

**AZ91 MAGNEZYUM ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Berat Barış BULDUM

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİYEL TEKNOLOJİ EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ekim 2013

ANKARA

Berat Barış BULDUM tarafından hazırlanan “AZ91 MAGNEZYUM ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Aydın ŞIK
Tez Danışmanı, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Gazi Üniversitesi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Faruk MENDİ
İmalat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Aydın ŞIK
Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Bedri TUÇ
Makina Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. İbrahim ERTÜRK
Teknoloji Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi

Tez savunma tarihi 25/10/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Berat Barış BULDUM

**AZ91 MAGNEZYUM ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ
(Doktora Tezi)**

Berat Barış BULDUM

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2013**

ÖZET

Bu çalışmada AZ91D Magnezyum alaşımının tornalamada işlenebilirliği, Taguchi metodu yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, elde edilen yüzey pürüzlülük sonuçları Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modellenerek karşılaştırması yapılmıştır. İşlenebilirlik parametreleri olarak magnezyum alaşımlarının mekanik özelliklerine benzer özellikler gösteren malzemelerde kullanılan değerler ve literatür göz önüne alınmıştır. Deneysel çalışmada magnezyum alaşımlarının kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı kuru işleme ve minimum yağ ile soğutma uygulanmıştır. Kesme hızı değerleri 500, 750 ve 1000 m/dk, talaş derinlikleri 0,5, 1 ve 1,5 mm, ilerleme değerleri ise 0,05, 0,1 ve 0,2 mm/dev olarak belirlenmiştir. Kesme değerlerine ve soğutma tipine göre yapılan deneyler sonucunda ortaya çıkan kesme kuvveti değerleri, yüzey pürüzlülük değerleri ve takımlar üzerinde oluşan aşınma/yığılma durumları incelenmiştir. Magnezyum alaşımlarının kesmeye karşı gösterdikleri dirençlerin yüksek olmadığı tespit edilmiş olup, her bir kesme olayında ortaya çıkan kuvvetler incelenip değerlendirilmiştir. Kesme kuvvetlerinin arttığı deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Kesici takımlar üzerinde magnezyum alaşımlarının sıvanmaları tespit edilmiştir.

Verilerin YSA ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen sonuçlar deneysel çalışma ile tam uyumluluk göstermiştir.

Bu çalışma ile AZ91D magnezyum alaşımının işlenebilirliğinde yeni sonuçlar ve işleme tipleri hakkında yaklaşımlar geliştirilmiştir. Ekonomik değeri yüksek olan bu malzeme için uyarlanan Taguchi metodu ile maliyetler azalmış, modelleme yöntemi ile de işleme süresi ve çok daha az maliyetlerin ortaya çıkması sağlanmıştır.

Bilim Kodu : 705.3.014

Anahtar Kelimeler : Magnezyum alaşımları, işlenebilirlik, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, Taguchi metodu, yapay sinir ağları, minimum yağlama ile soğutma, AZ91D, MMY

Sayfa Adedi : 135

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Adın ŞİK

ANALYSING THE MACHINABILITY OF MAGNESIUM ALLOY AZ91**(Ph. D. Thesis)****Berat Barış BULDUM****GAZİ UNIVERSITY****GRADUATE SCHOOL OF NATUREL AND APPLIED SCIENCES****October 2013****ABSTRACT**

In this experimental research, turning machinability of AZ91D magnesium alloy has been investigated by using Taguchi method. Results of surface roughness obtained from the experiments are modeled with Artificial Neural Networks (ANN), and experimental data as well as ANN model are compared. In the experiments, turning parameters were selected by taking into consideration the parameters used for machining other materials which show similar mechanical properties to magnesium in the literature. Uncoated DCGT, VCGT and CCGT carbide inserts were used for the experiments. Dry cutting and minimum quantity lubrication conditions were applied due to different chemical and physical characteristics of magnesium alloys. In the experiments, three different cutting speeds (500, 750 and 1000 m/min), three different cutting depths (0,5, 1 and 1,5 mm) and three different feed rates (0,05, 0,1 and 0,2 mm/dev) were used. The results of cutting force, surface roughness and wear/build-up edge obtained from the experiments conducted by cutting values and cooling type have been investigated. The results showed that relatively lower cutting forces have been detected during turning of magnesium alloys. Each experimental result of cutting forces was evaluated. According to the experimental findings, surface roughness values increased as the cutting forces increased. Moreover, adhesion of magnesium alloys has been has been observed

on the cutting tools. Comparison of the data obtained from the ANN and experimental results showed that they showed a good compatibility.

In this work, a novel results and approaches have been developed about the machining of AZ91D magnesium alloys. The Taguchi method greatly reduces the cost of time and of machining to find the optimum machining solution for this expensive material.

Science Code : 705.3.014
Key Words : Magnesium alloy, machinability, cutting force, surface roughness, Taguchi method, artificial neural network, minimum quantity lubrication, AZ91D, MQL
Page Number : 135
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Aydın ŞIK

TEŞEKKÜR

Bu uzun süreçte her ihtiyacım olduğunda yanımda olan, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Aydın ŞİK'a ve Tez izleme komitesinde yer alan kıymetli bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım hocam Sayın Prof. Dr. Faruk MENDİ'ye, Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim ERTÜRK'e teşekkürü borç bilirim. Çalışmalarım deneysel kısmında, deney setlerini kullanmama izin veren Sayın Doç. Dr. Mustafa BAKKAL ve asistanlarına, desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ'ye, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet TAŞKESEN'e, Sayın Uzman İskender ÖZKUL'a teşekkür ederim.

Gösterdikleri maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli Mehmet Ali, Feride, Mustafa Kemal, Recep Kamil ve Toprak Çınar BULDUM'a teşekkür ederim.

Ayrıca 25/2010-05 No'lu Proje ile çalışmalarımıza maddi destek sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na da teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xx
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. MAGNEZYUM ALAŞIMI VE KURAMSAL TEMELLER	12
3.1. Magnezyum ve Alaşımları	12
3.1.1. Magnezyum alaşımlarının sınıflandırılması	13
3.1.2. Magnezyum alaşımlarının kullanım alanları	15
3.2. Talaş Kaldırma Prensibi ve İşlenebilirlik	20
3.2.1. Giriş	20
3.2.2. Talaş kaldırma mekaniği	22
3.2.3. Yüzey pürüzlülüğü	25
3.2.4. Kesici takım geometrisi	26
3.2.5. Kuru işleme	28
3.2.6. Minimum miktarda yağlayıcı ile işleme (MMY).....	29
3.3. Deneysel Tasarım ve Modelleme	30

3.3.1. Deneysel tasarım	30
3.3.2. Taguchi metodu.....	32
3.3.3. Yapay sinir ağları	33
4. MALZEME VE METOT	35
4.1. Deneysel Kullanılan AZ91D'nin Deneylere Hazırlanması.....	35
4.1.1. Metalografik incelemede kullanılan numunelerin hazırlanması	36
4.1.2. Sertlik ölçüm sistemi	37
4.1.3. Çekme deney sistemi.....	38
4.1.4. Darbe deney sistemi	40
4.2. Kesici Takımlar	40
4.3. CNC Torna Tezgahı	42
4.4. Kuvvet Ölçülme Sistemi	42
4.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçme Sistemi	45
4.6. Deneysel Kullanılan Soğutma Sistemi ve Sıvısı.....	45
4.7. SEM Cihazı ve Mikroskoplar.....	48
4.8. Deney Metotları.....	50
4.8.1. Deney tasarımının kurulması	50
4.8.2. Kuvvet ölçme deneyleri.....	52
4.8.3. Yüzey pürüzlülüğü deneyleri.....	72
4.8.4. Sertlik ölçümleri.....	73
4.8.5. Mikroyapı incelemeleri.....	73
4.8.6. Çekme deneyi.....	74
4.8.7. Darbe deneyi	74

4.8.8. Talaş incelemeleri	75
4.8.9. Takım yüzey incelemeleri.....	76
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	85
5.1. AZ91D Alaşımının Mekanik Özellikleri	85
5.1.1. Mikroyapı	85
5.1.2. Sertlik değeri	87
5.1.3. Çekme dayanımı.....	88
5.1.4. Darbe dayanımı	89
5.2. AZ91D Alaşımının İşlenebilirliği	90
5.2.1. Kesme kuvveti değerleri.....	90
5.2.2. Yüzey pürüzlülük değerleri	103
5.2.3. Kesici uç incelemeleri	116
5.2.4. Kuru ve MMY işleme değerleri	118
6. DENEY SONUÇLARININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI	120
6.1. YSA'nın Eğitim Aşaması	120
6.1. YSA'nın Test Aşaması	122
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	123
7.1. Sonuçlar	124
7.2. Öneriler	127
KAYNAKLAR.....	128
ÖZGEÇMİŞ.....	134

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Mg alaşımları standartları ve bileşimleri [ASTM B 93/B 93M -94 ve ASTM B94]	14
Çizelge 4.1. Deneyselde Kullanılan AZ91D malzemenin kimyasal bileşimi	36
Çizelge 4.2. Werte 200 kesici yağın özellikleri	47
Çizelge 4.3. Taguchi metoduna göre deneysel tasarım tipi	51
Çizelge 4.4. Taguchi metoduna göre serbestlik derecesinin bulunması	51
Çizelge 4.5. Deneysel çalışmada kullanılan değerler	53
Çizelge 5.1. AZ91D EDS analiz sonuçları	87
Çizelge 5.2. Çekme deneyi numune ölçüleri	88
Çizelge 5.3. Çekme deneyi sonuçları	89
Çizelge 5.4. Darbe dayanım test sonuçları.....	89
Çizelge 5.5. Kesme kuvveti sonuçları	90
Çizelge 5.6. Yüzey pürüzlülük sonuçları sonuçları	103
Çizelge 6.1. YSA'da bulunan yüzey pürüzlülük değerlerinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması (hata %)	123

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Magnezyum alaşımlarında kodama yöntemi	14
Şekil 3.2. Mg-Al denge diyagramı	15
Şekil 3.3. Kesme tiplerinin şematik gösterimi a)Dik kesme b)Eğik kesme	23
Şekil 3.4. Dik kesme operasyonunun detaylı gösterimi	23
Şekil 3.5. Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvet bileşenleri	24
Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülük oluşumunun şematik gösterimi	25
Şekil 3.7. Tornalamada kesici takım uç tiplerine göre kesme operasyonları	27
Şekil 3.8. Üstten bağlamalı kesici uçların gösterimi	28
Şekil 3.9. Minimum miktarda yağlayıcının şematik gösterimi	29
Şekil 3.10. Bir sistem veya sürecin genel gösterimi	31
Şekil 3.11. YSA yapısı	34
Şekil 4.1. Çekme testi numunesi	39
Şekil 4.2. 1 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	54
Şekil 4.3. 2 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	55
Şekil 4.4. 3 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	56
Şekil 4.5. 4 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	57
Şekil 4.6. 5 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	58
Şekil 4.7. 6 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	59
Şekil 4.8. 7 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	60
Şekil 4.9. 8 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	61
Şekil 4.10. 9 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	62
Şekil 4.11. 10 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	63

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. 11 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	64
Şekil 4.13. 12 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	65
Şekil 4.14. 13 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	66
Şekil 4.15. 14 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	67
Şekil 4.16. 15 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	68
Şekil 4.17. 16 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	69
Şekil 4.18. 17 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	70
Şekil 4.19. 18 Nolu deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet(N)–Zaman(sn).....	71
Şekil 5.1. MMY yöntemiyle kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri	91
Şekil 5.2. MMY yöntemiyle kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri	92
Şekil 5.3. MMY yöntemiyle altında talaş derinliği ve ilerleme hızına bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri	93
Şekil 5.4. MMY yöntemiyle kesici takım tipi ve kesme hızına bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri	94
Şekil 5.5. MMY yöntemiyle kesici takım tipi ve ilerleme hızına bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri	95
Şekil 5.6. MMY yöntemiyle kesici takım tipi ve talaş derinliği bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri	96
Şekil 5.7. Kuru ortamda kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri	97
Şekil 5.8. Kuru ortamda kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri	98
Şekil 5.9. Kuru ortamda talaş derinliği ve ilerleme hızı bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri	99
Şekil 5.10. Kuru ortamda talaş derinliği ve ilerleme hızı bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri	100

Şekil	Sayfa
Şekil 5.11. Kuru ortamda kesici takım tipi ve talaş derinliğine (mm) bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri	101
Şekil 5.12. Kuru ortamda kesici takım tipi ve ilerleme hızına (dev/mm) bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri	102
Şekil 5.13. MMY işleme şartlarında talaş derinliği ve ilerleme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri	104
Şekil 5.14. MMY işleme şartlarında kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri	105
Şekil 5.15. MMY işleme şartlarında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri.....	106
Şekil 5.16.MMY işleme şartlarında kesme hızı ve kesici takım tipine bağlı oluşanyüzey pürüzlülük değeri	107
Şekil 5.17. MMY işleme şartlarında talaş derinliği ve kesici takım tipine bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri	108
Şekil 5.18. MMY işleme şartlarında talaş derinliği ve kesici takım tipine bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri.....	109
Şekil 5.19. Kuru işleme şartlarında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri.....	110
Şekil 5.20. Kuru işleme şartlarında kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri.....	111
Şekil 5.21. Kuru işleme şartlarında talaş derinliği ve ilerleme hızına bağlı oluşan pürüzlülük değeri.....	112
Şekil 5.22. Kuru işleme şartlarında kesme hızı ve kesici takım tipine bağlı oluşan pürüzlülük değeri.....	113
Şekil 5.23. Kuru işleme şartlarında kesme hızı ve kesici takım tipine bağlı oluşan pürüzlülük değeri.....	114
Şekil 5.24. Kuru işleme şartlarında talaş derinliği ve kesici takım tipine bağlı oluşan pürüzlülük değeri.....	115
Şekil 5.25. Kesme kuvvet değeri grafiği	118
Şekil 5.26. Yüzey pürüzlülük değeri grafiği.....	119

Şekil	Sayfa
Şekil 5.27. Kesme kuvveti & yüzey pürüzlülük sonuçları karşılaştırması.....	119
Şekil 6.1. Yapay sinir ağlarında sistemin oluşturulması	120
Şekil 6.2. Deneysel çalışma ile YSA eğitim karşılaştırması	121
Şekil 6.2. Test sonuçlarının ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.....	121

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. BMW R6 motor.....	17
Resim 3.2. Üretilmiş Mg alaşımlı otomotiv parçaları (I).....	17
Resim 3.3. Üretilmiş Mg alaşımlı otomotiv parçaları (II)	18
Resim 3.4. Magnezyumdan imal edilmiş dişli kutusu kapağı	18
Resim 3.5. Mg'dan üretilmiş cep telefonu ve fotoğraf makinesi şasesi	19
Resim 3.6. Magnezyum alaşımından üretilmiş bisiklet şasesi	19
Resim 3.7. Magnezyum alaşımından üretilmiş ok sistemi.....	20
Resim 4.1. AZ91D iş parçası ve boyutları	35
Resim 4.2. Buehler Simplimet II Bakalite alma cihazı.....	36
Resim 4.3. Struers Rotopol 21 parlatma cihazı	37
Resim 4.4. Ernst dijital rockwell sertlik ölçüm cihazı	38
Resim 4.5. Alşa UTM çekme test cihazı.....	39
Resim 4.6. Alşa darbe test cihazı.....	40
Resim 4.7. DCGT serisi kesici takımlar	41
Resim 4.8. CCGT serisi kesici takımlar	41
Resim 4.9. VCGT serisi kesici takımlar	41
Resim 4.10. YCM CNC torna tezgahı	42
Resim 4.11. Kistler 9257BA	43
Resim 4.12. National Instruments BNC 2120	43
Resim 4.13. Kistler 5233A kontrol ünitesi.....	43
Resim 4.14. Kuvvet ölçme sisteminin gösterimi	44

Resim	Sayfa
Resim 4.15. CNC tezgaha bağlı dinamometrenin gösterimi	44
Resim 4.16. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı	45
Resim 4.17. MMY sistemi	46
Resim 4.18. MMY sistemin kesici takım üzerine uygulanması	46
Resim 4.19. ZEISS SUPRA 55 SEM görüntüleme cihazı	48
Resim 4.20. Quarum Q150R ES platin kaplama cihazı	49
Resim 4.21. Zeiss Axio Imager 2 ışık mikroskobu	49
Resim 4.22. Zeiss Stereo Discovery 8 ışık mikroskop	50
Resim 4.23. Deneysel çalışmanın yapıldığı CNC tezgah ve cihazlar	52
Resim 4.24. AZ91D işleme sonrası yüzey pürüzlülük ölçümü	72
Resim 4.25. Sertlik ölçümü	73
Resim 4.26. Mikroyapı fotoğrafları çekilen numuneler	73
Resim 4.27. Çekme testi sonrası AZ91D alaşımı	74
Resim 4.28. Darbe testi sonrası AZ91D alaşımı	74
Resim 4.29. Deney sonrası oluşan talaş tipleri	75
Resim 4.30. 1 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	76
Resim 4.31. 2 numaralı kesici takım a) x95 büyültme b) x800 büyültme	76
Resim 4.32. 3 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	77
Resim 4.33. 4 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	77
Resim 4.34. 5 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	78
Resim 4.35. 6 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	78
Resim 4.36. 7 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	79
Resim 4.37. 8 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	79

Resim	Sayfa
Resim 4.38. 9 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	80
Resim 4.39. 10 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	80
Resim 4.40. 11 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	81
Resim 4.41. 12 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	81
Resim 4.42. 13 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	82
Resim 4.43. 14 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	82
Resim 4.44. 15 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	83
Resim 4.45. 16 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	83
Resim 4.46. 17 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	84
Resim 4.47. 18 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme	84
Resim 5.1. 400x büyütmede AZ91D'nin mikroyapısı	85
Resim 5.2. AZ91D malzemenin x2000 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü	86
Resim 5.3. AZ91D malzemenin x2000 büyütmedeki EDS analiz bölgeleri	86
Resim 5.4. Sertlik ölçüm cihazının doğrulamasının gösterimi	87
Resim 5.5. AZ91 kesilen yüzeyde sertlik ölçümü	88
Resim 5.6. Çekme deneyi sonrası görüntüler	88
Resim 5.7. Çentik darbe testi sonucu	89
Resim 5.8. DCGT kesici takım ile deney sonrası takım ucu SEM görüntüsü	116
Resim 5.9. CCGT kesici takım ile deney sonrası takım ucu SEM görüntüsü	117
Resim 5.10. CCGT kesici takım ile deney sonrası takım ucu SEM görüntüsü	117

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
F_f	İlerleme kuvveti (N)
F_r	Ana kesme kuvvet (N)
F_r	Radyal kesme kuvvet (N)
F_x	X yönünde kuvvet
F_y	Y yönünde kuvvet
F_z	Z yönünde kuvvet
n	Devir sayısı (mm/dev)
R	Bileşke kuvvet (N)
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
Rq	Ortalama sapmaların karakökü
Rt	Maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı (μm)
W	Dönüş yönü
α	Boşluk açısı
λ_s	Talaş açısı
Kısaltmalar	Açıklama
Al	Alüminyum
ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
Ar	Argon
ASTM	American Society for Testing and Materials
AZ31	Magnezyum alaşımı (Al %3, Zn %1)
AZ91D	Döküm Magnezyum alaşımı (Al %9, Zn %1)
BUE	Built Up Edge (Yığıntı Talaş)

Kısaltmalar	Açıklama
Ca	Kalsiyum
CCGT	C type cutting tool (C Tipi Kesici Uç)
CNC	Computer Numeric Control (Bilgisayar Destekli Kontrol)
Co	Kobalt
CO₂	Karbondioksit
CrN	Krom Nitrit
DCGT	D type cutting tool (D Tipi Kesici Uç)
DT	Deney Tasarımı
d_w	İş parçası genişliği
d_{w1}	Talaş genişliği
EDS	Energy-dispersive X-ray spectroscopy (Enerji Dağılımlı Spektrometresi)
f	İlerleme
HRc	Brinell Hardness (Brinell Sertlik)
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
Hz	Hertz
Mg	Magnezyum
MMY	Minimum miktarda yağlama
MQL	Minumum Quantity Lubrication (minumum düzeyde yağlama)
PCD	Polycrystalline Diamond (Çok kristalli elmas)
PVD	Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Çökeltme)
SEM	Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
SKK	Sürtünme Karıştırma Kaynağı
t	Talaş derinliği
t₁	Talaş derinliği
TIG	Tungsten Inert Gas
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrit
TiN	Titanyumnitrit
TiO₂	Titanyumdioksit
TS	Türk Standartları

Kısaltmalar	Açıklama
VCGT	V type cutting tool (V Tipi Kesici Uç)
YSA	Yapay Sinir Ağları
Zn	Çinko

1. GİRİŞ

Bu çalışmanın konusu, AZ91D Magnezyum alaşımın tornalamadaki işlenebilirliğinin deneysel olarak araştırılarak, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve kesici takımlar üzerindeki değişimleri ile işlenebilirlik arasındaki ilişkinin çıkarılmasıdır. Bulunan sonuçların Yapay Sinir Ağları yardımıyla (YSA) modellenerek karşılaştırılmasıdır.

Endüstriyel uygulamaların temelini oluşturan imalat, çok geniş bir yelpazeye sahip olup geçmişte olduğu gibi günümüzde de incelenmesi ve geliştirilmesi endüstriyel uygulamalar için vazgeçilmez bir unsurdur. İmalat sektörü gün geçtikçe hızlanarak olumlu yönde ilerleme kaydetmektedir. Endüstrideki bu gelişmeler nedeniyle imalat üzerine yapılan çalışmalar durmaksızın kendisini yenilemektedir. Bir ürünün imalatı, ürünün tasarımı ile başlayıp, işlem planlamasından geçerek, hangi tip işleme yönteminin uygulanmasına karar verilmesiyle devam edip, kalite kontrol gibi aşamalarla son bulur. Bu süreç içerisinde talaş kaldırma işlemleri ise imalat endüstrisinin çekirdeğini oluşturmaktadır. Talaş kaldırma günümüzde endüstriyel bir uygulamadan öte bir bilim dalı olmuş olup üzerinde araştırmalar yapılarak, geliştirilmektedir. Her yeni malzeme üzerinde yapılan talaşlı imalat, bir araştırma konusu olmakla beraber bu araştırma sonucunda elde edilen çıktılar endüstriyel uygulamalara yön vermektedir. Dolayısıyla teknolojinin gelişimine de çok büyük bir katkı sağlamaktadır. Endüstrideki rekabet, insanların birbirleriyle olan yarışlarına hammaddeden bitmiş ürüne, imalatçıdan kullanıcıya kadar hep bu kavram üzerinde kıyasıya bir mücadele içine girmelerine sebep olmuştur. Beklentilerin hep daha yüksek olması imalat sürecindeki gelişmeleri hızlandırmıştır. Bu gelişmeler imalat yöntemlerini doğurmuş, teknolojiye imalat yöntemlerini klasikten modernleşmeye geçirmiştir. İmalat yöntemlerinden modern işleme yöntemleri son yüz yıl içerisinde önem kazansa da bazı klasik yöntemler önemini asla yitirmemiştir. Talaşlı imalat önemini yitirmediği sürece, bu imalat yönteminin en yaygın kullanımlarından olan tornalama yöntemi de önemini yitirmeyecektir.

