
- [84] **Hüseyinoğlu, M. ve Tosun, N.**, 2009. Al-7075 Alaşımının Frezelenmesinde Minimum Soğutma Sıvısının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs Karabük, Türkiye.
- [85] **Basavarajappaa S., Chandramohana G., Prabub M., Mukundb K., Ashwin M.**, 2007. Drilling of hybrid metal matrix composites—Workpiece surface integrity, *Int J Mach Tool Man*, **47**, 92–96
- [86] **Canteroa, J. L., Tardı'ob, M. M., Cantelia, J. A., Marcosc, M. Ve Migue'leza M. H.**, 2005. Dry drilling of alloy Ti–6Al–4V, *Int J Mach Tool Man*, **45**, 1246–1255.
- [87] **Tosun, G. ve Muratoglu, M.**, 2004. The drilling of an Al/SiCp metal-matrix composites, Part 1: microstructure, *Compos Sci Technol*, **64** (2): 299-308.
- [88] **Lee, B. Y., Liu, H. S. ve Tarng, Y. S.**, 1996. Modeling and Optimization of Drilling Process. Department of Mechanical Manufacture Engineering, National Huwei Institute of Technology, Huwei, **632**, pp. 1-9.
- [89] **Lee, B. Y., Liu, H. S. ve Tarng, Y. S.**, 1998. Modeling and optimization of drilling process, *J Mater Process Tech*, **74**, pp. 149–157.
- [90] **Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Achyutha, B. T., Siddeswarappa, B. Ve Paulo, D. J.**, 2009. Predicting burr size in drilling of AISI 316L stainless steel using response surface analysis, *Int J Mater Prod Tec*, **35**, 1,2, 228 – 245.

- [91] **Field, M., Kahles, F. J. ve Koster, W. P.**, 1997., ASM Handbook Machining, 16, 19-36.
- [92] **Şahin, Y.**, 2000. Talaş Kaldırma Prensipleri Cilt 1, Nobel Yayınevi.
- [93] **Şahin, Y.**, 2001. Talaş Kaldırma Prensipleri Cilt 2, Nobel Yayınevi.
- [94] **Kınkoğlu, N.**, 2006. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Nobel Yayınevi.
- [95] **Kurt, M., Kaynak, Y., Bakır, B., Köklü, U., Atakök, G. ve Kutlu, L.**, 2009. Al 2024-T4 alüminyumun elmas benzeri karbon (dlc) Kaplanmış matkaplarla delinmesinde kesme Parametrelerinin deneysel incelenmesi ve taguchi Optimizasyonu, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye.
- [96] **Çakır, C.**, 2006. Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- [97] **Özcelik, B. Ve Bağci, E.**, 2006. Experimental and numerical studies on the determination of twist drill temperature in dry drilling: A new approach, P I Mech Eng L-J Mat, **27**, 920–927.
- [98] **Bono M., Ni J. A.**, 2002 Model for predicting the heat flow into the workpiece in dry drilling, J Manufact Sci Eng; **124**: 773–7.
- [99] **Rahim, E. A. ve Sharif S.**, 2006. Investigation on Tool Life and Surface Integrity when Drilling Ti-6Al-4V and Ti-5Al-4V-Mo/Fe, JSME International Journal, Vol. **49**, pp.340-345.
- [100] **Sadık, M. I.**, 1993. “The Rool of Tool-Chip Contact Length in Metal Cutting” J Mater Process Tech, Vol. **37**, 613-627.
- [101] **Marinov, V. R.**, 2001. “Hybrid Analytical-numerical Solution for the Shear Angle in Orthogonal Metal Cutting-Part I: Theoretical Foudation”, Int J Mech Scı, Vol. **43**, 399-414.
- [102] **Toropov, A. ve Sung-Lim, K.**, 2007. “Prediction of Shear Angle for Continuous Orthogonal Cutting Using Thermo-mechanical Constants of Work Material and Cutting Conditions” J Mater Process Tech, Vol. **182**, 167-173.
- [103] **Monagham, J., O'Reily, P.**, 1992. “The drilling of an Al/SiC metal matrix composite”, J Mater Process Tech, **33**, 469-480.
- [104] **Akkurt, M.**, 2010. Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları, Seçkin Yayıncılık.
- [105] **Kaynak, Y.**, 2006. “ Matkap ile delik delme esnasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve sıcaklığın değişimine etkisinin deneysel olarak İncelenmesi”, Marmara Uni. Fen Bilimleri Enst., İstanbul.

- [106] **Kutlu, L.**, 2009. “Al 2024-T4 Alüminyumun Elmas Benzeri Kabon (DLC) Kaplanmış Matkaplarla Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi ve Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu” Marmara Uni. Fen Bilimleri Enst., İstanbul.
- [107] **Dornfeld, D. A. ve Miguel, C.**, 2002. Optimization and Quality Control in Burr Formation using Design of Experiment, *LMA Research Reports*, 45-48.
- [108] **Kurt, M., Bağci, E. ve Kaynak, Y.**, 2008. “Application of Taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes.” *Int J Adv Manuf Technol*, **07**, 1368-2.
- [109] **Byrne, G., Dornfeld, D., ve Denkena, B.**, 2003. Advancing Cutting Technology, STC “C” Keynote, *CIRP Annals*, 52, 2.
- [110] **Adachi, K.**, 1987. A Study on Burr in Low Frequency Vibration Drilling, *Bull.* **4**, 258-264.
- [111] **Lee, G. B.**, 1989. Digital Control for Burr Minimization in Drilling, *Ph. D. Thesis* University of California at Berkeley.
- [112] **Filiz, S., Caroline, M., Matthew, B. ve Özdoğanlar B.**, 2007. An experimental investigation of micro-machinability of copper 101 using tungsten carbide micro-endmills, *Int J Mach Tool Manu*, **47**, 1088–1100.

ÖZGEÇMİŞ

Erkan BAHÇE, 1981 yılında Malatya’da doğdu ve lise eğitimini H. Ahmet Akıncı Lisesi’nde tamamladı. 1998-2002 yılları arasında Fırat üniversitesi, mühendislik fakültesi, makine mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamlayarak makine mühendisi olarak mezun oldu. 2002-2005 yılları arasında Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında (Mak. Teo. ve Din. Prog.) yüksek lisansını tamamlayarak ‘‘Yüksek Mühendis’’ unvanını aldı. 2005 yılından itibaren Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında (Konst. ve İmalat Prog.) doktora eğitimini sürdürmektedir.