Malzeme şekillendirme işlemleri arasında en önemlilerinden biri de tornalama işlemidir. Tornalama işlemi ile silindirik parçalar üzerinden talaş kaldırılarak, parçalara istenilen geometrik ve boyutsal özellikler kazandırmak mümkündür. Talaşlı imalatın birçok yöntemlerinde olduğu gibi tornalama alanında da verimlilik önem arz etmektedir. En iyi üretim, en iyi yüzey ve en düşük maliyet hedeflenen, arzu edilen bir konudur. Bu durumda karşımıza en iyiye ulaşma hedefi (optimizasyon) ortaya çıkmaktadır. En iyiye ulaşma çalışmaları ve bunu talaşlı imalat yöntemlerinde geliştirilmesiyle birlikte uyarlanması verimliliği arttırmaktadır. Optimizasyon, özellikle az bulunan ya da ekonomik değeri yüksek olan malzemeler üzerinde çok daha etkin sonuçlar vermektedir. Özellikle ekonomik değeri yüksek olan değerli malzemelerde en aza indirilmiş sarfiyat, üreticiler tarafından en çok istenen bir durumdur. Metallerin bilimsel geçerlilikleri olan yöntemleri kullanılarak şekillendirilmesi, özellikle talaşlı imalatlarının yapılması, istenen bir durumdur. Metaller içinde yer alan hafif metaller grubunda ise bu daha da önem kazanmaktadır. Hafif metaller günümüzde diğer metal gruplarına göre ekonomik olarak daha değerli olup bu değerleri gelişen teknoloji ile artmaktadır. Hafif metal grubundan Magnezyum alaşımlarının talaşlı imalatı, en az malzeme sarfiyatı ile yapılabilmesi, son ürün haline gelme sürecinde önemlidir. Bu malzemelerin düşük yoğunluklara sahip olmasının getirdiği avantajlara ek olarak ve endüstriyel uygulamalarda rakiplerine karşı gösterdiği avantajlar göz önüne alındığında, optimize edilmiş olarak imalatının yapılması da büyük bir avantaj sağlamaktadır. Magnezyum alaşımları en çok oranda içerdikleri metallere ve oranlarına göre sınıflandırılırlar. Talaşlı imalatta AZ serisi yani Alüminyum-Çinko alaşımının 91 kod ile bilineni tercih edilen bir türüdür. Bu alaşımlar, başta otomotiv ve elektronik el aletleri olmak üzere, hafifliğin/dayanımın önem kazandığı alanlarda tercih edilmektedir.

Bu çalışmayla, torna tezgâhında, kesme şartlarının (kesme hızı, ilerleme oranı, talaş derinliği ve soğutma tipinin) AZ91D'nin işlenebilirliği üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve deneyler sonunda elde edilen sonuçlar kullanılarak YSA ile tahmin modelinin oluşturulması hedeflenmiştir. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak YSA yöntemiyle karşılaştırma yapılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Tönshoff ve Winkler, araştırmalarında AZ91HP magnezyum malzemesinin işlemesinde kesici takımın kaplamasının etkilerini incelemişlerdir. Magnezyum malzemesinin soğutma sıvısız olarak 900 m/dak kesme hızında işlenmesinde kaplamasız ve TiN kaplı sementit karbür kesici takımların üzerinde talaş yığılması olduğu görölmüştür. Sonuç olarak kaplamasız ve TiN kaplı sementit karbür kaplamalı uçlar karşılaştırıldığında PCD kesici takımlar 900 m/dak hızlarında daha üstün davranış gösterdikleri rapor edilmiştir. PCD takım kullanıldığı zaman malzeme üzerinde en az yığıntı talaş oluşumu görölmüş ve aynı zamanda en iyi yüzey pürüzlülüğu sağlayan kaplama tipi olmuştur [1].

şık, AZ31 magnezyum alaşımlarının TIG ve SKK kaynakları arasındaki kaynaklanabilirliğini, kaynak performanslarını ve mikro yapılarını incelemiştir. Mekanik özelliklerini belirlemek için testler yapmış ve bu testlerin sonuçlarını değerlendirmiştir. şık'ı AZ31'in sac metal olarak özellikle otomotiv sektöründe kullanılıyor olması bu çalışmaya yönlendirmiştir [2].

Mendi, genetik algoritma yöntemini kullanarak metal imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan kaynaklı bağlantıların yükleme tipine bağlı oluşan gerilim için, global olarak optimum kaynak alanı seçimini araştırarak, bulunan sonuçları analitik yöntemle mukayese etmiştir [3].

Ertürk, magnezyum alaşımlarının kaynaklarının özellikle II. Dünya savaşında ihtiyaç olarak belirlediğini ve bu alanda yapılan çalışmaları değerlendirip ek olarak oksitlenmeyi vurgulamıştır. Alüminyum, magnezyum ve alaşımları gibi kolaylıkla oksitlenen malzemelerin kaynağında CO₂, gibi aktif bir gazın kullanılmamasına rağmen, bu gaz çeliklerin kaynağında yeni imkanların ortaya çıkmasına sebep olduğunu vurgulamıştır [4].

Külekci, otomotiv sektöründe Mg alaşımlarının kullanımına özellikle vurgu yapıp, bunun en önemli etkilerinin araç yakıt tüketimlerinin azaltılmasını vurgulamıştır. Günümüzde Mg alaşımlarının bir otomobilde hemen hemen her kısmında kullanıldığını belirtmiştir. Özellikle ağırlığın söz konusu olan yerlerde önemli bir alternatif malzeme gurubu olduğunu bildirmiştir [5].

Kim ve Lee, magnezyum alaşımını basınçlı hava yardımıyla soğutarak, işleme sonrasında ortaya çıkan pürüzlülüğü değerlendirmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında AZ31B magnezyum alaşımını frezeleme operasyonuna tabi tutarak diş başı ilerleme, kesme hızı ve kesici takım üzerinde kullanılan kesici uç sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda yüzey pürüzlülüğünün diş başına ilerleme, takım üzerindeki uç sayısı artışı ile arttığını tespit etmişlerdir. Fakat belli bir aralıkta değişiklik gösteren kesme hızlarında hava ile soğutulan iş parçasının yüzey pürüzlülüğünün açık biçimde değişmediğini gözlemlemişlerdir [6].

Fang ve arkadaşları, araştırmalarında magnezyum alaşımını yüksek hızlarda kuru ortamda işlemede ortalama uç kenar sıcaklığının ölçülmesi üzerine çalışmışlardır. Magnezyum alaşımını erimiş durumda iken oksijene maruz kaldığı takdirde alev alan bir malzeme olduğundan dolayı dikkat edilmesi gereken bir işleme şartlarına sahip olunması gerektiğini düşünerek bu çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalar dik işlemede özel olarak tasarlanmış termokopullar kullanılarak farklı kesme, ilerleme hızlarında ve farklı talaş derinliklerinde yapılarak ölçümler yapılmıştır. Deney sonucunda uç kenar ortalama sıcaklığının 302 °C olduğu bulunmuş ve talaşlar üzerinde yanık izlerine rastlanmamıştır [7].

Akyüz araştırmalarında magnezyum malzemenin ve alaşımlarının işlenebilirliğini inceleyen literatür taraması yapmıştır. Çalışması sonucunda magnezyum ve alaşımlarının işlemede talaşların yangın problemlerine neden olabilecek şekilde parlayabilir olduklarını, kuru işlemlerde takım, malzeme arasında talaş yığılması olduğunu, kesici takım kaplamasının türünün yığılmayı etkilediğini belirtmiştir [8].

Cus ve arkadaşları, hafif metallerin yüksek hızlarda frezelenmesi üzerine çalışmışlardır. Yüksek hızlarda çalışmanın hızlı işlem süresi ve iyi derecede yüzey kalitesi edilmesinden dolayı alüminyum ve magnezyum malzemesi seçilerek deneyler yapılmıştır. Çalışmaları sonucunda yüksek hızla kesim işleminin geleneksel işleme yöntemlerine göre teknik olarak daha avantajlı olduğu görülmüştür. Avantaj olarak daha kısa işleme zamanı, daha kaliteli yüzey ve daha uzun kesici takım ömrü görülmüştür [9].

Kauppinen araştırmasında yüksek hızla frezeleme üzerine çalışmıştır. Çalışmalarında çelik, alüminyum alaşım, grafit ve polimer matrix kompozit malzemeler işlenmiştir. Deneyler sonucunda bir çok malzemenin yüksek hızlarda frezelenmesi görülmüştür. Fakat yüksek hızlarda işleme yaparken kesme parametrelerinin dikkatlice seçilmesi gerektiğini, uygun seçilen parametrelerin kesici takımın ömrünü artıracaklarını aksi takdirde takım aşınmasının hızlıca azalacağı rapor edilmiştir [10].

Lü ve arkadaşları, AZ91 magnezyum alaşımının çatlak oluşum davranışını incelemişlerdir. Optik mikroskop ve SEM kullanılarak çekme darbe testleri sonunda koparılmış AZ91 alaşımının çatlak oluşumu kontrol edilmiştir. Yapılan deneylerde çekme testi darbe testinden farklı yük formlarından dolayı farklılık göstermiştir. Darbe testinde çatlak morfolojisi farklı bölgelerde farklı yapılarda görülmüştür. İncelemeler sonucunda AZ91 malzemesinin gevrek çatlaklıklar ve yarılmaları olduğu tespit edilmiştir. Mg/Mg₁₇Al₁₂ arayüzü sıklıkla çatlak oluşumunun başlangıç kaynağı olmuştur [11].

Aldarwish ve arkadaşları AZ91C malzemesini farklı sulu çözeltiler içinde yorulma korozyonu üzerine çalışmışlardır. AZ91C magnezyum alaşımının yorulma korozyonunu ve korozyon davranışını 3,5% NaCl (pH=1, 2, 6, 7, ve 9), 3,5% NaCl+Na₂B₄O₇ (konsantrasyon: 0,05, 0,1, 0,15 ve 0,2N) ve Na₂B₄O₇ (konsantrasyon: 0,05, 0,1, 0,15 ve 0,2 N) çözeltileri kullanılarak incelenmiştir. Yorulma korozyonu düzlem bükme makinası kullanılarak stress oranı R=0,5 ve 10 Hz sabit frekans

altında yapılmıştır. Deneysel sonuçları X-RAY ve SEM kullanılarak yüzey film tabakası analiz edilmiştir [12].

Li ve arkadaşları iki adet magnezyum alaşımının düşük döngü yorulma davranışını incelemişlerdir. Çalışmalarında AZ91 ve AE42 alaşımlarını kullanmışlardır. Deneysel Shimadzu marka servohidrolik test makinasında yapılmıştır. Malzemelerin yorulma ömürlerinin oldukça düşük olduğunu bunun nedeninin de malzemelerin düşük süneklik yapısı olduğu belirtilmiştir [13].

Wang ve arkadaşları Si_3N_4 -Mg-Al-Zn (AZ91) kompozit malzemesinin işlenebilirliği ve imalatı üzerine çalışmışlardır. Metal matrix kompozit olan bu ürün daldırma, sinterleme ve süzme operasyonları ile imal edilmiştir. İşlenebilirlik çalışmasında PCD takım kullanılarak yapılan tornalama işleminde Si_3N_4 -Mg-Al-Zn malzemesinde kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değeri düşüş göstermiş daha sonra Si_3N_4 seramik fazının kesmeye katılımı ile yüzey pürüzlülüğü değeri de lineer olarak artış göstermiştir. İlerleme hızındaki artışta kaliteyi artırmıştır. Talaş derinlik artışı kaliteyi çok fazla etkilemediği tespit edilmiştir [14].

Chen ve arkadaşları thixoform AZ91D magnezyum alaşımının işlemede aşınmaya etkisini araştırmışlardır. Deneysel kuru ortamda vargel kayma hareketi ile incelemişlerdir. Alüminyum kesiminde kullanılan kesici takımlar kullanmışlardır. Deneysel sonunda işleme parametrelerinin baskın aşınma mekanizmasını değiştirmede fakat aşınma oranını değiştirdiği gözlemlenmiştir. Aşınma miktarı kalıp sıcaklığının artması ile artmıştır. Isı değişiklikleri aynı zamanda malzeme üzerinde sertlik değişimlerine neden olmuştur. Parametre değişiklikleri sürtünme katsayını, sürtünme mekaniğinden önemli bir derecede değişiklik olmadığı için değiştirmemiştir [15].

An ve arkadaşları magnezyum alaşımının kuru sürtünmede aşınmalarını incelemişlerdir. $Mg_{97}Zn_1Y_2$ ve AZ91 alaşımlarını pin-on-disk konfigurasyonunu kullanarak testlerini yapmışlardır. Sürtünme ve aşınma oranları 20–380 ve 20-240N yük aralığında ve 0,785 m/s kayma hızında ölçülmüştür. X-ray diffractometer, SEM

ve çekme cihazları alaşımlarını mikro yapıları ve mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılmıştır. 5 aşınma mekanizması aşınma, oksidasyon, delamination, termal yumuşama ve erime gözlemlenmiştir. $Mg_{97}Zn_1Y_2$ AZ91 ile karşılaştırıldığında iyi bir aşınma direnci göstermiştir [16].

Bhowmick ve arkadaşları kuru ve minimum soğutma sıvısı ile AM60 döküm magnezyum alaşımının delinmesi üzerine çalışmışlardır. Deneylerinde minimum su ve yağlı asit kullanarak maksimum ve ortalama tork oluşumu ve aksenal kuvvetler ölçülmüştür. Kuru delmelerde takım ömrünün aşırı magnezyum talaşı boşaltımı olduğundan dolayı çok kısa olmuştur. Düşük soğutma sıvısı kullanılmasıyla, talaş yığılmasının, tork ve aksenal kuvvet değerlerinin de azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda işleme esnasında meydana gelen ısı oluşumu kuru işlemeye göre daha az olduğu görülmüştür. Minimum soğutma sıvısı kullanımı stabil bir delik delme performansı göstermiştir [17].

Gariboldi çalışmasında PVD kaplı matkap ile magnezyum alaşımında delme üzerine çalışmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere TiN, CrN ve farklı iki ZrN kaplamasını PVD prosesini kullanarak HSS matkapları kaplamıştır. Delik delme işlemlerinde farklı hızlarda ve farklı delme derinliklerinde farklı uçlar ile yapılmıştır. Deneyler sonucunda optimal kesme aralığı bulunmuştur [18].

Ruzi ve arkadaşları, dövülmüş magnezyum alaşımının işlenebilirliği üzerine araştırma yapmışlardır. İncelemiş oldukları çalışmalar sonunda dövülmüş magnezyum alaşımının işlemedeki ilk prensibin sıcaklık olduğunu rapor etmişlerdir [19].

Lee arkadaşlarıyla AZ31 ve AZ61'den imal edilmiş olan plaka halindeki magnezyum alaşımlarını oluşturulmuş izotermal ortamda şekillendirilebilme yeteneklerini değişken sıcaklık şartlarında araştırarak, 0,5, 1,3, 1,7 ve 2 mm kalınlıklarında şekillendirilebilmenin mümkün olduğunu göstermişlerdir [20].

Maki arkadaşlarıyla, kafes yapısına sahip olan ve oda sıcaklığında şekillendirilebilme özelliği kolay olmayan AZ91, AZ31 ve AZ61 magnezyum alaşımlarının ısıtılarak şekillendirilebilme durumunun artırmak için araştırma yapmışlardır. Çapı 15 mm ve boyu 20 mm olan bu alaşımların şekillendirilebilmesini rezistans ısıtıcı yardımıyla yapmışlardır. Farklı çaplarda elde edilen bu alaşımlar enjeksiyon yöntemiyle şekillendirmişlerdir [21].

Kohzu arkadaşlarıyla magnezyum alaşımlarını presleme yöntemiyle şekillendirilebilme kabiliyetini araştırmışlardır. AZ31 ve Al100 magnezyum alaşımlarına 453 K sıcaklığında çekme, çentik-darbe ve eğilme deneyleri yaparak özelliklerini araştırmışlardır [22].

Takahashi arkadaşlarıyla, magnezyum alaşımlarından elde ettikleri çekme borularının eğilmeye ve şekil değiştirmeye özelliklerini araştırmışlardır. Çok kullanılan yöntemlerden olan kalıba döküm yöntemiyle ve dövme yöntemini kullanarak şekillendirebilme üzerinde çalışmışlardır. Hekzagonal kafes yapısına sahip olan Magnezyum, oda sıcaklığı değerlerinde ana düzlem içinde, dikey yüzey düzlemi hattında ikincil olarak kayma eğilimi gösterir. Bu durum düşük sıcaklık değerlerinde tokluk direncini sınırlamaktadır [23].

Zhang arkadaşlarıyla Mg-Zn-Al (ZA) alaşımları üzerine araştırma yapmışlardır. Kalıba döküm yöntemiyle üretilen AZ91 alaşımı, sıcaklığın 120 °C'yi geçtiği sıcaklıklarda sürünme direnç değerinin düştüğünü ve mukavemet özelliklerinin de azaldığını tespit etmişlerdir. Dolayısıyla daha iyi sürünme direncine sahip olan, dökülebilirliği iyileştirme ve daha iyi mukavemet özellikleri olan yeni bir döküm yoluyla magnezyum üretimi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışma doğrultusunda alaşıma belirli oranlarda Ca ve Sr eklemişlerdir. [24].

Men arkadaşlarıyla Mg-Cu-Zn-Y yapısında yer alan metalik cam şekillendirilmesine yönelik çalışma yapmışlardır. Bu doğrultuda $Mg_{65}Cu_{25}Y_{10}$

içerisine Zn katılarak $Mg_{65}Cu_{20}Zn_5Y_{10}$ ile ilgili araştırmalar yapmışlardır. Çalışma sonucunda alaşımdan çapı 6 mm olan Rot'u tamamen cam olarak üretmişlerdir [25].

Trojanova arkadaşlarıyla magnezyum alaşımlarını ısıl işlem uygulayarak basınç altında şekillendirilebilme özelliklerini araştırmışlardır. Bu doğrultuda AZ91, AE42, ZE41, AS21, Mg_4Li , QE22, ve Mg_8Li alaşımlarını 230–300 °C değerleri arasında sertleştirip ve yumuşatarak elde edilen farklı özellikleri kaydetmişlerdir. Yumuşatma işlemine yüksek sıcaklıklarda uygulayarak dislokasyon tırmanmasını ve çapraz kaymanın kontrol edilebilirliğini göstermişlerdir [26].

Spigarelli arkadaşlarıyla, Mg-Al-Si-RE (ASE210) alaşımının 120–180 °C sıcaklık değerleri aralığında basma kuvveti altında gerçekleştirilen deneylerde malzemenin fiziksel değişime uğramaları ve yapısında çatlak oluşum durumlarını incelemişlerdir. Çekme işlemine göre basma işleminin gösterdiği performans incelendiğinde alaşımın mukavemet özelliğinin daha iyi değere sahip olduğunu tespit etmişlerdir [27].

Ogawa arkadaşlarıyla, ZK60 magnezyum alaşımının 100 den 400 °C sıcaklığa kadar artan sıcaklıklarda şekillendirilebilme sınırlarının belirlemek için silindirik parçaları ekstrüde etmişlerdir. 200 °C altı sıcaklıklarda silindirik parçaların gevrek bir yapıda olduğunu tespit ederek çok daha iyi bir şekillendirmenin 250 ve 400 °C arasında yapılabilir olduğunu göstermişlerdir [28].

Yoshihara arkadaşlarıyla, magnezyum alaşımlı tüplerin dönel şekillendirme yöntemiyle yapılan üretimlerini iyileştirmek amacıyla, çalışmalarını 300 °C'de yaparak, sonlu eleman analizi yöntemiyle modellemişlerdir [29]. Diğer bir çalışmalarında ise [26] malzemeyi ısıtarak ve soğutarak daha önce yapılmamış derin çekme tekniği yapmışlardır. Sonucunda oda sıcaklığında biçimlendirilmesi kolay olmayan Magnezyum alaşımlarından yapılmış olan levhaların bu yöntem ile şekillendirilebilme yeteneğini artırmışlardır. Yaptıkları diğer bir çalışmada ise [31] malzemeyi aynı şekilde ısıtarak ve soğutarak dairesel derin çekme ile form verme

olayını incelemişler ve bölgesel alanlarda oluşturulan optimum sıcaklık sayesinde şekil verme olayının daha kolay yapılabilirliğini göstermişlerdir.

Hamana arkadaşlarıyla, ağırlıkça %12 oranında Magnezyumu içeren Al alaşımlarında geçiş fazının iyileştirilmesi ve şekillendirmede ortaya çıkan plastik deformasyon olayının etkilerini araştırmışlardır. Soğuk hadde ve soğuk şekillendirme yöntemleri üzerine çalışmışlardır. Haddeleme ve şekillendirmede geçen işlem hızlarının tane çekirdeklenmesi konusunda önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir [32].

Chen arkadaşlarıyla, AZ31 alaşımdan imal edilmiş olan levhaların şekillendirilebilmelerini araştırmışlardır. Oda sıcaklığında şekillendirmesi zor olan özelliklerinin iyileştirilebilmesi amacıyla yeni bir kalıba yeni bir döküm yöntemi tasarladıklarını belirtmişlerdir [33].

Lai arkadaşlarıyla, Mg–Al–Ti/MgO'de TiO₂ indirgenmesi yardımıyla şekil verme olayını araştırmışlardır. 400°C'de yaptıkları deneysel çalışmalar neticesinde indirgeme yöntemiyle MgAl₂O₄ formu elde etmişlerdir [34].

Gennari arkadaşlarıyla, Mg₂Co ve MgCo bileşiklerinin kararlılığı üzerine araştırma yapmışlardır. Araştırmalarında Mg ve Co'nun Ar gazı kullanarak çalışma yapmışlardır. Isıl işlem yardımıyla mekanik alaşımlama üzerine çalışma yapmış olup sonucunda Mg ve Co'nun katı hal tepkime metodunu kullanmışlardır. MgCo kararlı bir yapıya sahip olduğunu ve Mg₂Co'ya kıyasla şekillendirilmesinin kolay olduğu sonucunu bulmuşlardır [35].

Takuda arkadaşlarıyla, AZ31 magnezyum alaşımlarından elde edilmiş olan levhalara şekil verme olayını sonlu eleman analizini kullanarak incelemişlerdir. AZ31'in şekillendirilmesinde belirli bir değerden sonra kopma eğilimine geçmektedir. Yapılan çalışmalarda kırılma şartlarını kullanıp sonlu elemanlar analiziyle biçimlendirmeyi tahmin etmişlerdir [36].

Tegenkamp arkadaşlarıyla, magnezyumu yüzey kaplama üzerine çalışma yapmışlar ve bu çalışmalarında gümüş üzerine Mg'un kaplanması ve şekillendirilmesini araştırmışlardır. 300 K üzerinde düzgün sıralanmış Magnezyum tabakalarının yapısında daha düşük sıcaklık değerlerinde düzgün olmayan bir tabakalanmaların oluştuğunu tespit etmişlerdir [37].

Iwanaga arkadaşlarıyla AZ31 magnezyum alaşımıyla yaptıkları deneysel çalışmalarını, oda sıcaklığı değerlerinde ve buna ek olarak belirlemiş oldukları bazı daha yüksek sıcaklık değerlerinde, şekillendirilebilme kabiliyetlerini iyileştirme üzerine yapmışlardır. Yapısı Mg – (Kütlece) %1 Al – (Kütlece) % 1 Zn olan levhaların oda sıcaklığı değerinden, 175 °C sıcaklığa kadar ki değerlerde ve Erichsen sabitinde yapılan deneylerde iyileşme görmüş ve beraberinde de daha iyi derin çekme özelliğini bulmuşlardır [38].

Atalay, magnezyum alaşımlarının işlenmesinde bir kesme sıvısı kullanılmadan da yapılabileceğini bildirmiştir. Magnezyumun diğer metallere göre sahip olduğu daha iyi ısı iletkenliği özelliğinden dolayı soğutma sıvısının sağladığı avantajlara, her zaman ihtiyaç duyulmayacağını belirtmiştir. Kuru işleme yöntemi uygulamalarda temiz ve daha düşük maliyet avantajı sunar. Fakat kuru işleme esnasında ortaya çıkan talaşların kesme bölgesinden uzaklaştırılmasının önemine vurgu yapmıştır [39].

3. MAGNEZYUM ALAŞIMLARI VE KURAMSAL TEMELLER

3.1. Magnezyum ve Alaşimleri

Element olarak ilk, Sir Humphrey Davey tarafından 1808 yılında keşfedilen Magnezyum, tüm konstrüksiyon metalleri içinde en hafif olanıdır [40]. Magnezyumun hafiflik özelliği plastiklere benzerken, dayanım özellikleri ise metallere benzer. Yerkabuğunun % 2,7'sinde ve okyanusların %0,13'ünde bulunması sebebiyle Mg elementi rezervleri oldukça zengindir [41]. Yerkabuğunda en çok bulunan 8. element olan Magnezyum, tuzlu su tortuları, tuz gölleri ve okyanuslardaki magnezyum potansiyeli düşünüldüğünde; doğada en çok bulunan metal haline gelmektedir. Periyodik tabloda IIA grubunda yer alan toprak alkali elementtir.

Simgesi	: Mg
Atom numarası	: 12
Atom ağırlığı	: 24,312 g/mol
İyon değeri	: +2
Kaynama noktası	: 1107 °C
Ergime noktası	: 650 °C
Yoğunluğu	: 1,74 g/cm ³
Elektron düzeni	: 3S ²
Kristal yapısı	: Hekzagonal
Kovalent yarıçapı	: 1.36 °A
Atom yarıçapı	: 1,60 °A (12 koordinasyon sayılı metalik durumda)
İyon yarıçapı	: 0,65 °A (6 koordinasyon sayılı kristaldeki)
Atom hacmi	: 14,0 (atom ağırlığı/yoğunluk)
Birinci iyonlaşma enerjisi	: 176 kcal/mol
Özgül ısı	: 0,25 cal/g °C
Isı iletkenliği	: 0,38 cal/cm ² , s.cm. °C (oda sıcaklığında)
Elektrik iletkenliği	: 0,224 mikrohm -1 (0° ile 20 °C arasında)
Erime ısı	: 2,14 kcal/atomgram
Kaynama ısı	: 32,517 kcal/atomgram
Asit-Baz özelliği	: Baz

1,7 g/cm³ lük yoğunluğa sahip olan Magnezyum, yoğunluğu çelikten %78 (5,5 kat), çinkodan %76 (4,1 kat) ve alüminyumdan ise %38 (1,53 kat) daha hafif olması sebebiyle, birçok sektörde yapı malzemesi olarak kullanımına olanak sağlamaktadır. Dayanım/ağırlık (özgül dayanım) değerleri dikkate alındığında hafiflik yönünden rakibi olan alüminyuma göre daha yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Böylece magnezyum alaşımları hafifliğin önem kazandığı özellikle otomotiv ve hava taşıtlarında, spor aletlerinde, elektronik cihazlarda kullanımını imalat sanayinde artan bir şekilde kullanılmaktadır.

3.1.1. Magnezyum alaşımlarının sınıflandırılması

Magnezyum alaşımları bünyesinde en yüksek oranda sahip olduğu 2 elementin ilk harfleri ve kendi içinde sahip oldukları yüzdelik oranlara göre adlandırılırlar.

Magnezyum alaşımlarının kendine özel kodlamaları vardır. Bunlar;

AE Serisi	: Magnezyum, alüminyum ve nadir toprak alaşımları-Örn:AE42
AJ Serisi	: Magnezyum, alüminyum ve stronsiyum alaşımları-Örn:AJ52
AM Serisi	: Magnezyum, alüminyum ve mangan alaşımları-Örn:AM60B
AS Serisi	: Magnezyum, alüminyum ve silisyum alaşımları-Örn:AS31
AZ Serisi	: Magnezyum, alüminyum ve çinko alaşımları-Örn:AZ91D
EQ Serisi	: Magnezyum, nadir toprak gümüş ve bakır alaşımları-Örn:EQ21
EZ Serisi	: Magnezyum, nadir toprak ve çinko alaşımları-Örn:EZ33A
HM Serisi	: Magnezyum, toryum ve mangan alaşımları-Örn:HM21A
HZ Serisi	: Magnezyum, toryum ve zirkonyum alaşımları-Örn:HZ32A
QE Serisi	: Magnezyum, gümüş ve nadir toprak alaşımları-Örn:QE22A
QH Serisi	: Magnezyum, gümüş ve toryum alaşımları-Örn:QH21
WE Serisi	: Magnezyum, itriyum ve nadir toprak alaşımları-Örn:WE43
ZC Serisi	: Magnezyum, çinko ve bakır alaşımları-Örn:ZC71
ZK Serisi	: Magnezyum, çinko ve zirkonyum alaşımları-Örn:ZK11
ZT Serisi	: Magnezyum, çinko ve toryum alaşımları-Örn:ZT32

Şekil 3.1’de Magnezyum alaşımlarının kodlama yöntemi gösterilmektedir. Bu kodlama yöntemine göre, magnezyum alaşımının nominal %9 alüminyum ve %1 çinko içerdiğini göstermektedir.



Şekil 3.1. Magnezyum alaşımlarında kodlama yöntemi

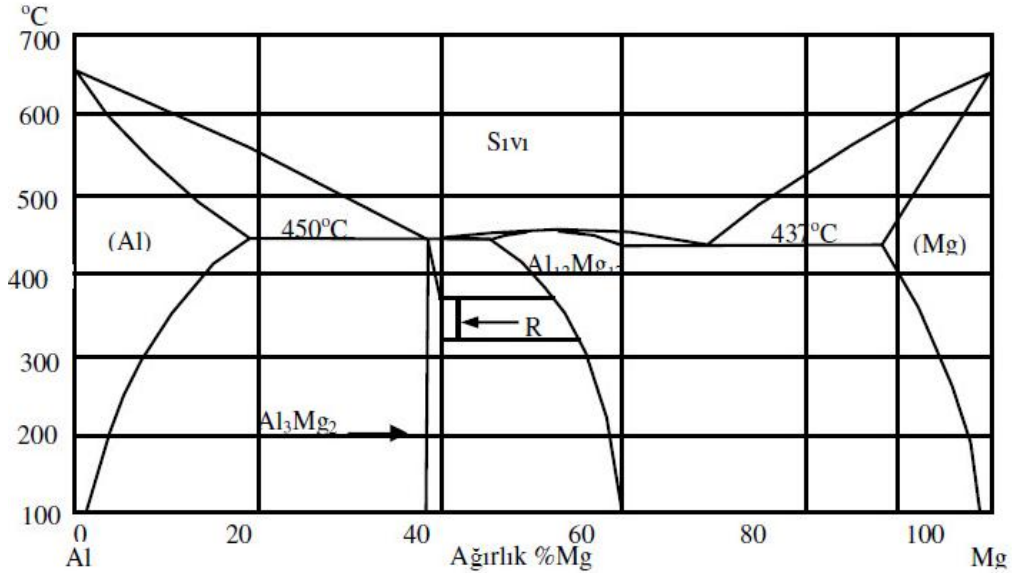
Magnezyum alaşımlarının standartları ASTM B 93/B 93-94 ve ASTM B94 dokümanlarında belirlenmiş olup alaşım elementi ve oranı Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Mg alaşımları standartları ve bileşimleri [ASTM B 93/B 93M -94 ve ASTM B94]

Mg Alaşımı	Alaşım Elementi ve Oranı %											
	Al	Zn	Mn	Si (mak)	Fe (mak)	Cu	Ni (mak)	Be	Ce	Zr	Diğer	Mg
AM50	4,5-5,3	0,20	0,28	0,05	0,004	0,008	0,001	-	-	-	0,01	Kalan
AM60	5,6-6,4	0,20	0,26	0,05	0,004	0,008	0,001	-	-	-	0,01	Kalan
AS21	1,9-2,5	0,15	0,20	0,70	0,004	0,008	0,001	-	-	-	0,01	Kalan
AS41	3,7-4,8	0,10	0,35	0,60	0,0035	0,001	0,001	-	-	-	0,01	Kalan
AZ31	2,5-3,5	0,7- 0,13	0,20	0,05	0,005	0,005	0,005	-	-	-	-	Kalan
AZ91	8,5-9,5	0,45	0,17	0,05	0,004	0,001	0,001	-	-	-	0,01	Kalan
ZE10	0,05	1-1,5	0,1	0,05	0,03	0,005	0,005	0,002	0,12	-	-	Kalan
ZK60	0,05	4,8-6,2	0,1	0,05	0,03	0,005	0,005	0,002	-	0,3-0,9	-	Kalan

Deneysel çalışmaya konu olan AZ91 magnezyum alaşımı içerisinde Mg sonra en çok Al içerir. Dolayısıyla Mg esaslı alaşım malzemelerinde Al en fazla kullanılan

elementtir. Alaşım içersinde Al katkısı çekme dayanımını artırmakla beraber sertliği ve katılaşma hızını da arttırmaktadır. Fakat darbe dayanımını ve sünekliği azaltmaktadır. Al ergiyiğın dökülebilme kabiliyetini geliştirmekle beraber Mg'un katı çökelti dayanımını ve döküm alaşımlamada olabilecek mikro gözeneklerini azaltır. Magnezyum alaşım türlerine ilave edilen Al oranı %6'dan fazla olduğunda, malzemenin ısıl işlem kabiliyeti arttırılmış olur. Katı eriyik sertleşmesi ve çökelti sertleşmesi ile oluşan $Mg_{17}Al_{12}$ intermetaligi düşük sıcaklıklarda ($\leq 120^{\circ}C$) oluşarak alaşımın dayanımını geliştirir. Şekil 3.2'de Mg-Al denge diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.2. Mg-Al denge diyagramı

3.1.2. Magnezyum alaşımlarının kullanım alanları

Magnezyumun endüstriyel kullanımı, I. ve II. Dünya savaşı esnasında askeri araçlarda kullanılmış olup kara ve hava nakil araçlarında tercih edilmiştir. Gelişen teknoloji ile elektronik ve bilişim alanlarında kendine yer bulmuştur. Özellikle son yıllarda enerji verimliliğinin arttırmaya yönelik çalışmalarda hafiflik ön plana çıktığı için daha hafif araçların üretilmesi konusunda magnezyum ve alaşımları tercih edilmektedir. Otomotiv imalatında dökümle elde edilen parçalarda kullanılmıştır. Bu kullanım, araçların toplam ağırlıklarından yapısal olarak taviz vermeden oldukça önemli bir oranda azalabilmeyi sağlamaktadır. Bunların bazıları; silindir kapakları, iç

kapı kolları, karter taban kısmı şanzıman gövdesi, emme manifoldu ve bazı kaporta kısımları gibi yerlerde kullanılmıştır [42]. Magnezyum alaşımlarının birçok farklı türleri uygulamalarda kullanımları gün geçtikçe artmaktadır. Elektronik dünyasında, Fijutsu üretmiş olduğu dizüstü kasalarının %30 gibi bir kısmını AZ91D alaşımlarından oluşturmaktadır [43]. Aynı zamanda, magnezyum alaşımlarını Toshiba, NEC, Mitsubishi, Panasonic, Compaq, Sony, Sharp, Epson, Gateway, Casio, Hitachi, JVC, Dell de üretmiş olduğu dizüstü bilgisayarda kullanmışlardır. Dijital VCR cihazlarda Sony, Sharp, Canon, minidisk'lerde Sony ve Panasonic, Dijital kameralarda, Fuji Film, Nikon, Sony, Cell telefonlarda NEC, Ericsson, Panasonic, NTT, Pioneer, Casio gibi şirketler kullanılmaktadırlar [44]. Magnezyum döküm yöntemleri dışında sac levhalar olarak da kullanılmaktadır. Vanguard, Jupiter, Titan 1, Polaris, Thorable Star ve Atlas Agena isimli roketlerde kullanılmıştır [45].

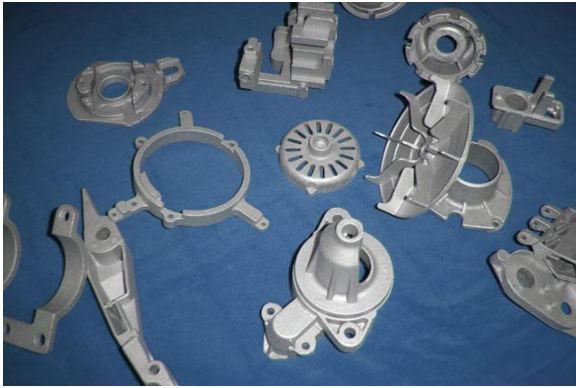
Otomotiv endüstrisinde kullanımı

Enerji ve enerji verimliliği günümüzün en önemli AR-GE çalışmalarındandır. Bu alanda yapılan çalışmalarda, taşıtlardan özellikle otomotivlerden daha yüksek oranda yakıt verimliliğinin elde etmek için harcanan enerji sarfiyatının azaltılması ve buna paralel olarak çevre şartlarının korunması çalışmaları önem kazanmıştır. Çalışmalar bu hedef doğrultusunda yapılırken araç ağırlıklarının azaltılması da hedeflenmiştir. Bunu sağlamanın yolu hafif malzemelerin geliştirilerek kullanımını sağlamak ve kullanım alanlarını arttırmaktadır. Hafif metal olarak adlandırılan Alüminyum, Magnezyum ve benzeri alaşımları kullanmaktır. Otomotiv endüstrisinde magnezyum alaşımlarının kullanımı daha çok thixo döküm yöntemi kullanarak ve sıcak metal işleme yöntemlerinin kullanılmasıyla yapılmaktadır. Otomobil üreticilerinden BMW magnezyum alaşımlarından AZ91 malzemedan motor bloğu üreterek ticari alanda da kullanıma başlamıştır. Bu motor Resim 3.1'de gösterilmiştir. R6 olarak adlandırılan bu motorun bazı kısımlarında kullanılan AZ91'den dolayı emsallerinde göre 10 kg kadar hafiflik sağlamamıştır.



Resim 3.1 BMW R6 motor

Magnezyum alaşımlarının diğer çeşitlerinden olan AM60B ve AM50A ise koltuk parçalarında, fren ve debriyaj pedallarının dirseklerinde, hava yastıklarının tutucularında, direksiyon gibi yerlerde kullanılmaktadır. Bu parçalarda kullanımı çeliğe göre %75, alüminyuma göre %30 gibi değerlerde hafiflik sağlamaktadır. Bu parçalardan bazıları Resim 3.2’de gösterilmektedir.



Resim 3.2. Üretilmiş Mg alaşımlı otomotiv parçaları (I)

Ayrıca magnezyum alaşımlarından çeşitli döküm yöntemleriyle imal edilen donanımsal parçalardan otomobil jantı, kapısı ve aktarma organları Resim 3.3’te gösterilmiştir.



Resim 3.3. Üretilmiş Mg alaşımlı otomotiv parçaları (II)

Havacılıkta kullanımı

Magnezyum alaşımları hava araçlarında ise üzerine aşırı yük binmeyen parçalarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu taşıtların depolarında daha çok tercih edilmekle beraber oturma yerlerinde de kullanılmaktadır. Bazı Helikopterlerin hidrolik depolarında ve quadrant kısımlarında AZ91 alaşımı tercih edilmektedir. MD500, NH90 ve Sikorsky S92 gibi helikopterler ise ZE41 mekanik kısımlarında tercih etmektedir. Resim 3.4’de havacılıkta kullanılan araçların dişli kutularında kullanılan parçalardan dişli kutusu kapağı gösterilmektedir.



Resim 3.4. Magnezyumdan imal edilmiş dişli kutusu kapağı

Elektronik endüstrisinde kullanımı

Magnezyum alaşımlarının günümüzde en çok yaygın kullanım taşınabilir elektronik cihazlardadır. Özellikle dizüstü bilgisayarlarda, cep telefonlarında, dijital fotoğraf

makinelerinde, kameralarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile cep telefonlarının ebatlarının büyümesi hafifliği öne çıkarmaktadır. LG cep telefonları bazı modellerinde magnezyum alaşımlarını tercih etmektedir. Resim 3.5’de bir örnek verilmiştir.



Resim 3.5. Mg'dan üretilmiş cep telefonu ve fotoğraf makinesi şasesi

Spor endüstrisinde kullanımı

Hafifliğin arandığı diğer bir konu olan spor aletlerinde de magnezyum alaşımları tercih edilmektedir. Bisikletlerin gövdelerinde, tenis raketlerinde, sporcu gözlüklerinde, kasklarda bu alaşımlar kullanılmaktadır. BMX bisiklet üreticisi magnezyum alaşımlardan ürettiği olduğu şase Resim 3.5’de gösterilmektedir.



Resim 3.6. Magnezyum alaşımından üretilmiş bisiklet şasesi

Sporun birçok alanında kullanılan magnezyum alaşımları kullanıcılara hafifliği sayesinde çok büyük bir fayda da sağlamaktadır. Okçuluk için üretilmiş olan ürün Resim 3.7’de gösterilmiştir.



Resim 3.7. Magnezyum alaşımdan üretilmiş ok sistemi

3.2. Talaş Kaldırma Prensibi ve İşlenebilirlik

3.2.1. Giriş

Talaşlı imalatın üzerinde araştırılmaya başlanması 200 yılı aşkın bir süredir devam etmekte olup, 1900’lü yılların ortalarına gelindiğinde, işlemenin fiziksel mekaniği analitik olarak çalışılmaya başlanmıştır. 1940-50 arasındaki süreçte, işleme araştırmalarının en önemli “Altın Çağı” olarak bilinmektedir ve metal kesme mekaniği temelinin talaş olduğu bilgisinin geliştiği dönemdir [46, 47].

Döküm, dövme, haddeleme vb. yöntemlerle üretilen metaller, bu üretilme yöntemleri ile doğrudan kullanılamıyorsa, kullanıma hazır hale getirilme yani son biçim ve boyutlandırma işlemleri talaşlı üretim yöntemleriyle yapılır. Talaşlı üretim adından da anlaşıldığı gibi metaller üzerinden talaş kaldırma yöntemleri ile yapılmaktadır. Sonuçta metalin istenilen şekle ve boyutlara getirilme olaydır. Talaşlı üretimde işleme parametrelerinin seçimi ve yöntemi işlenebilme kabiliyetinde en

önemli etkenlerdendir. Bu parametre seçimi imalat sürecini ve kalitesini doğrudan etkilemektedir. Talaşlı üretim esnasında uygun seçilemeyen işleme parametreleri, kesici takımların ömrünü, işlenen malzemede istenilen sonuçların alınamaması gibi olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Bu durum; tezgâh boş zamanının artması, iş parçası boyutlarının bozulması veya işin yüzey kalitesinin ikinci bir işlem gerektirecek derecede yetersizliği gibi bir dizi ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Malzemenin işlenebilirlik özelliklerini önceden iyi tespit edilmemişse yukarıdaki kayıplar kaçınılmazdır.

Endüstri alanındaki gelişmeler, talaş kaldırma işlemlerini imalat endüstrisinin en önemli kısımlarından birini oluşturmaktadır. Genel bir ifade ile ürünün imalatı; ürün tasarımı, işlem planlama, işleme operasyonları ve kalite kontrol gibi aşamaları içermektedir. İşlenebilirlik çalışmalarını ise, özellikle işlem planlama ve işleme operasyonları ile ilişkilendirilebilir. İş parçalarının işlenebilirliğini anlamak ve buna göre verimli bir işlem planlaması yapmak imalat mühendisleri açısından oldukça önemlidir. Ürünün tasarımında malzeme seçimi tasarımın amacına hitap etmesi ve üretim maliyetlerini azaltması açısından önemlidir. Özellikle işleme maliyetlerini azaltmak, takım ömrünü arttırmak ve daha iyi yüzey kalitesi elde etme isteği, talaş kaldırma alanında araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır [48]. Örneğin; ABD’de 1980’li yıllarda her yıl 30 milyon tondan fazla metal işlenmekte ve bunun maliyeti 16 trilyon dolara yaklaşmaktadır. Benzer şekilde İngiltere’de talaş kaldırma maliyeti yaklaşık olarak 33 milyon sterline ulaşmıştır [49, 50]. İşlenebilirlik uygun kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak, bir malzemeyi (genellikle metal) talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirebilmenin nispi kolaylığı veya zorluğudur [51]. İşlenebilirlik bir malzemenin talaş kaldırma işlemini etkileyen özelliklerin tamamı veya talaş kaldırma yöntemleri ile üretimin kolaylığı veya zorluğudur [52]. İşlenebilirlik çoğunlukla malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır [53, 54]. İşlenebilirlik, bir malzemenin istenen yüzey formu ve toleransına getirilmesi için takım ve işleme parametreleriyle bağlantılı olarak, nasıl kolayca kesilebileceğidir [55].

En geniş anlamda işlenebilirlik aşağıdaki kriterlere göre tanımlanır:

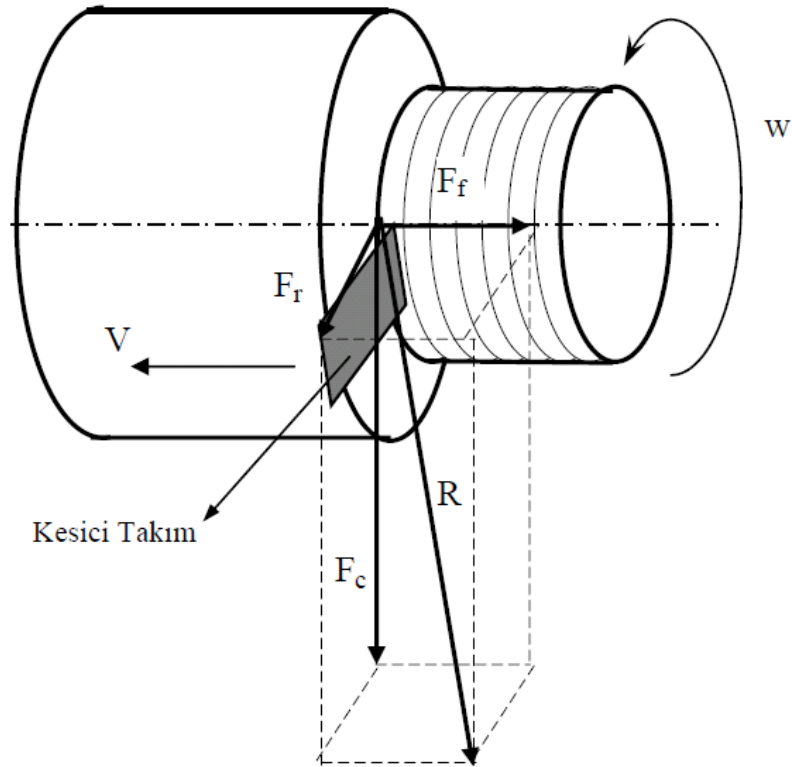
1. Talaş oluşumu
2. Kesme kuvvetleri
3. Takım ömrü (veya takım aşınması)
4. Yüzey kalitesi
5. Kaldırılan talaş miktarı
6. Yığıntı talaş (BUE Built Up Edge) eğilimi

Sonuç olarak, genel manada iş parçası imalinde kullanılacak malzemenin, talaşlı imalatla şekillendirme işlemi esnasında, insan faktörü ve ortam değişkenlerine bağlı olarak sergilediği davranış olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle “talaş kaldırarak iş parçası malzemesini şekillendirmenin nispi kolaylığı veya zorluğu” olarak tanımlamaktadır [56, 52].

3.2.2. Talaş kaldırma mekaniği

Talaş kaldırma işleminde büyük kuvvetler oluşmaktadır. Takım ve işparçasının birbirine göre konumu, kuvvetin bir sonucu olarak işparçasının ve çeşitli tezgah elemanlarının esneme miktarına bağlı olarak değişir. Kesme işleminde, kesici takımın geometri parametreleri (talaş açısı, boşluk açısı), kesme şartları (kesme hızı, ilerleme ve paso derinliği) ve iş parçası-kesici takım malzeme çifti için kesme kuvvetlerinin bilinmesi ve kesici takımdaki gerilme ve sıcaklık dağılımlarının belirlenmesi amacıyla analizler yapılmaktadır. Talaşlı imalatta iki tür kesme olayından söz edilmektedir. Bunlardan birincisi Dik (Orthogonal) kesme ve diğeri ise Eğik (Oblique) kesmedir. Bu kesme operasyonları Şekil 3.3’de gösterilmektedir.

Talaşlı imalat sektöründe kesme işlemi tercihen eğik gerçekleşmesine rağmen, analiz ve matematiksel hesaplamalarının daha az karmaşık yani kolay olması sebebiyle; bu proseslerdeki kesme dik kesme olarak kabul edilmekte ve hesaplamalar buna göre yapılmaktadır. Tornalama işleminde takım-işparçası etkileşimi üç bileşenli bir kuvvet sistemiyle ifade edilir. Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



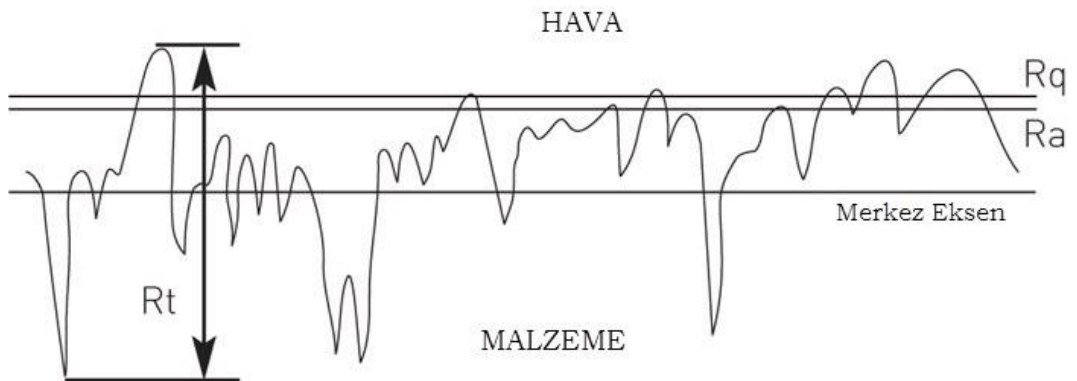
Şekil 3.5. Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvet bileşenleri [57]

Bunlardan ana kesme kuvveti (F_c) diğer bileşenlerden daha büyüktür. Radyal kuvvet (F_r) genellikle en küçük bileşen olmakla birlikte etkime doğrultusu açısından önemli bir hata kaynağıdır. İlerleme kuvvetinin (F_f) ise gerek büyüklük ve gerekse doğrultu açısından hataya önemli bir etkisi olmadığından çoğunlukla ihmal edilir [57, 58]. Bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması ile elde edilir ve eşitlik 5.1 yardımıyla hesaplanır:

$$R = \sqrt{F_c^2 + F_r^2 + F_f^2} \quad (5.1)$$

3.2.3. Yüzey pürüzlülüğü

Talaş kaldırma işleminin amacı, parçalara şekil vermekle beraber geometrik, boyutsal ve istenilen yüzey kalitesi bakımından biçimlendirmektir. Endüstrinin getirmiş olduğu şartlardan biri de seri üretimdir. Bu aynı standartlarda ve kalitede ürünler üretmek anlamına gelmektedir. Bu standart ürünlerin üretilmesinde ise yüzey kalitesi öne çıkan en önemli etkenlerden birisidir. Malzeme bilimi geliştirilen yeni malzemeleri üretirken, imalat bilimi ise bu malzemelerin yüzey kalitesini iyileştirmek için klasik imalat yöntemlerini kullanarak araştırmalar yapmakta ve hatta yeni imalat yöntemlerinin araştırmalarını da sürdürmektedir. Yüzey kalitesini iyileştirmek için yalnızca malzeme alanında gelişmeler olmamaktadır. Kesici takım malzemesi, geometrisi, takım tezgahı, takım tutucu, soğutma sıvısı ve işleme şekli gibi pek çok alanda gelişmeler olmaktadır. En uygun takım geometrisi ve kesme hızı tercihi ile sağlanabilen en iyi yüzey pürüzlülüğü ideal yüzey pürüzlülüğünü vermesi mümkündür. Kesici takımda BUE oluşumu, titreşim, takımın hatalı bağlanması gibi etkenler azaltılırsa ve ideal soğutma tipi, ideale yakın malzeme seçimi gibi etkenlerle en yüzey pürüzlülüğü sağlanabilir. Yüzey pürüzlülüğünün oluşumu ve ölçüm aralıklarının gösterini Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülük oluşumunun şematik gösterimi

Ra: Aritmetik ortalama sapma,


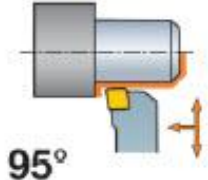

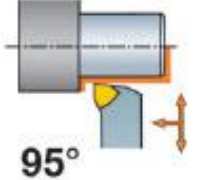

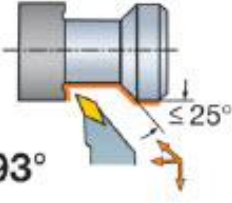

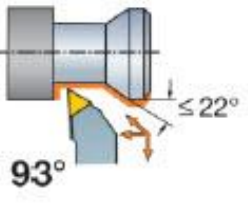

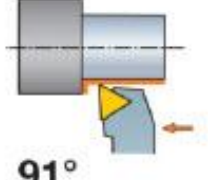

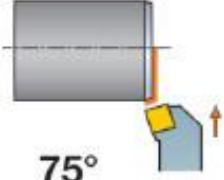

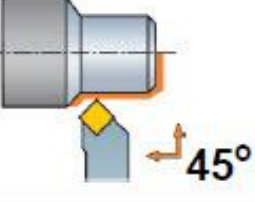

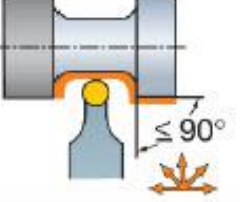

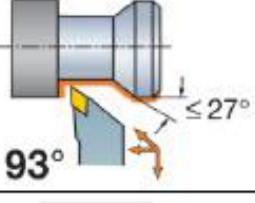

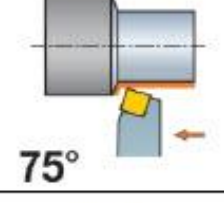

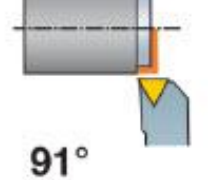

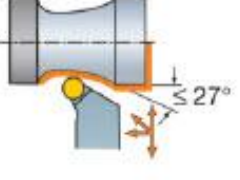
Rt: Ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı,

Rq: Aritmetik ortalama sapmaların karakökü anlamında bir parametredir.

Ra değeri merkez eksenli ortalama yüksekliği olarak tarif edilebilir. Bu değer yüzey pürüzlüğü ölçen cihazlardan doğrudan okunabilir.

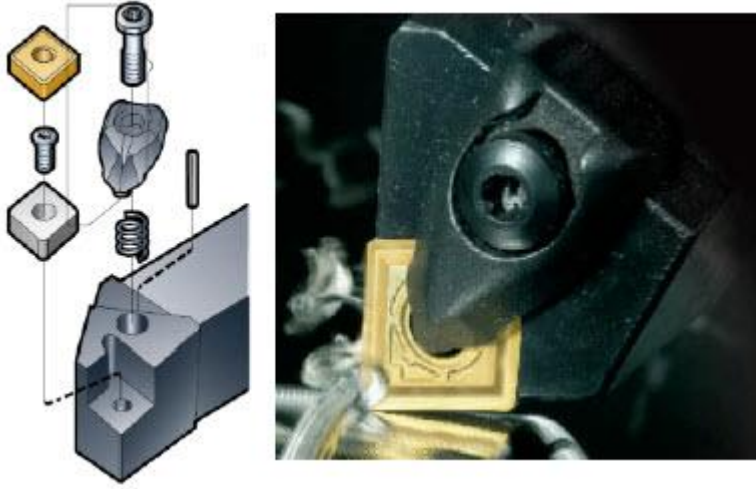
3.2.4. Kesici takım geometrisi

Kesici takımın geometrisi, talaş kaldırma mekaniğinde en önemli unsurlardan biridir. Etkin bir şekilde kesme işleminin yapılabilmesi için kesici takım uygun geometriye sahip olmalıdır. Kesici takımın sahip olduğu açılar kesici takımın geometrisini oluşturur. İmalat işlemlerinin çeşitliliğine göre kesici takım geometrileri de farklılık gösterir. Kesici takımları tek noktadan ve çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar olmak üzere genelde iki kategoriye ayrılır. Talaş oluşum mekanizması temelde aynı olduğundan dolayı tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlarda geçerli olan temel kurallar, genelde çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar ile aynıdır. Tek noktadan kesme işlemi tornalama için uygun olan bir yöntemdir. Kesici uç tipleri ve iş parçasına yaklaşma açıları Şekil 3.7' de gösterilmiştir.

Kesici Uç	Kesici Kenar Yanmağıma açısı	Kesici Uç	Kesici Kenar Yanmağıma açısı
C 	 95°	W 	 95°
V 	 93°	T 	 93°
T 	 91°	S 	 75°
S 	 45°	R 	 $\leq 90^\circ$
B 	 93°	S 	 75°
T 	 91°	R 	 $\leq 27^\circ$

Şekil 3.7. Tornalamada kesici takım uç tiplerine göre kesme operasyonları

Tek noktadan kesme yapan kesici uçlarla, yapılan işe göre seçim yapılabilmektedir. Seçilen bir kesici uçun üstten bağlama yöntemine göre, bağlantı elemanları ile gösterimi Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Üstten bağlamalı kesici uçların gösterimi

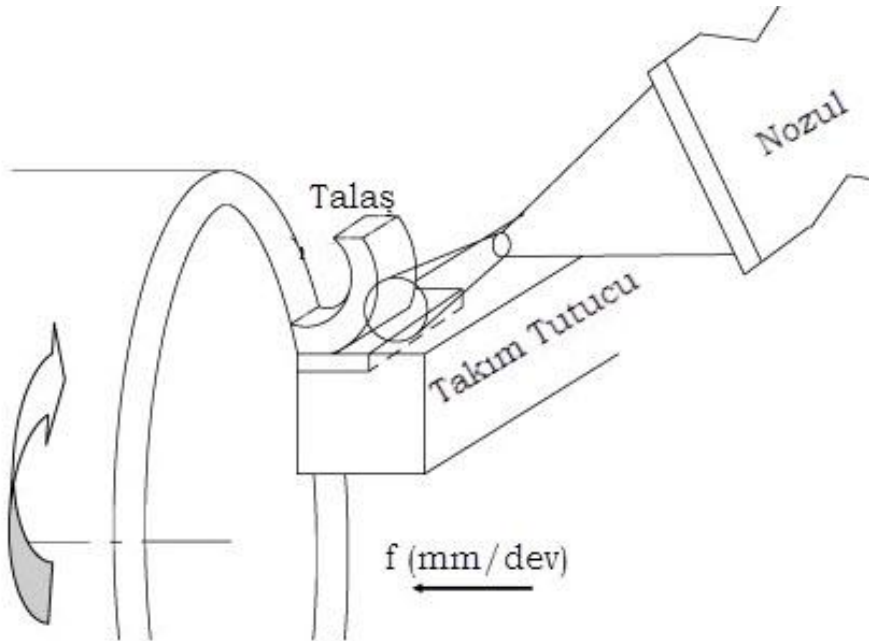
3.2.5. Kuru işleme

Herhangi bir kesme sıvısı kullanmadan işleme diye tanımlayabileceğimiz kuru kesme uygulamaları özellikle gelişmiş ülke sanayilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde endüstriler daha temiz, doğaya ve insan sağlığına dost üretim yöntemlerine önem vermektedirler. Bu nedenle, özellikle metal işlemede sıkça ve çoğu zaman da farkında olunmadan kullanılan çevreye zarar verici soğutma sıvılarının; işlem aşamalarından tamamen ya da kısmen kaldırılması yeni bir çalışma konusu haline gelmiştir. Keza soğutma sıvılarının, çevreye ve insan sağlığına olan zararlarından ötürü aşırı miktarda kullanımı da sınırlandırılmıştır. Soğutma sıvılarının hem üretim maliyetindeki artışa neden olması, hem de insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle soğutma sıvıları kullanılarak yapılan işleme tekniği, yerini kuru işleme tekniğine bırakmaya başlamıştır. Kuru işleme teknolojisinin uygulanabilirliği için yüksek hızla işleme anahtar teknoloji kabul edilmektedir. Yüksek hızla işlemede, kesme hızları artar, kesme kuvvetleri düşer ve buna bağlı olarak da yüzey pürüzlülüğü azalır; ayrıca kesme esnasında oluşan ısı, talaşlarla hızlı bir şekilde ortamdan uzaklaştırılır. Yapılan deneysel çalışmalarda azalır denilen yüzey pürüzlüğünün iyileştirilmesi araştırılmaktadır. Aynı zaman da kuru işleme oksijene karşı çok hassas olan malzeme grupları için bir gereklilik arz

etmektedir. Oksijen bulundurmeyen endüstriyel yağların kullanımda ise malzeme ile tepkimeye girmesi söz konusu olan soğutma sıvıları da vardır. Bu durumlar göz önüne alındığında kuru işleme daha da önem kazanmaktadır.

3.2.6. Minimum miktarda yağlayıcı ile işleme (MMY)

Kuru işleme şartlarının uygun olmadığı ve soğutma sıvısı kullanılmasının istenmediği durumlarda minimum miktarda yağlayıcı kullanmak en doğru çözüm olmaktadır. Bunu soğutma sıvılarının zararlı etkilerinden kaçınmanın diğer bir yolu olarak da görüp işleme anındaki soğutma sıvısı miktarını azaltma olarak ifade edilebilir. İşleme anında takım ile malzeme arasındaki temas yüzeyine soğutucunun yeterli miktarda basınçlı havayla birlikte püskürtülmesi sağlanmaktadır. Sistemden gelen basınçlı hava içinde yer alan yağlayıcı çok küçük damlacıklar halinde istenilen noktaya püskürtme yöntemi ile yayılır. Bu tekniğe, Minimum Miktarda Yağlayıcı (MMY) denir. Şekil 3.9'da Minimum Miktarda Yağlayıcının işleme anındaki şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.9. Minimum miktarda yağlayıcının şematik gösterimi

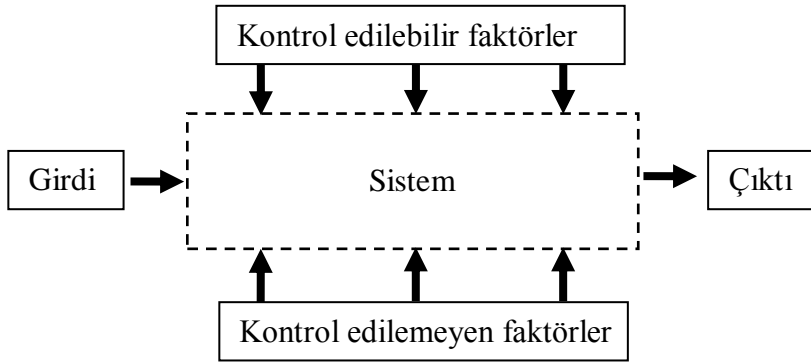
3.3. Deneysel Tasarım ve Modelleme

3.3.1. Deneysel tasarım

Herhangi bir deneyde amaç, kesin önerilerde bulunmak ya da üzerinde çalışılan konuya ilişkin bazı hipotezler hakkında bilgi vermektir. Kararlar kesin olmama ihtimali göz önünde bulundurularak verilir. İstatistik ise, bu kararın verilebilmesi için kullanılan bir araç olarak adlandırılır. Kesin olmama durumu hiçbir bilgi olmadığını değil yalnız kesin sonucun tam olarak önceden kestirilmediğini belirtir. İstatistiksel teknikler deney yapısında kullanıldığında, karar verirken göz önüne alınacak riskin büyüklüğü belirlenebilir. Karar verme, istatistiksel yöntemlerin kullanımına dayandığında veri toplamayı gerektirir. Bu nedenle verinin toplanma yöntemi büyük önem kazanır. Bir deneyin tasarlanması, basit olarak deneyde izlenecek sıra (yol, düzen) olarak tanımlanır. Uygulamada çoğu kez deneyi yapan kişi, verileri toplamada ve sonuçlara ulaşmada sabırsızdır ki; deney tasarımıyla ilgili önemli bir evresi ihmal edilir. Deneysel tasarımlar veri toplamadaki hatayı azaltmaya yardımcı ederler. Deneysel olarak çalışılacak bir projede, tasarım ve çözümleme evresindeki her bir aşamanın dikkatlice uygulanması gerekir [48, 59].

Deneysel tasarım (DT) 1920'lerde, istatistik biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher ayrıca, deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan "varyans analizi" (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir.

Deneysel tasarım (DT), bir süreçteki girdi faktörleri üzerine istenilen değişikliklerin sistematik bir şekilde yapılmasıyla cevap değişkeni üzerindeki değişkenliğin gözlenmesi ve yorumlanması olarak tanımlanan bir kalite geliştirme tekniğidir. Deneysel tasarım, "kalite ürünle birlikte tasarlanmalı" anlayışının bir uygulamasıdır. Deneysel tasarım teknikleri kullanılarak üretim sırasında, istenmeyen faktörlerin etkilerinin en aza indirildiği üretim sürecini tasarlamak mümkün olmaktadır.



Şekil 3.10. Bir sistem veya sürecin genel gösterimi

DT, proses optimizasyonunda, proses değişkenlerinin tanımlanmasında ve prosesdeki değişkenliğin azaltılmasında çok önemlidir. Şekil 3.10'da bir sistemin veya sürecin genel modeli gösterilmiştir. Proses değişkenlerinde kontrol edilebilir değişkenler ve kontrol edilemeyen değişkenler olarak tanımlanır. DT teknikleri, yeni bir proses geliştirmede ve performans artırma amacıyla mevcut prosesini düzeltmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Burada amaç, sağlam bir proses geliştirmektir. Bunun anlamı, değişkenliğin kaynağı olan, kontrol edilemeyen değişkenlerin etkisinin en az olduğu prosesini geliştirmek demektir.

Deney tasarım metodlarının farklı uygulama alanları bulmaktadır. Bu, özellikle mühendislik alanında üretim prosesinin performansını geliştirmede önemli rol oynamaktadır. Prosesin geliştirilmesinde deneysel tasarım tekniklerinin uygulanması ile ürün geliştirilir, değişkenlik azalır ve hedef gereksinimlere yakın sonuçlar sağlanır ve maliyetler düşürülür.

Deneysel tasarım; alınan gözlemlerin sayısı, deney sırası, kullanılacak rasgeleleştirme yöntemi ve deneyi tanımlayan matematiksel model temel bileşenlerinden oluşmaktadır. Çözümleme ise; veri toplama ve işleme, deney istatistiklerinin hesaplanması ve sonuçların yorumlanmasını içerir. Matematiksel modelleme, bir fiziksel sistemin ya da işlemin temel özelliklerinin eşitlik ya da formül şeklinde verilmesidir. Bir matematiksel model çok genel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

Bağımlı Değişken = f (Bağımsız değişken, parametreler, etkili fonksiyon)

Bağımlı değişken, sistemin durumunu ya da davranışlarını yansıtan bir özelliktir olup eşitliğin sağındaki değerlere bağlı olarak değişmektedir. Bağımsız değişken ise, sistemin durum ya da davranışlarının belirlendiği zaman veya uzay gibi boyutlardır. Parametreler, sistemin özelliklerini ya da yapısını belirleyen katsayılardır, etkili fonksiyonlar ise sistem üzerine etkisi olan dışsal kuvvetlerdir [48, 59, 60].

3.3.2. Taguchi metodu

Temel olarak deney tasarımı yöntemleri yüzyıl başında tarımsal araştırmalarda kullanılarak Fischer tarafından geliştirilmiştir [61]. Ancak klasik deney tasarım yöntemleri kullanımları endüstriyel şartlar altında verimli ve sağlıklı olmayan yaklaşımlardır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da çok hızlı şekilde artmaktadır [61, 62].

Deney tasarımı yöntemi farklı alanlarda kullanılmış olmasına rağmen 1970'lere kadar imalat sektöründe kullanımı kısıtlı kalmıştır. Amerika'da imalat sektörü 1980'lerin başında deney tasarımı Japonya'nın kalitesinin nedenlerini araştırırken yeniden keşfetti. Deney tasarımı o tarihlerde Japonya'da Profesör Genichi Taguchi'nin önderliğinde yoğun ve etkili olarak kullanılmaktaydı. Taguchi deney tasarımına kuramsal yenilikler getirmemiştir. Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçeleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği artıracak bir çözümler getirmiştir. Ancak üretimdeki uygulamalarda yenilikler yapmış ve başarılı uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır [63, 64].

Taguchi Yöntemi, parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir deney tasarım ve optimizasyon yöntemidir. En yaygın olarak, kalite güvence sistemleri kapsamında toplanan verilerin, istatistiksel analizinde kullanılmaktadır. Taguchi'nin deney tasarım yöntemi, farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından optimum kombinasyonu saptamak adına oldukça yararlı bir yöntemdir [65].

Taguchi Deneysel Tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları sinyal/gürültü (S/N) oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Sinyal/gürültü oranı değeri küçük değer iyi, büyük değer iyi, nominal değer iyi olarak kalite değerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir.

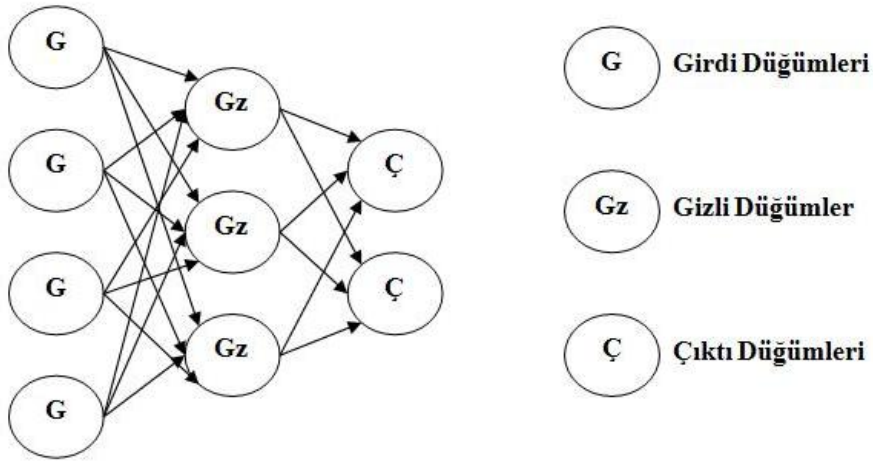
Herhangi S/N oranı değerlendirilmede kullanılırsa kullanılsın, sonuç olarak bulunan değerlerde daha büyük olan S/N oranı daha iyi deney sonucunu ifade ettiği anlamına gelir. Dolayısıyla deneylerde ele alınan faktörlerin seviyeleri içerisinde en yüksek S/N oranına sahip olan değerler en iyi performansı vermiş olacaktır. Bunun yanı sıra varyans analizi (ANOVA) ile hangi proses üzerinde hangi faktörlerin ne derecede önemli oldukları istatistiksel olarak ortaya konulur [62]. Hem S/N oranı, hem de varyans analizi yardımı ile de faktörlerin, prosesi optimum performansa ulaştıracak kombinasyonu tespit edilir.

Diğer önemli bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesini sağlaması ve bunun için de tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur [64].

3.3.3. Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin bilgi işleme tekniğinden esinlenerek geliştirilmiş bir bilgi işlem teknolojisi olup insan beynindeki biyolojik sinir hücrelerinin basitleştirilmiş olarak modellenmesine dayanmaktadır. Başka bir deyişle YSA, biyolojik sinir sisteminin çalışma prensibi temel alınarak geliştirilmiştir ve insan beyninin biyolojik sinir sistemini elektronik devreler veya bilgisayar programları ile çok sınırlı şekilde taklit etmeye çalışmaktadır. Biyolojik sistemlerin, doğrusal olmama, yüksek düzeyde paralellik, eğitime ve genelleştirme yetenekleri gibi bilgi işleme karakteristiklerine sahip olmaları, YSA'nın büyük ölçüde ilgi çekmesini sağlamıştır. YSA yaklaşımının temel düşüncesiyle, insan beyninin fonksiyonları

arasında benzerlik vardır. Bu yüzden YSA sistemine insan beyninin modeli denilebilir [66]. YSA, nöronların birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. YSA, gerçekleşmiş olan olayların örneklerine bakarak, örnekler hakkında genellemeler yapmakla beraber bilgiler toplar ve daha sonra öğrenmediği sorular ile karışılışınca öğrendiği bilgileri kullanarak o örnekler hakkında karar verebilmektedir. Mühendislik uygulamalarında YSA'nın geniş alanda kullanımının en önemli nedeni, klasik tekniklerle çözümü zor problemler için etkin bir alternatif oluşturmasıdır ve maliyetleri en aza indirmesidir. Şekil 3.11'de YSA'nın yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.11. YSA yapısı

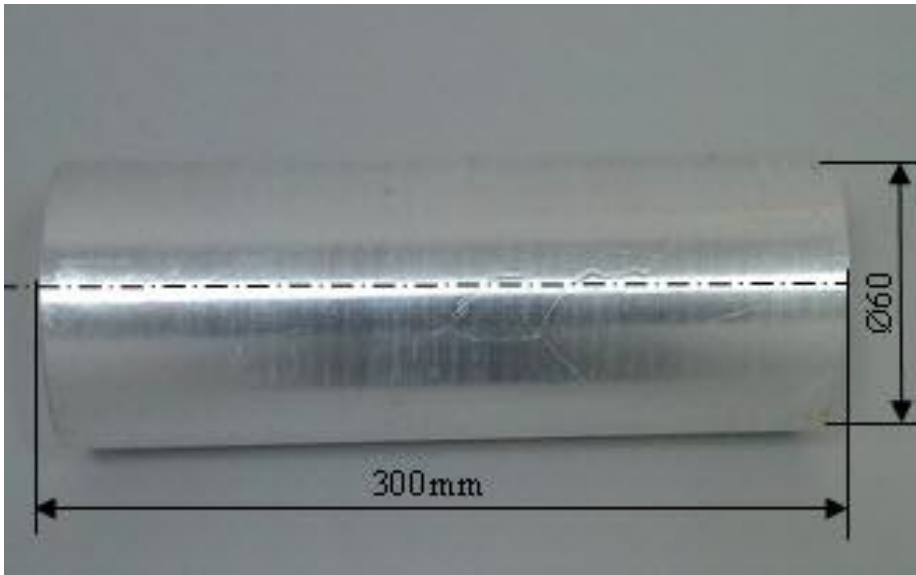
YSA sisteminin yapısı girdi düğümleri diye adlandırılan bilgilerin öğretilmesi aşaması ile başlayıp, bu bilgilerin doğrultusunda sisteme sorulan sorulara cevap bulunmasıdır. Gz diye adlandırılan kısım sorulan sorular olup aranan cevaplar ise Ç olarak gösterilmiştir.

4. MALZEME VE METOT

Malzeme ve Metot bölümünde, tez çalışmasında kullanılan Magnezyum alaşımının seçimi, temini ve deneysel çalışmalara hazır hale getirilmesi, kesici takım uçlarının seçimi, deneysel çalışmanın yapılacağı tezgahın ayarlanması ve üzerine kuvvet ölçüm cihazlarının kurulması, deneysel çalışmada kullanılacak olan metotların oluşturulması ve yöntemler tanımlamaktadır.

4.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan AZ91D'nin Deneysel Hazırlanması

Deneysel çalışma malzemesi olarak, magnezyum alaşımlarından olan AZ91D serisi tercih edilmiştir. Magnezyum alaşımlarının korozyon dirençlerinin düşük olmasından dolayı, malzemeler özel vakumlanmış plastik poşetler içerisinde paketlenmiş olarak Yuanhong Alloy Materials Co.,Ltd'inden Çin'den temin edilmiştir. $\text{Ø}60 \times 300 \text{mm}$ boyutlarında temin edilen malzemeler Resim 4.1'de gösterilmiştir. Deneysel çalışma için tasarlanan sistemde her bir deney için bir malzeme kullanılmıştır. Her bir malzeme üzerinde 3 tekrarlı deneyler yapılmıştır.



Resim 4.1. AZ91D iş parçası ve boyutları

İmalatçı tarafında özel döküm yöntemleri ile dökülmüş olan AZ91D malzemenin kimyasal bileşimi % oran olarak Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan AZ91D malzemenin kimyasal bileşimi

	Kimyasal Bileşimdeki Elementler								
AZ91D	Al	Zn	Mn	Fe	Be	Si	Cu	Ni	Mg
% Oran	9,21	0,45	0,17	0,0018	0,00084	0,016	0,002	0,00085	Kalan

Deneysel çalışma süresince kullanılacak olan malzemelerden alınacak olan verilerin iş akışı düzeninde olması için, gerekli çalışma boyutlarına getirilmiştir. Yüzey temizleme işlemleri yapılarak, ölçüleri kontrol edilmiştir. Salınım kontrolü için punta destekleri yapılmıştır.

4.1.1. Metalografik incelemede kullanılan numunelerin hazırlanması

Deney malzemelerden alınan metalografik inceleme numuneleri Resim 4.2. de gösterilen Buehler Simplimet II bakalite alma cihazı ile bakalite alınarak hazırlanmıştır.



Resim 4.2. Buehler Simplimet II bakalite alma cihazı

Resim 4.3'te gösterilen Struers marka Rotopol 21 model parlatma cihazı ile sırasıyla 240#, 400#, 600#, ve 1000# tane boyutlarında zımparalar ile zımparalanmıştır. 0,05 mikronluk Gamma Alumina Micro Polish pasta süspansiyonu ile parlatılmıştır. Parlatılan numuneler %3,0'lik Nital (3 ml HNO₃ + 97 ml CH₃OH) ile dağlanarak metalografik incelemeye uygun hale getirilmiştir.



Resim 4.3. Struers Rotopol 21 parlatma cihazı

4.1.2. Sertlik ölçüm sistemi

Deneylerde kullanılacak olan malzemelerden alınan numuneler Resim 4.4'te gösterilen Ernst marka dijital sertlik ölçüm test cihazı ile yapılmıştır. Kalibratörleriyle sertlik ölçüm doğrulukları tespit edilmiştir. Endüstriyel uygulamada sürekli aktif olan bu sertlik ölçüm cihazı ile çapraz testlerde yapılmıştır.

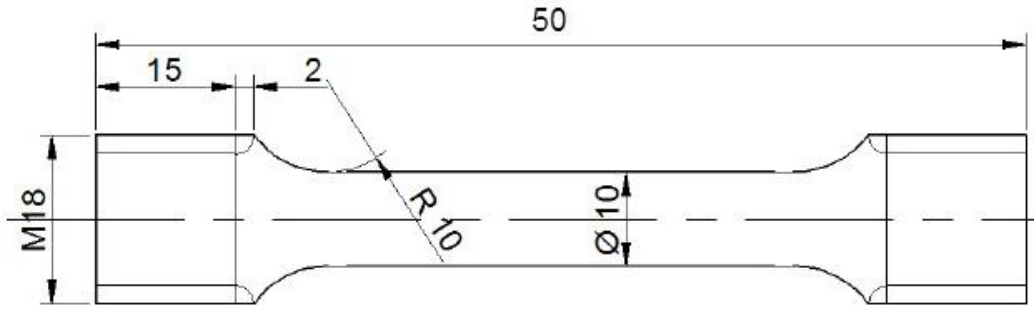


Resim 4.4. Ernst dijital rockwell sertlik ölçüm cihazı

Numuneler üzerinde çapta, kesilen yüzeyde ve ters yüzeyde Brinell sertlik ölçme yöntemi kullanılarak ölçümler alınmıştır.

4.1.3. Çekme deney sistemi

Çekme testi yapılacak olan AZ91D malzemedен, CNC tezgahта hazırlanan 6 adet numune Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Çekme testi numunesi

Çekme testleri Resim 4.5'te verilen UMT Alşa çekme test cihazında, kalibrasyonu yapıldıktan sonra deney testi için gerekli ısı dengenin sağlanmasından sonra yapılmıştır.



Resim 4.5. Alşa UTM çekme test cihazı

4.1.4. Darbe deney sistemi

Deneyleerde kullanılacak olan malzemelerden alınan numunelerin darbe dayanımları Resim 4.6'da gösterilen Alşa marka darbe deney ölçüm test cihazı ile yapılmıştır. 8 adet hazırlanan numunelere uygulanmıştır.



Resim 4.6. Alşa darbe test cihazı

4.2. Kesici Takımlar

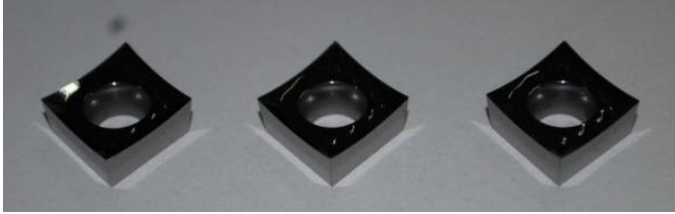
Daha önce magnezyum alaşımlarının kesimi üzerine çalışma yapmamış ve kesici takım üretmemiş olan üreticilerin, AZ91D alaşımının mekanik özelliklerine yakın olan metallerin kesiminde tavsiye ettikleri kesici tipleri tercih edilmiştir. Çalışmada, ISCAR tarafından üretilen kesici takım uçları ve katerleri tercih edilmiştir. Ayrıca kesici takım üreticilerinin öngörülerini ve literatür araştırması sonucuna göre belirlenmiştir. Kaplamasız karbür kesici takım grubundan olan kesici takım DCGT

serisi ve IC20 kalite grubunda yer almaktadır. ISCAR firmasının alüminyumların ince/kaba işlemleri için ürettiği bu kesici takımlar Resim 4.7’de gösterilmiştir.



Resim 4.7. DCGT serisi kesici takımlar

Kaplamasız karbür kesici takım grubundan olan kesici takım CCGT serisi ve IC20 kalite grubunda yer almaktadır. ISCAR firmasının alüminyum malzemelerin ince ve kaba işlemleri için üretmiş olduğu bu seri Resim 4.8’de gösterilmiştir.



Resim 4.8. CCGT serisi kesici takımlar

Kaplamasız karbür kesici takım grubundan olan kesici takım CCGT serisi ve IC20 kalite grubunda yer almaktadır. ISCAR firmasının alüminyum malzemelerin ince ve kaba işlemleri için üretmiş olduğu bu seri Resim 4.9’da gösterilmiştir.



Resim 4.9. VCGT serisi kesici takımlar

4.3. CNC Torna Tezgahı

İşlenebilirlik çalışmaları Resim 4.10'da görülen YCM GT-200A CNC torna tezgahında yapılmıştır. Daha önce birçok Doktora, Y.Lisans ve bilimsel çalışmalarda kullanılan bu tezgahın hassasiyetleri ve ölçüm doğruluğu laboratuvar sorumluları olan akademik personelden teyit edilmiştir. CNC tezgahı sadece akademik çalışmalar için kurulu olduğundan dolayı, işlenebilirlik çalışmalarında kullanılması gereken tüm teçhizatlara uygun hale getirilmiştir.



Resim 4.10. YCM CNC torna tezgahı

Torna tezgahında yapılan kesme işlemi esnasında oluşan kuvvetlerin ölçülebilmesi için gerekli olan dinamometre laboratuvar bünyesinde var olup CNC tezgaha bağlı olarak kuruludur.

4.4. Kuvvet Ölçüm Sistemi

Dinamometre sistemi Kistler 9257BA Fx, Fy, Fz kuvvet ölçer, National Instruments çok işlevli veri toparlayıcı (DAQ) kartı, bilgisayarla iletişimi sağlayacak DAQ 6024E kartı, Kistler 5233A kontrol ünitesi ve kablolarından oluşmaktadır. Resim 4.11'de Kistler 9257BA Fx, Fy, Fz kuvvetölçer, Resim 4.12'de National Instruments BNC

2120 çok işlevli veri toparlayıcı (DAQ) kartı ve Resim 4.13’de Kistler 5233A kontrol ünitesi gösterilmektedir.



Resim 4.11. Kistler 9257BA



Resim 4.12. National Instruments BNC 2120



Resim 4.13. Kistler 5233A kontrol ünitesi

Bu sistem deneysel çalışma üzerinde Resim 4.14’te gösterilmektedir. Dizüstü bilgisayara yüklenmiş olan MalDAQ yazılımı ile veriler alınmıştır.



Resim 4.14. Kuvvet ölçme sisteminin gösterimi



Resim 4.15. CNC tezgaha bağlı dinamometrenin gösterimi

Resim 4.15'de CNC tezgahı kurulu olan dinamometre ve kesici takım gösterilmektedir.

4.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçme Sistemi

Deneyisel çalışmada yüzey pürüzlülük değerleri ölçmek için Resim 4.16'da gösterilen Mitutoyo SJ-201P yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır. Cihaz kendi referans kalibratörü ile kalibre edilmiştir. Resimde işlenebilirlik deneylerinden sonra yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçme işlemi gösterilmektedir. Her bir numune kesme işleminden sonra özel olarak sarılmış olup yüzey pürüzlülük ölçümüne kadar dış ortamdan zarar görmeden saklanmıştır.



Resim 4.16. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Her deney başlangıcında cihaz kalibratör yardımıyla kalibre edilmiştir. Ölçüm anında rijitliğin sağlanması için üretici firmanın silindirik parçaların ölçümü için üretmiş olduğu platform kullanılmıştır.

4.6. Deneylerde Kullanılan Soğutma Sistemi ve Sıvısı

Çalışmada soğutma sistemi olarak son zamanlarda sıkça kullanılan MMY Minimum Miktarla Yağlama (MQL - Minimum Quantity Lubrication) kurulmuştur. Sistem her bir püskürtmede 0,0036 ml Werte 2000 kesme yağını, 1sn'de 2 püskürtme ile 5-6

bar aralığında kesme olayının yapıldığı noktaya vermektedir. Resim 4.17’de MMY sistemi oluşturan gövde gösterilmektedir.



Resim 4.17. MMY sistemi

Sistemden gelen soğutma sıvısı kesici takım ile malzememin temas ettiği noktada istenilen değerler doğrultusunda uygulanmıştır. Resim 4.18’de uygulama yeri ve püskürtme başlığı gösterilmektedir.



Resim 4.18. MMY sistemin kesici takım üzerine uygulanması

Kullanılan kesici yağı yüksek seviyede rafine edilmiş olup, insan ve ekolojik hayata zararı olmadığı üretici tarafından belirtilmiştir. Kesici yağın teknik ve kimyasal içeriği Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Werte 200 kesici yağın özellikleri

Fiziki Hal ve Görünüş	Sıvı
Moleküler Ağırlık	Uygulanamaz
pH (% 10 luk su solüsyonunda)	Uygulanamaz
Kaynama Noktası	>200 °C (392 ° F)
Erime Noktası	-39° C de (-38 ° F) katılaşmaya başlayabilir.
Kritik Sıcaklık	Belirlenememiştir.
Özgül Ağırlık	Uygulanamaz
Buhar Basıncı	< 0.01 mm Civa (20 ° C de)
Buhar Yoğunluğu	>5 (Hava =1)
Uçuculuk	Uçucu madde içeriği : % 13.0 (v/v)
Koku Eşiği	Belirlenememiştir.
Buharlaşma Oranı	< 0.01 (Bütil asetat)
Viskozite	Uygulanamaz
Su / Yağ Dağılım Sabiti	Ürün yağ içinde daha fazla çözünür.
İyonlaşma (su içinde)	Non - iyonik
Dağılım özellikleri	Dietil eter, n-oktanol içinde dağılır .Metonal içinde kısmen dağılır. Soğuk su, sıcak su içinde dağılmaz. Su, metanol, N-oktanol, aseton içinde çözünürlüğü yapılır.
Çözünürlük	Dietil eter içinde çözünür. n-oktanol, aseton içinde kısmen çözünür. Metanol içinde kısmen çözünür. Soğuk su, sıcak su içinde çözünmez.

4.7. SEM Cihazı ve Mikroskoplar

Deneyisel çalışmada görüntüleme için 3 farklı cihaz kullanılmıştır. Takımlar üzerindeki kalıntıları inceleme için Resim 4.19’da gösterilen ZEISS SUPRA 55 SEM görüntüleme cihazı kullanılmıştır. AZ91D malzemelerin mikroyapı fotoğrafları, fazlar ve faz dönüşümlerinin görüntüleri bu cihaz yardımıyla çekilmiştir. Cihazdan daha net görüntü alınabilmesi için incelenecek olan kesici takımlar platin kaplanmıştır. Platin kaplama cihazı Quarum Q150R ES cihazı Resim 4.20’de gösterilmiştir.



Resim 4.19. ZEISS SUPRA 55 SEM görüntüleme cihazı

Çok amaçlı kullanılabilen SEM cihazı yardımıyla EDS analizleri de yapılmıştır. Bu analiz sayesinde kesici takım ve ana malzeme üzerinde hangi elementin hangi oranda bulunduğu tespit edilmiştir.



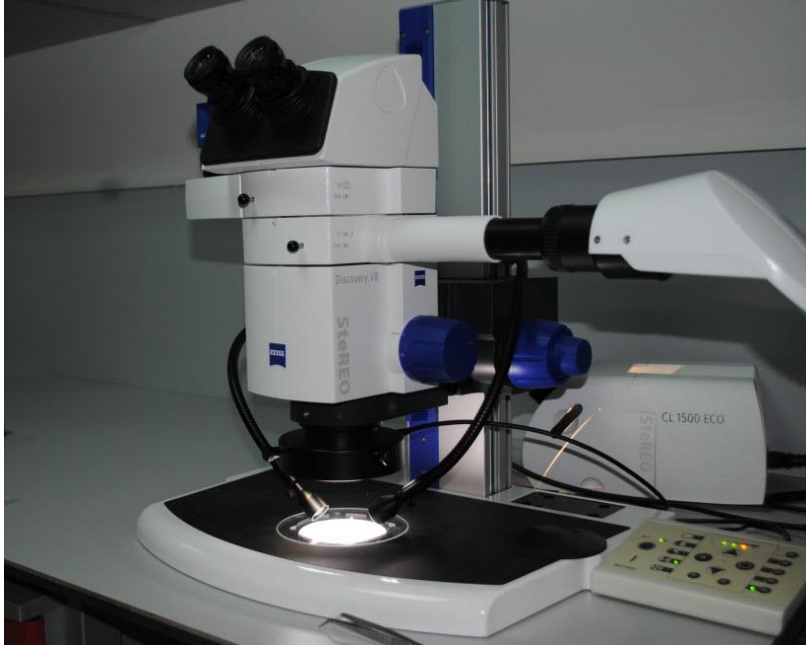
Resim 4.20. Quarum Q150R ES platin kaplama cihazı

Çalışmanın mikro yapıların görüntülenmesinde ise Resim 4.21’de gösterilen ZEISS Axio Imager 2 ışık mikroskobu kullanılmıştır.



Resim 4.21 Zeiss Axio Imager 2 ışık mikroskobu

Deneylerin sonucunda çıkan talaşların görüntülenmesini ise Resim 4.22’de verilen ZEISS Stereo Discovery 8 ile yapılmıştır.



Resim 4.22. Zeiss Stereo Discovery 8 ışık mikroskop

8 farklı şekilde ışık şekli oluşturma özelliğine sahip olan bu mikroskop ile deneyler sonrası oluşan talaşların görüntüleri elde edilmiştir. Yüksek kalitede çözünürlüğü sayesinde özellikle biyoloji alanından kullanılan bu mikroskop ile metal görüntüleme oldukça başarılı olmuştur.

4.8. Deney Metotları

4.8.1. Deney tasarımının kurulması

İşlenebilirlik deneylerinde bilimsel çalışmalarda reel sonuçların elde edilmesinde çok yaygın olarak kullanılan deneysel tasarımlama yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemler içerisinde en yaygın olanı Taguchi metodudur. Deneysel çalışmada değişken olarak, soğutma tipi, kesme hızı, talaş derinliği, kesici takım ilerlemesi, kullanılan kesici takım tipleri olarak belirlenmiştir. Değişkenlerin sayılarına göre L18 çalışma sistemi kurulmuştur Çizelge 4.3'te bu deneysel çalışma tipi gösterilmiştir. Çizelge 4.4'te ise serbestlik derecelerinin belirlenerek toplamda 11 değeri bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Taguchi metoduna göre deneysel tasarım tipi

	Soğutma	Vc	t	f	Kesici takım
1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2
3	1	1	3	3	3
4	1	2	1	1	2
5	1	2	2	2	3
6	1	2	3	3	1
7	1	3	1	2	3
8	1	3	2	3	1
9	1	3	3	1	2
10	2	1	1	3	2
11	2	1	2	1	3
12	2	1	3	2	1
13	2	2	1	2	1
14	2	2	2	3	2
15	2	2	3	1	3
16	2	3	1	3	3
17	2	3	2	1	1
18	2	3	3	2	2

Çizelge 4.4. Taguchi metoduna göre serbestlik derecesinin bulunması

Değer	Serbestlik Derecesi
Soğutma	1
Vc	2
t	2
f	2
Açı	2
Takım	2
Toplam	11
	L11<L18

Serbestlik dereceleri hesaplandığında L11 ortogonal dizisi toplam deney dizisinden L18 küçük olduğu için uygulanması uygundur. Deneysel çalışma bu tasarım modeline göre uygulanmıştır.

4.8.2. Kuvvet ölçme deneyleri

Deneysel çalışmanın yapıldığı çalışma ortamı ve sistemin kurulmuş hali Resim 4.23'te gösterilmektedir. Deneysel çalışma sistemi CNC torna tezgahı, 3 eksen kuvvet ölçüm dinamometresi, veri toplayıcı, MMY sistemi, bilgisayar ve yazılımdan oluşmaktadır. Çalışma prensibi klasik tornalamaya ek olarak kuvvet ölçümü, kuru işleme ve minimum yağlama sistemi ile soğutma üzerine kurulu olup en iyi sonuç aranmıştır. Deney sıra numarasına her bir deney bir iş parçasında, kesme parametreleri ve kesme şartları sağlanarak uygulanmıştır.



Resim 4.23. Deneysel çalışmanın yapıldığı CNC tezgah ve cihazlar

Deney düzeneğinin, farklı materyaller üzerinde daha önce birçok deneysel çalışmalarda kullanılmış olması ve bu sonuçların akademik çalışmalarda yer alması, AZ91D alaşımının işlenebilirliğinde ve sonuçların doğru alınmasında yardımcı olmuştur. Sistem sadece deneysel çalışmaların yapılmasında kullanılmaktadır. Ayrıca dinamometrelerin kalibrasyonları da deneysel çalışma öncesinde tamamlanmıştır.

Deney tasarımının kurulmasının ardından, deneylerde kullanılacak olan parametreler ve ortam şartları literatür, kesici takım üreticilerin daha önce kullanmamış olmasına rağmen önerileri ve bazı benzer özelliklere sahip malzemelerde kullanılan değerler göz alınarak deney tasarımına yerleştirilmiştir. Çizelge 4.5’de bu değerler verilmiştir.

Çizelge 4.5. Deneysel çalışmada kullanılan değerler

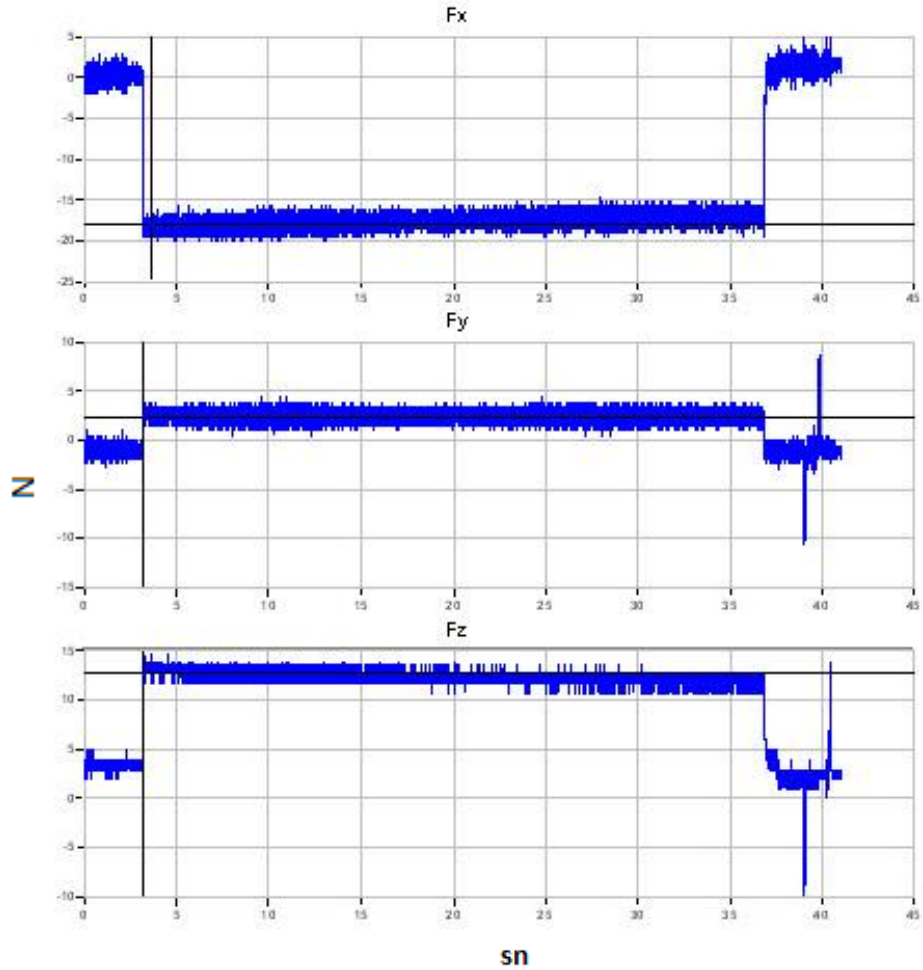
	Soğutma	Kesme Hızı (m/dak)	Talaş Derinliği (mm)	İlerleme (dev/mm)	Takım Tipi	Devir (RPM)
1	MMY	500	0,5	0,05	CCGT	2653,93
2	MMY	500	1	0,1	DCGT	2653,93
3	MMY	500	1,5	0,2	VCGT	2653,93
4	MMY	750	0,5	0,05	DCGT	3980,89
5	MMY	750	1	0,1	VCGT	3980,89
6	MMY	750	1,5	0,2	CCGT	3980,89
7	MMY	1000	0,5	0,1	VCGT	5307,86
8	MMY	1000	1	0,2	CCGT	5307,86
9	MMY	1000	1,5	0,05	DCGT	5307,86
10	Kuru	500	0,5	0,2	DCGT	2653,93
11	Kuru	500	1	0,05	VCGT	2653,93
12	Kuru	500	1,5	0,2	CCGT	2653,93
13	Kuru	750	0,5	0,1	CCGT	3980,89
14	Kuru	750	1	0,2	DCGT	3980,89
15	Kuru	750	1,5	0,05	VCGT	3980,89
16	Kuru	1000	0,5	0,1	VCGT	5307,86
17	Kuru	1000	1	0,05	CCGT	5307,86
18	Kuru	1000	1,5	0,2	DCGT	5307,86

5 farklı parametrenin kullanıldığı deneysel çalışmalarda soğutma tipi MMY ve kuru olarak 2 değişkene sahiptir. Kesme hızı değerleri ise 500, 750 ve 1000 m/dak olarak 3 farklı hızda çalışılmıştır. Kesici takım talaş derinliği ise 0,5, 1 ve 1,5 mm olmak üzere yine 3 farklı değerlerde verilmiştir. İlerleme hızı, 0,05, 0,1 ve 0,2 dev/mm olarak belirlenmiştir. Kesici takım tipleri ise geometrilerine göre 3 farklı tipte olan VCGT, CCGT ve DCGT olmak üzere karar verilmiştir. CNC tezgah limitleri zorlanarak 5300 RPM devire kadar çıkılmıştır.

Bu çalışma şartlarında ortaya çıkan kesme kuvveti deneyleri grafikleriyle birer birer verilmiştir.

1 numaralı deneysel çalışma

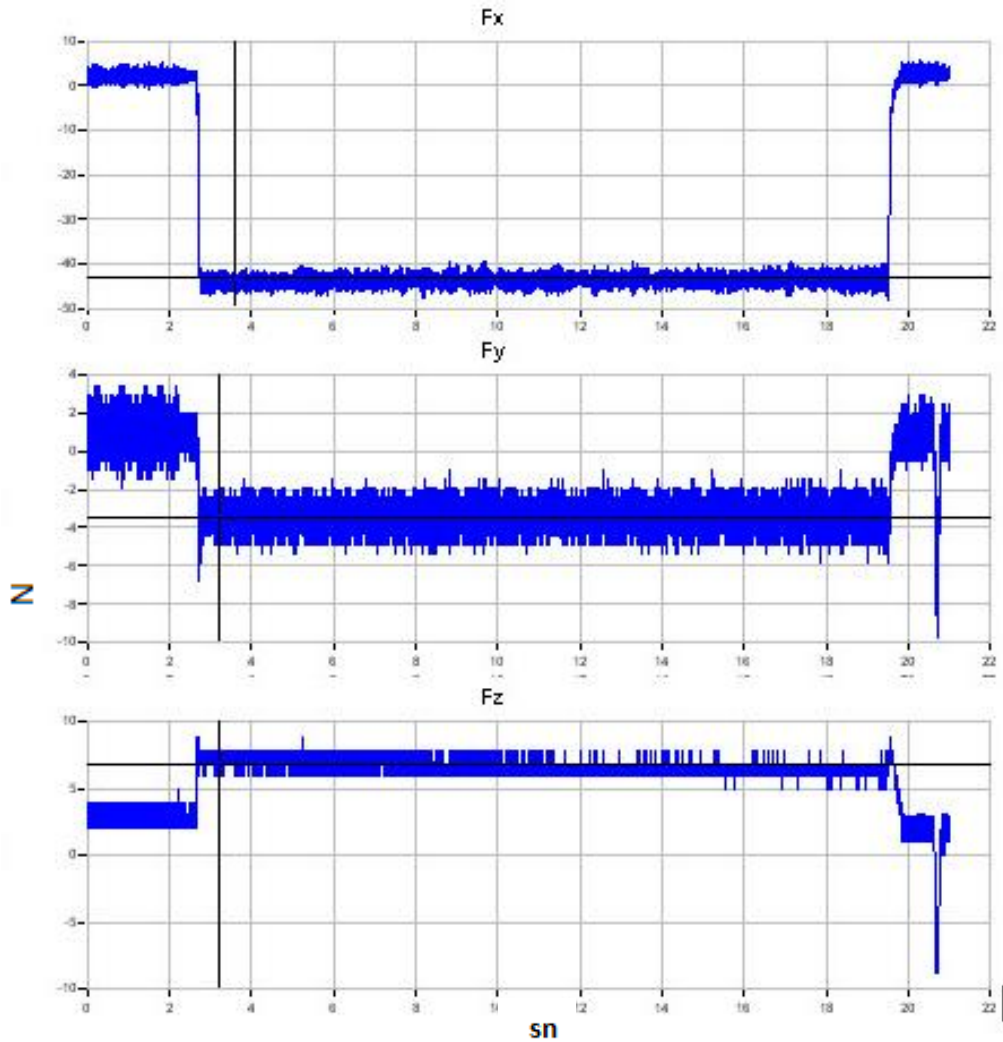
Deneysel çalışma için kurulan düzenekte her bir çalışma için ayrı iş parçası kullanılmıştır. 1 numaralı deneyde, MMY yöntemiyle, bu deneyde ve bunda sonraki 8 deneyde, kesme noktasına her bir püskürtmede 0,0036 ml kesme yağını saniyede 2 kez ve 5 bar'lık bir basınç çıkışıyla yapılmıştır. Kesme hızı olarak 500 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 0,5 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,05 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise CCGT seçilmiştir. Kuvvet ölçümü 5-35 sn aralığında alınmıştır. Şekil 4.2'de F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.2. 1 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

2 numaralı deneysel çalışma

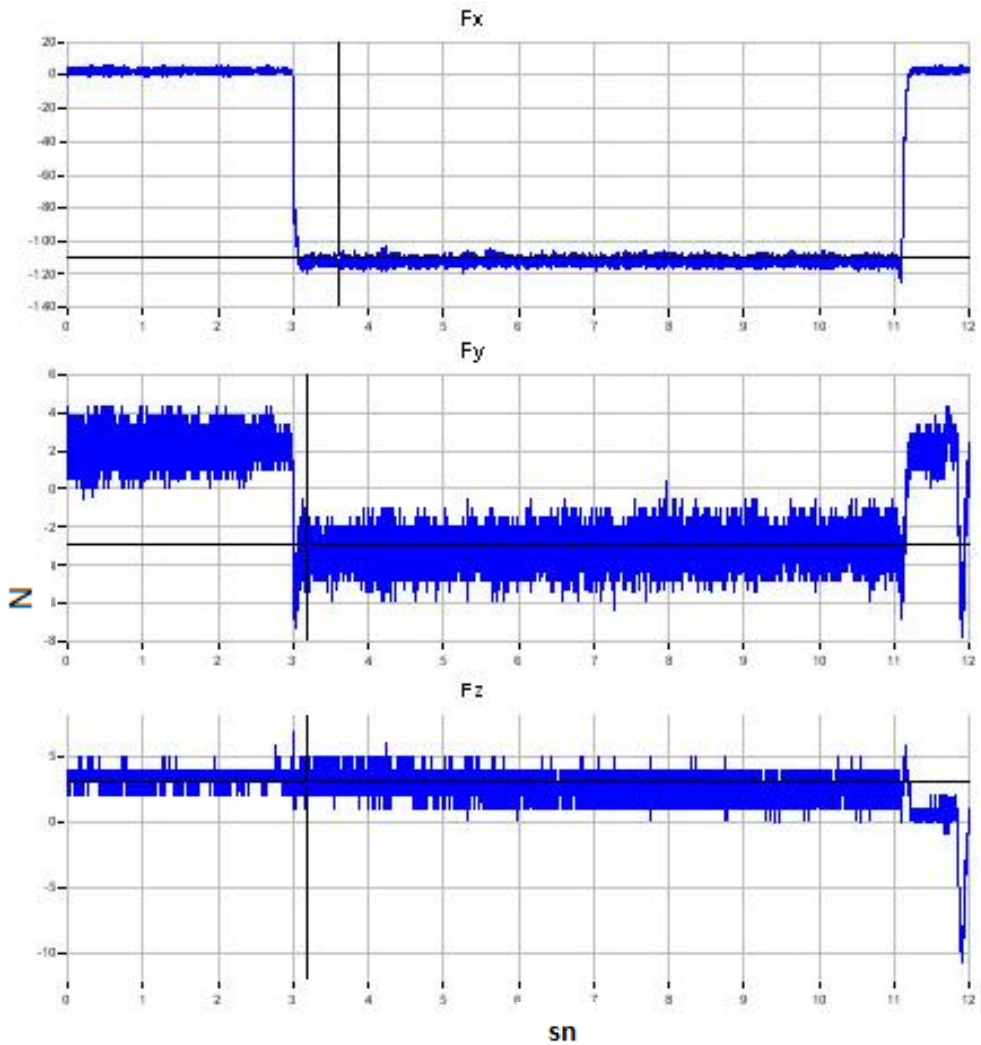
2 numaralı deneyde, MMY yöntemiyle yapılmıştır. Kesme hızı olarak 500 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 1 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,1 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise DCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 3-18 sn aralığında ölçülmüştür. F_y ölçümü esnasında alınan değerlerde F_x ve F_z 'ye göre titreşimin daha fazla olduğu görülmüştür. Şekil 4.3'de ise F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.3. 2 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

3 numaralı deneysel çalışma

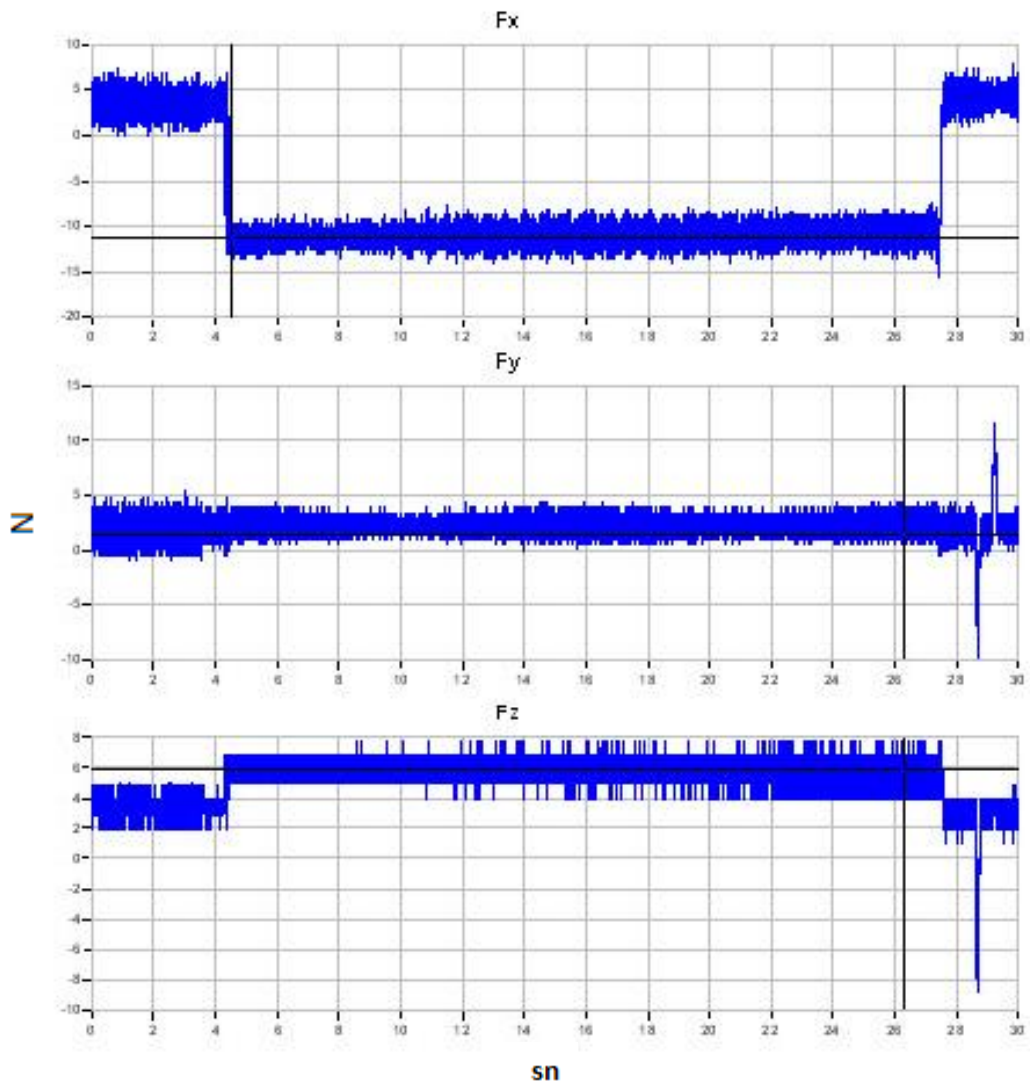
3 numaralı deneyde, MMY yöntemiyle yapılmıştır. Kesme hızı olarak 500 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 1,5 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,2 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise VCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 3-11 sn aralığında ölçülmüştür. Kesme anında F_y kuvvetinin oluşumunda titreşim diğer kuvvet ölçümlerine göre daha yüksektir. Şekil 4.4’de ise F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.4. 3 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

4 numaralı deneysel çalışma

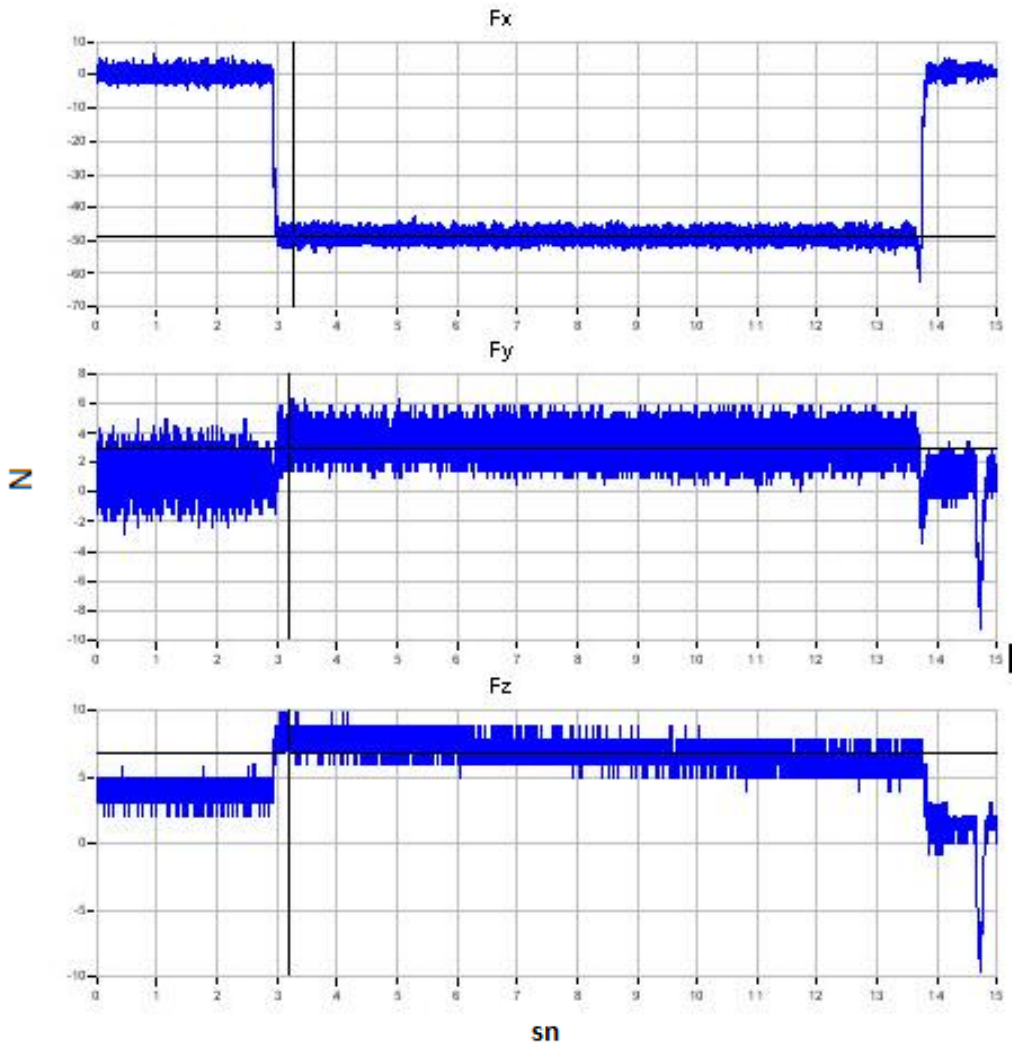
4 numaralı deneyde, MMY yöntemiyle yapılmıştır. Kesme hızı olarak 750 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 0,5 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,05 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise DCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 4-26 sn aralığında ölçülmüştür. Şekil 4.5’de ise F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.5. 4 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

5 numaralı deneysel çalışma

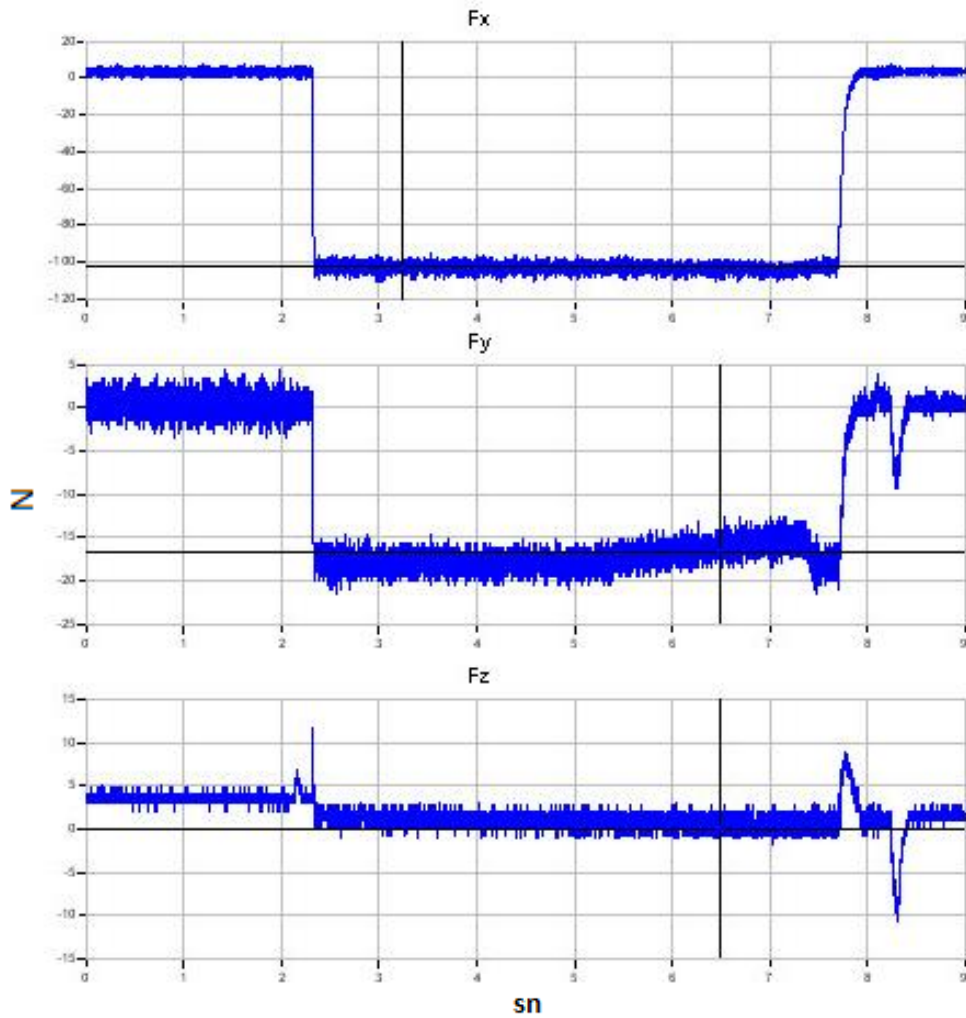
5 numaralı deneyde, MMY yöntemiyle yapılmıştır. Kesme hızı olarak 750 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 1 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,1 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise VCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 3-14 sn aralığında ölçülmüştür. F_y ölçümü anında oluşan titreşim miktarı F_x ve F_z 'de daha azdır. Şekil 4.6'da ise F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.6. 5 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

6 numaralı deneysel çalışma

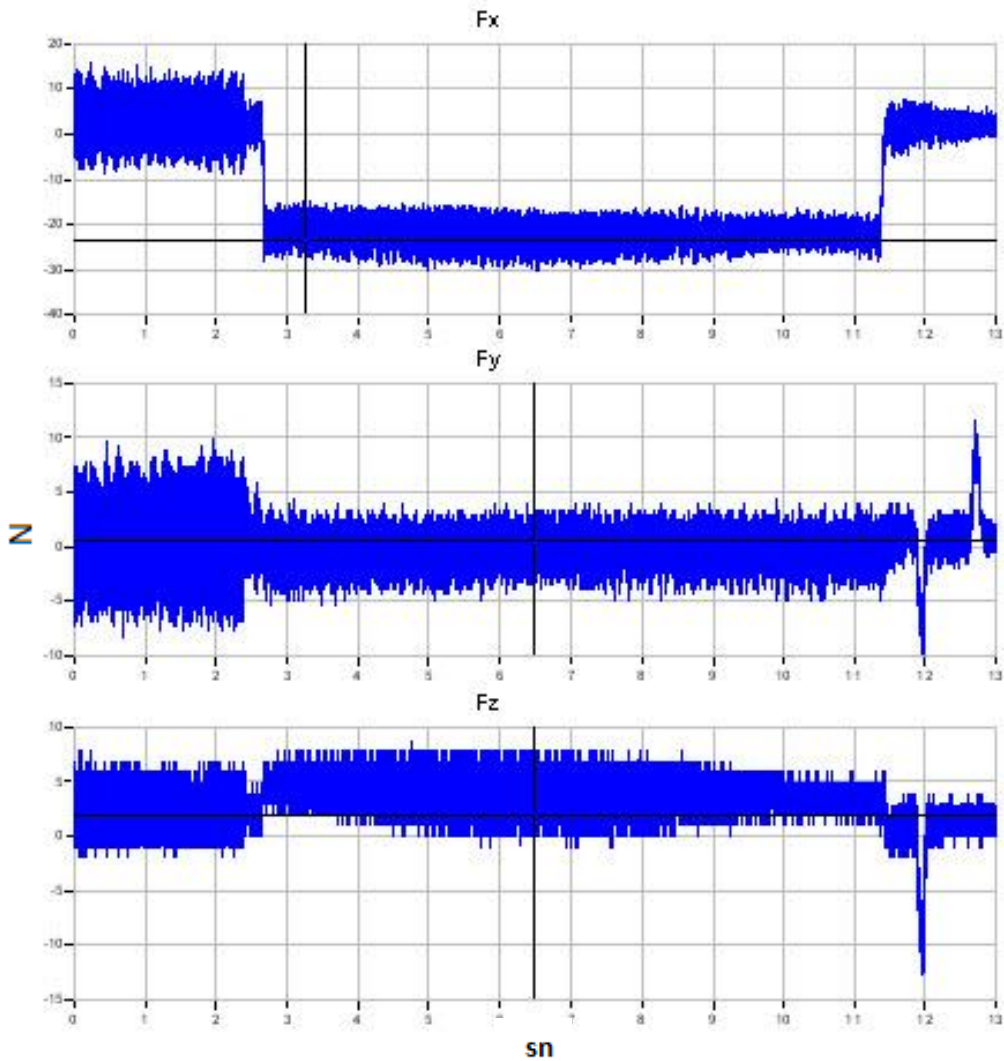
6 numaralı deneyde, MMY yöntemiyle yapılmıştır. Kesme hızı olarak 750 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 1,5 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,2 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise CCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 3-8 sn aralığında ölçülmüştür. Fx ve Fz ölçümlerinde lineer grafik alınırken Fy’de kesme işleminin sonlarına doğru oluşan kuvvet de 3 N’luk bir azalma olmuştur. Şekil 4.7’de Fx, Fy ve Fz kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.7. 6 numaralı deneyde Fx, Fy ve Fz kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

7 numaralı deneysel çalışma

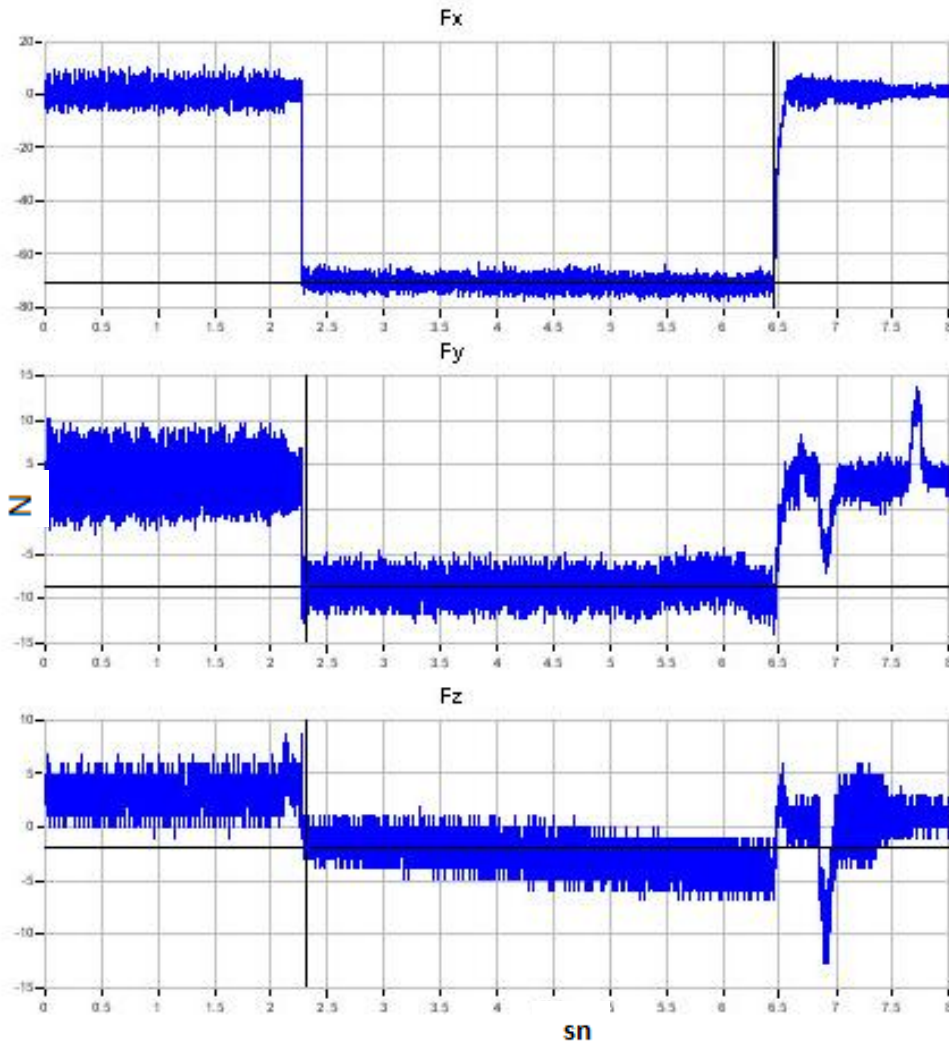
7 numaralı deneyde, MMY yöntemiyle yapılmıştır. Kesme hızı olarak 1000 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 0,5 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,1 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise VCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 3-11 sn aralığında ölçülmüştür. Her üç kuvvet ölçümünde de titreşim diğer ölçümlere göre daha yüksek olmuş olup en düşük titreşim F_x 'de görülmüştür. Şekil 4.8'de F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.8. 7 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

8 numaralı deneysel çalışma

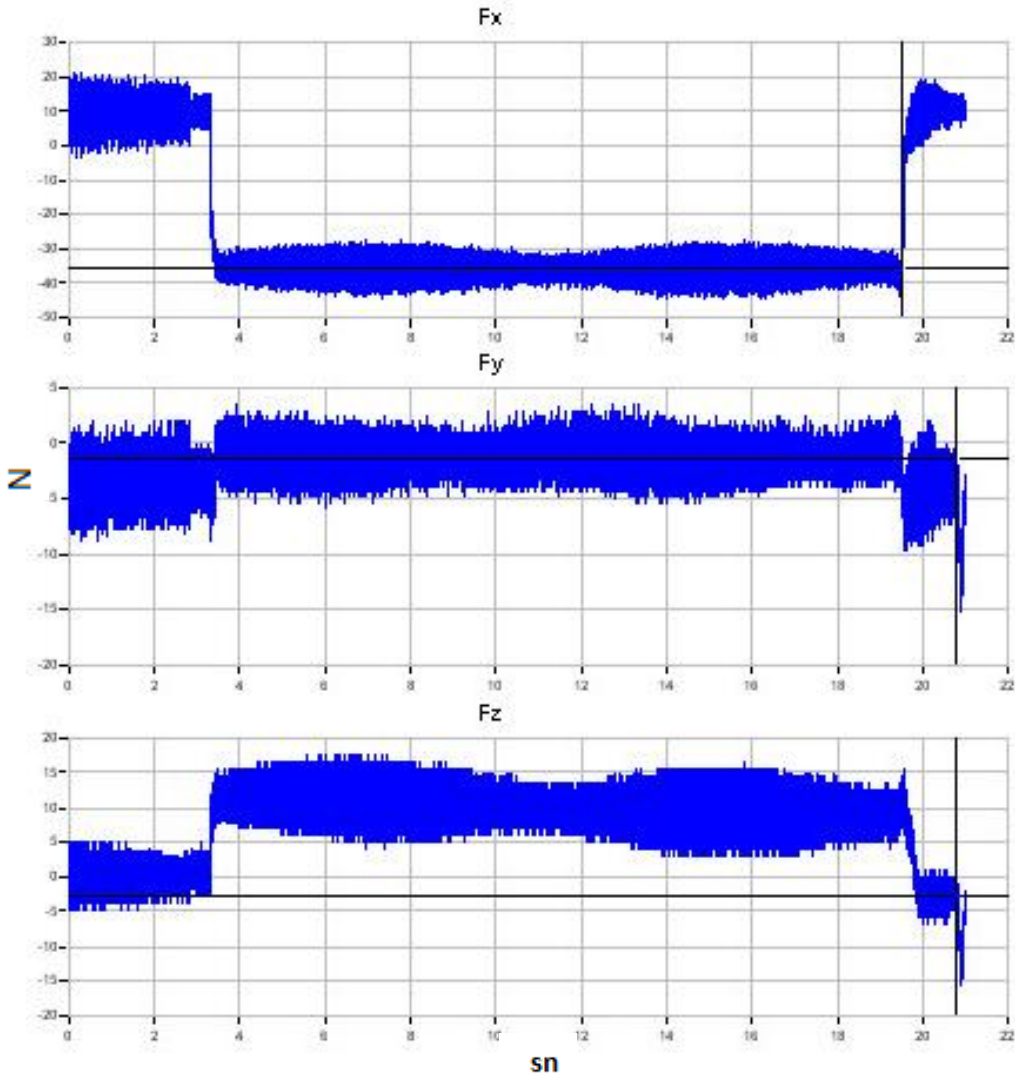
8 numaralı deneyde, MMY yöntemiyle yapılmıştır. Kesme hızı olarak 1000 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 1 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,2 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise CCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 2,5-6,5 sn aralığında ölçülmüştür. Fx ölçümünde elde edilen kuvvet ölçüm grafiği incelendiğinde Fy ve Fz'de oluşan grafiklere göre daha az titreşim olduğu görülmüştür. Şekil 4.9'da ise Fx, Fy ve Fz kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.9. 8 numaralı deneyde Fx, Fy ve Fz kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

9 numaralı deneysel çalışma

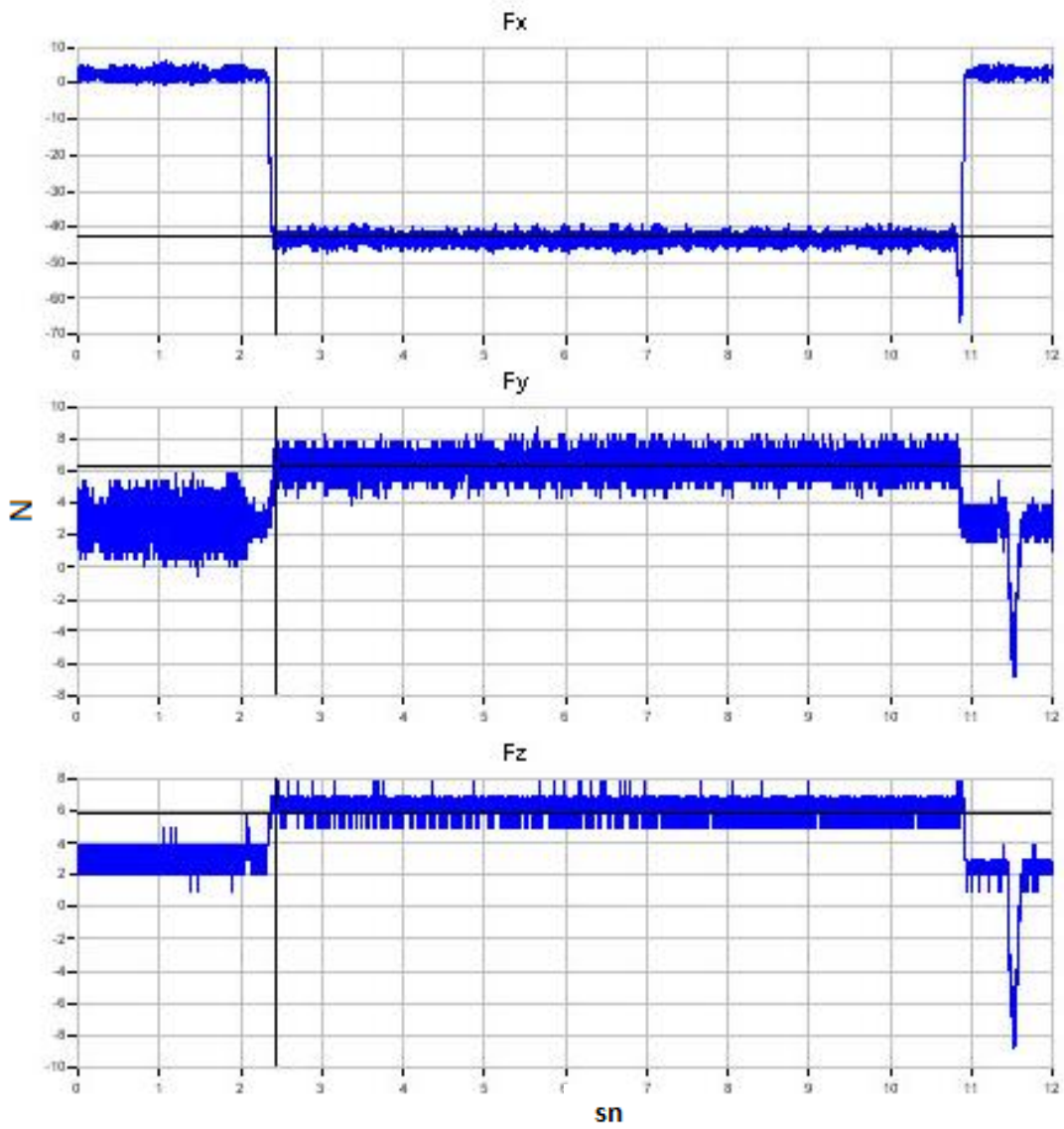
9 numaralı deneyde, MMY yöntemiyle yapılmıştır. Kesme hızı olarak 1000 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 1,5 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,05 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise DCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 4-18 sn aralığında ölçülmüştür. F_x 'de oluşan kuvvet grafiğinde önce bir artış ve sonrasında bir azalış eğilimi görülse de ortalama değeri lineerliğini korumuştur. F_y kuvveti 3N değerinde olup F_z 'de görülen kuvvet oluşma şekli F_x 'e benzerdir. Şekil 4.10'da F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.10. 9 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

10 numaralı deneysel çalışma

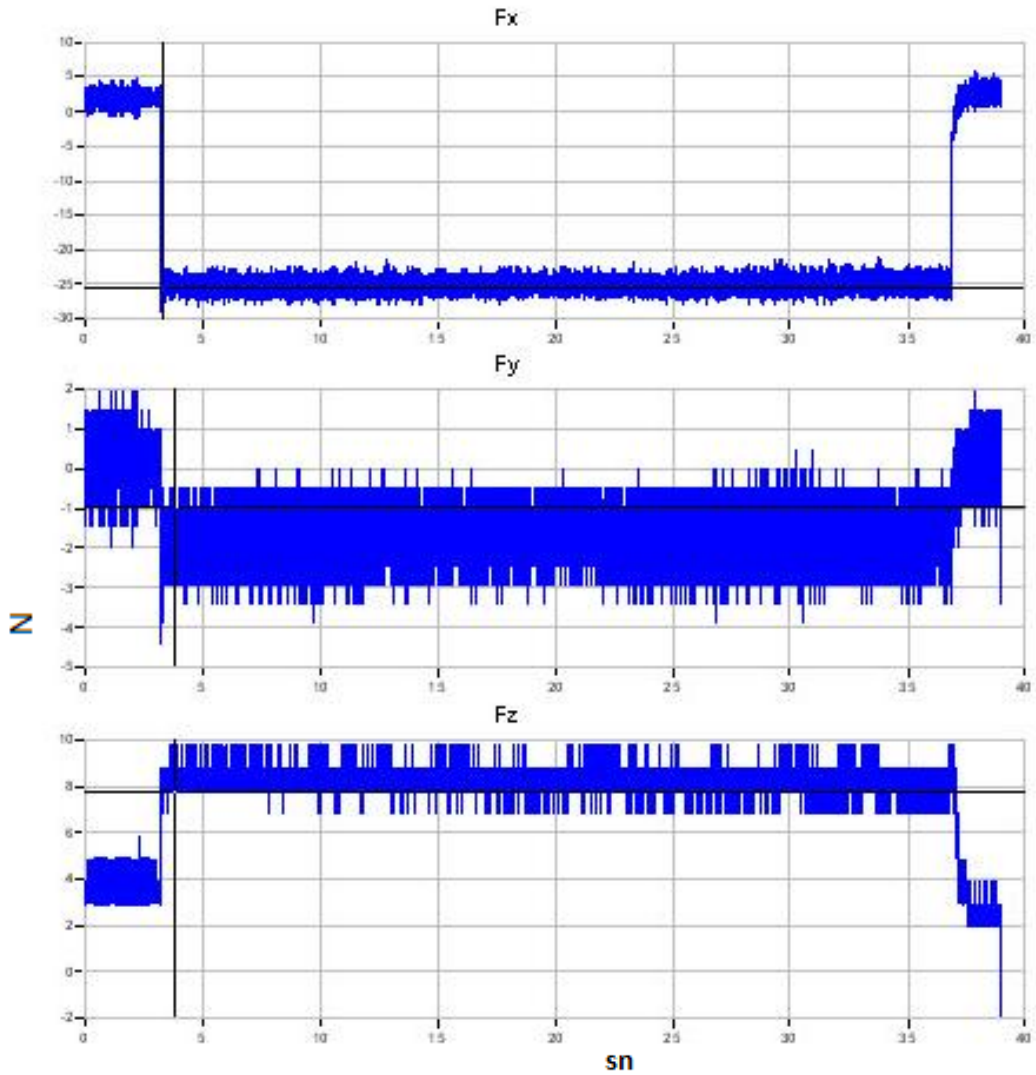
10 numaralı deneyde, soğutma sıvısı kullanmadan kuru işleme şartlarında deney yapılmıştır. Kesme hızı olarak 500 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 0,5 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,2 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise DCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 2,5-10 sn aralığında ölçülmüştür. Şekil 4.11’de F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.11. 10 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

11 numaralı deneysel çalışma

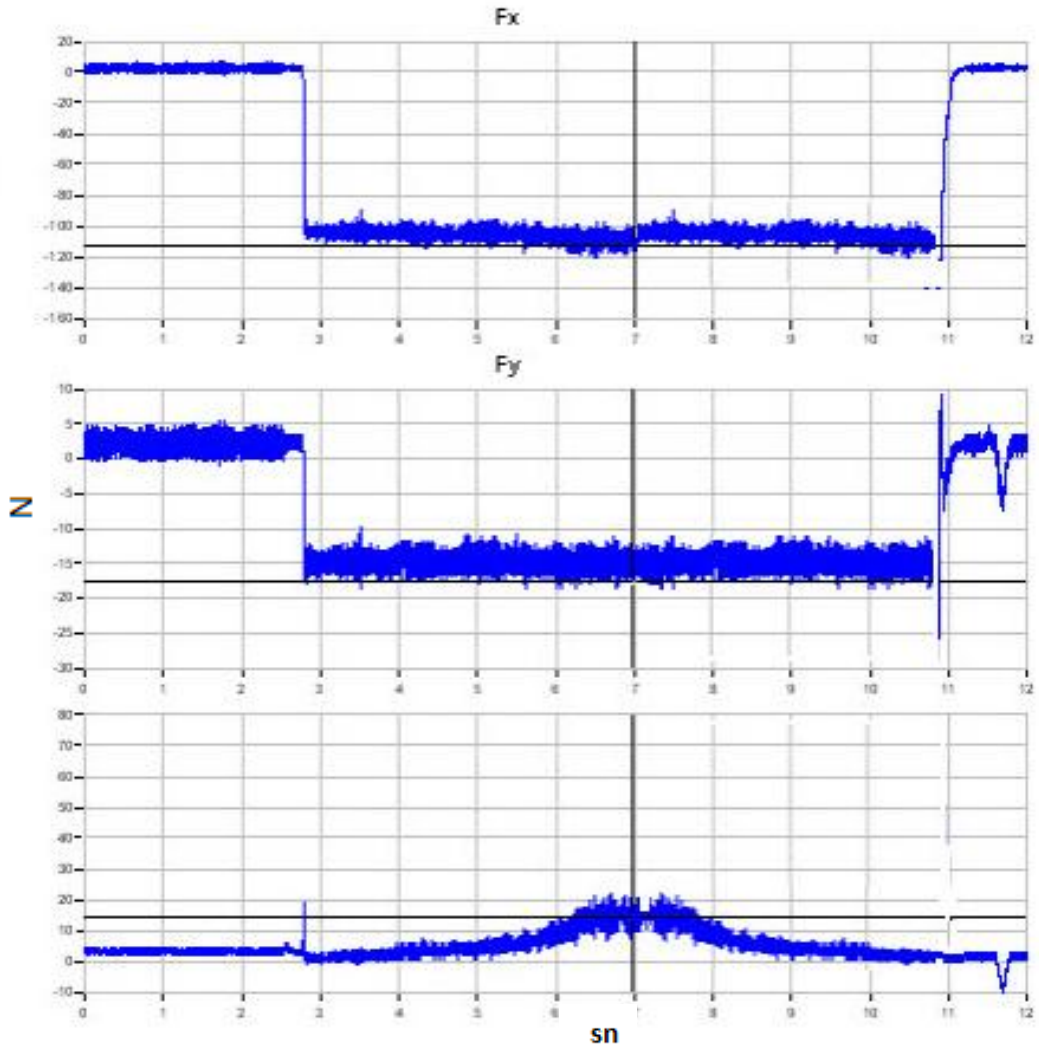
11 numaralı deneyde, soğutma sıvısı kullanmadan kuru işleme şartlarında deney yapılmıştır. Kesme hızı olarak 500 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 1 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,05 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise VCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 3-38 sn aralığında ölçülmüştür. F_y 'de titreşim diğer ölçümlere yüksek olmuştur fakat bu değer 2,5 N gibi bir değerdir. Şekil 4.12'de F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.12. 11 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

12 numaralı deneysel çalışma

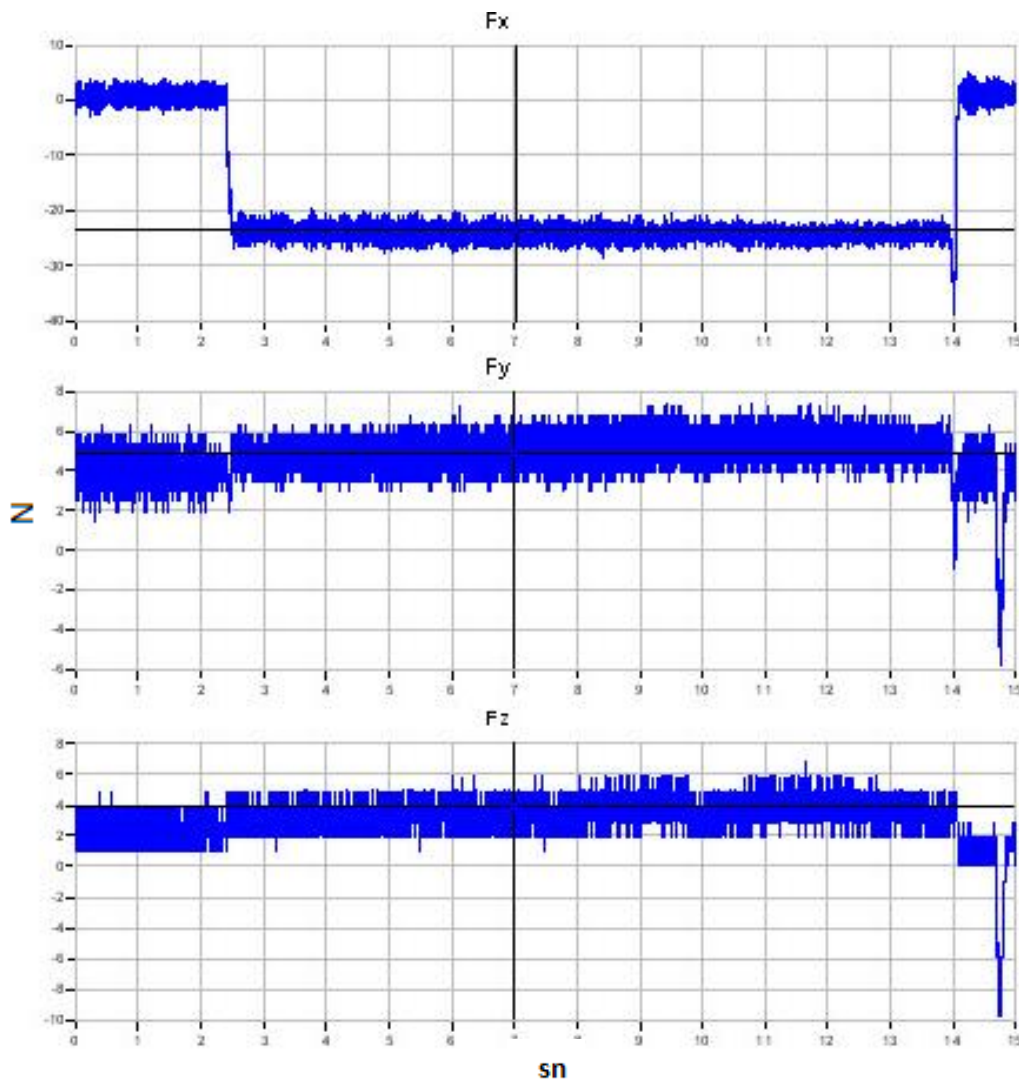
12 numaralı deneyde, soğutma sıvısı kullanmadan kuru işleme şartlarında deney yapılmıştır. Kesme hızı olarak 500 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 1,5 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,2 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise CCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 2-11 sn aralığında ölçülmüştür. Fz kuvvet ölçümünde oluşan grafik değeri öncesinde artış sonrasında aynı değere dönüş eğilimi göstermiştir. Bu değerde alınan ölçümde ortalama değeri alınmıştır. Şekil 4.13’de Fx, Fy ve Fz kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.13. 12 numaralı deneyde Fx, Fy ve Fz kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

13 numaralı deneysel çalışma

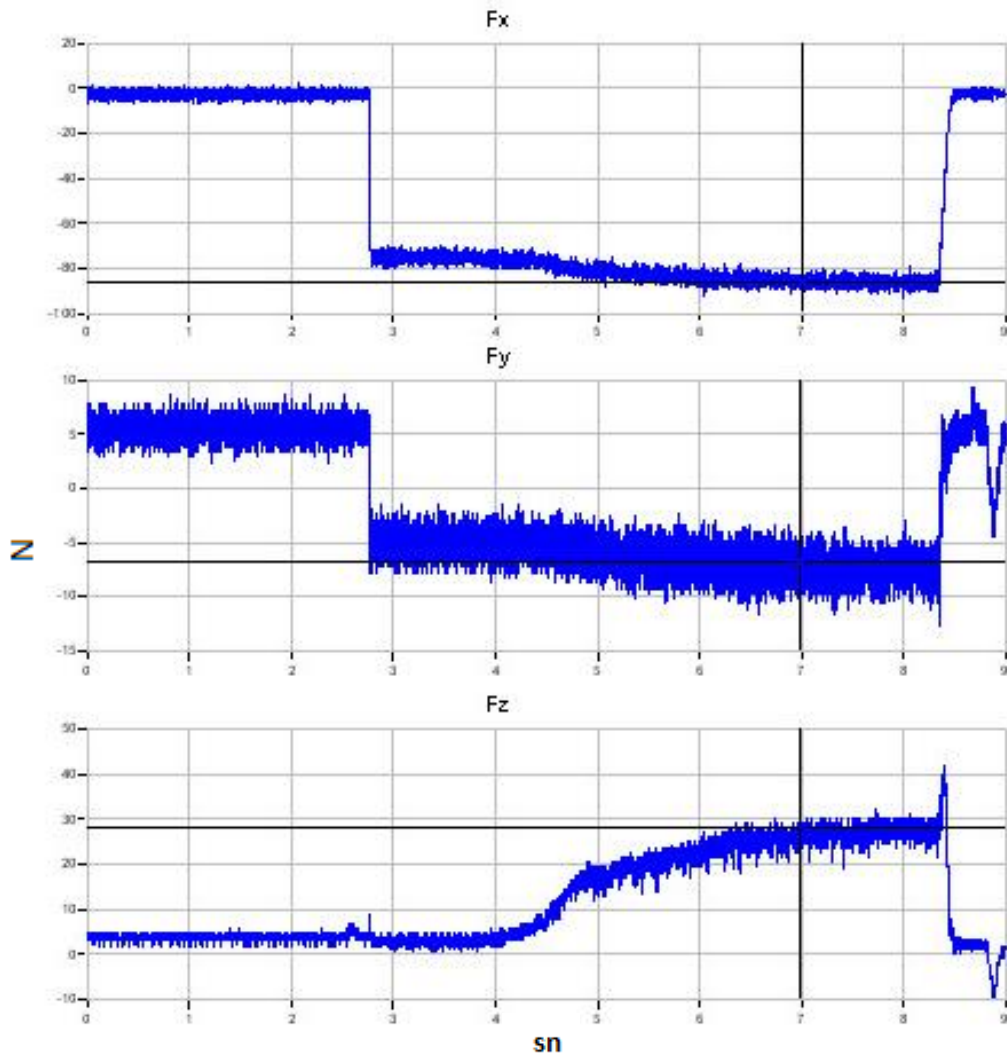
13 numaralı deneyde, soğutma sıvısı kullanmadan kuru işleme şartlarında deney yapılmıştır. Kesme hızı olarak 750 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 0,5 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,1 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise CCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 2,5-14 sn aralığında ölçülmüştür. Şekil 4.14’de F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.14. 13 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

14 numaralı deneysel çalışma

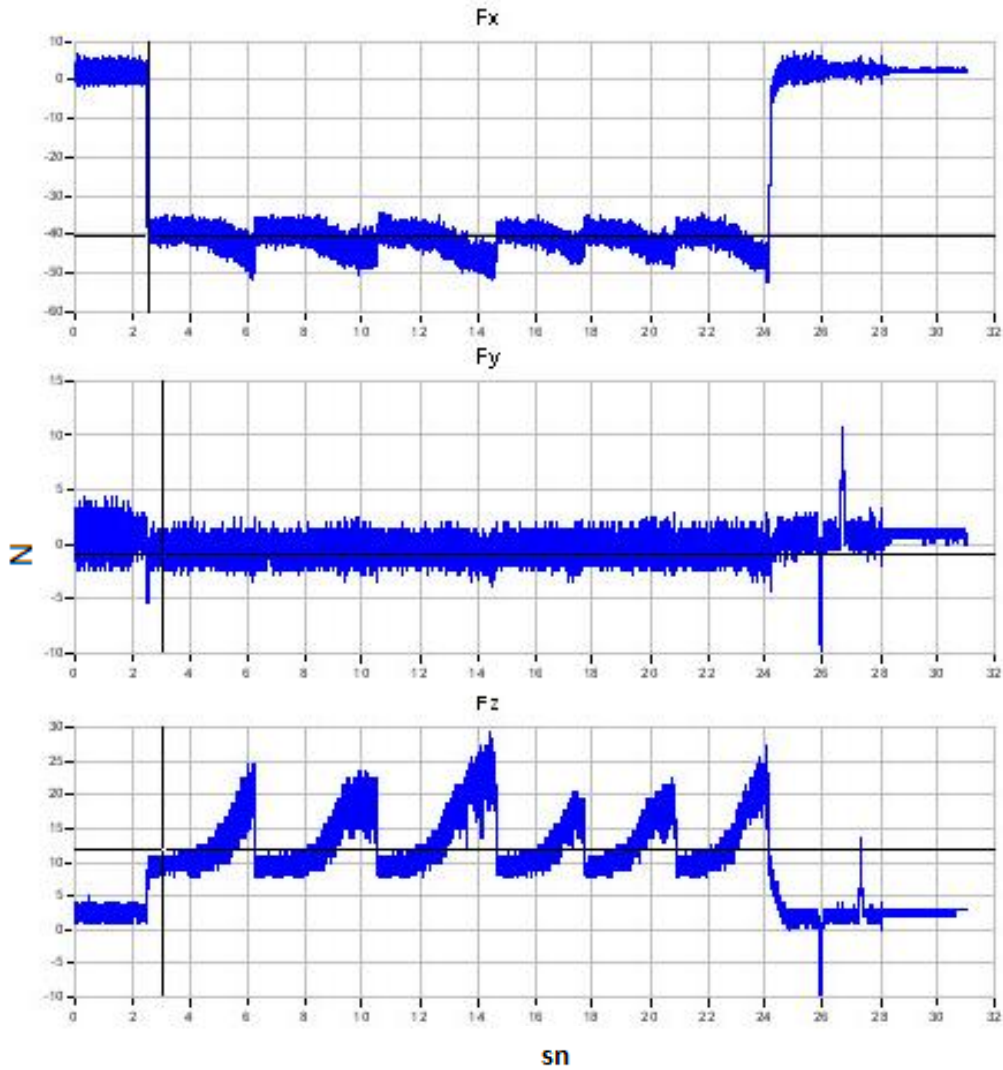
14 numaralı deneyde, soğutma sıvısı kullanmadan kuru işleme şartlarında deney yapılmıştır. Kesme hızı olarak 750 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 1 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,2 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise DCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 3-8,5 sn aralığında ölçülmüştür. Kuvvet ölçümünde dikkate alınan değerler aralığı 4. saniyeden sonra olup ortalama değeri alınmıştır. Şekil 4.15'te F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.15. 14 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

15 numaralı deneysel çalışma

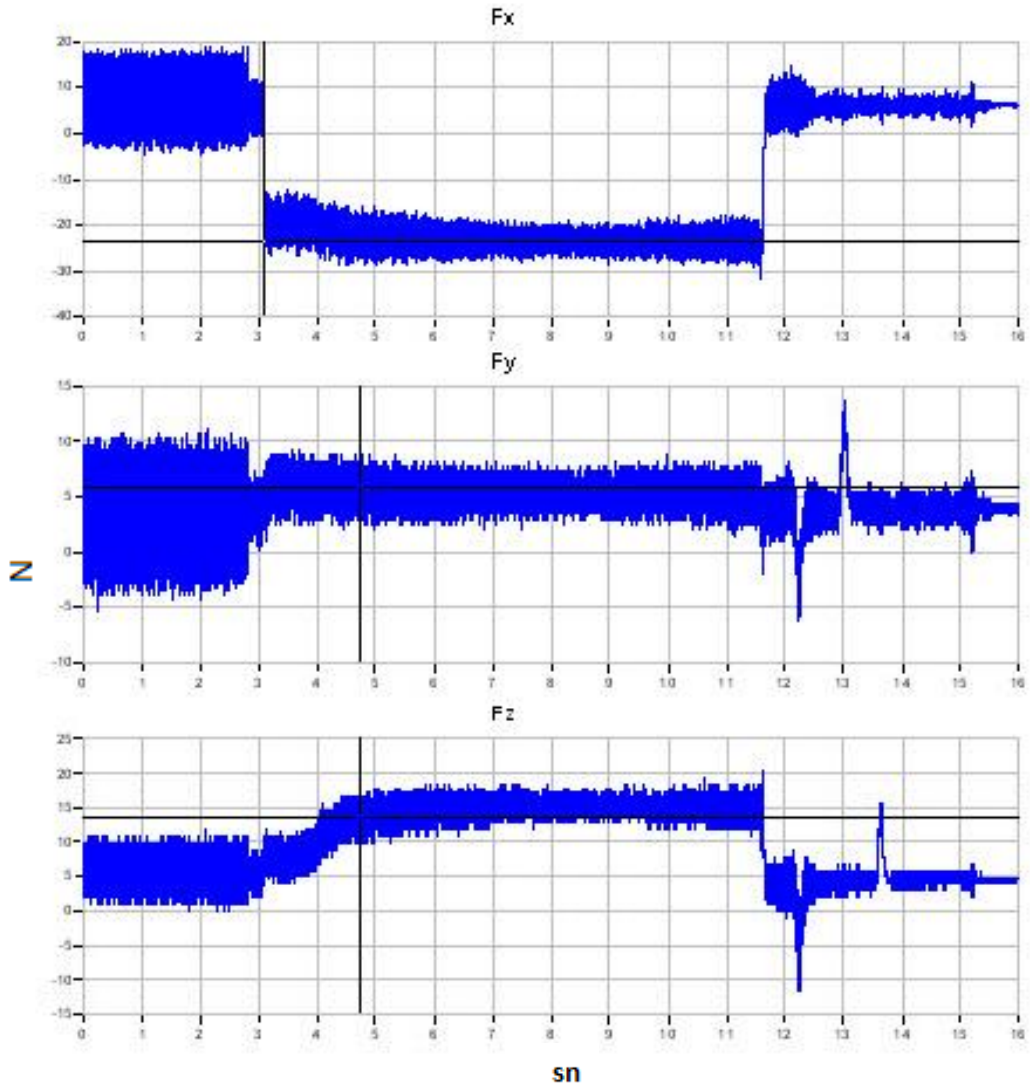
15 numaralı deneyde, soğutma sıvısı kullanmadan kuru işleme şartlarında deney yapılmıştır. Kesme hızı olarak 750 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 1,5 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,05 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise VCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 2-24 sn aralığında ölçülmüştür. Kesikli talaş tipinin oluşması, her yeni talaşın takım üzerine yüklenmesiyle grafiklerin kesikli oluşmasını sağlamıştır. Her bir talaş yük binmesiyle oluşan kuvvet değerleri ayrı ayrı ortalaması alınarak kuvvet değeri bulunmuştur. Şekil 4.16'da F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.16. 15 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

16 numaralı deneysel çalışma

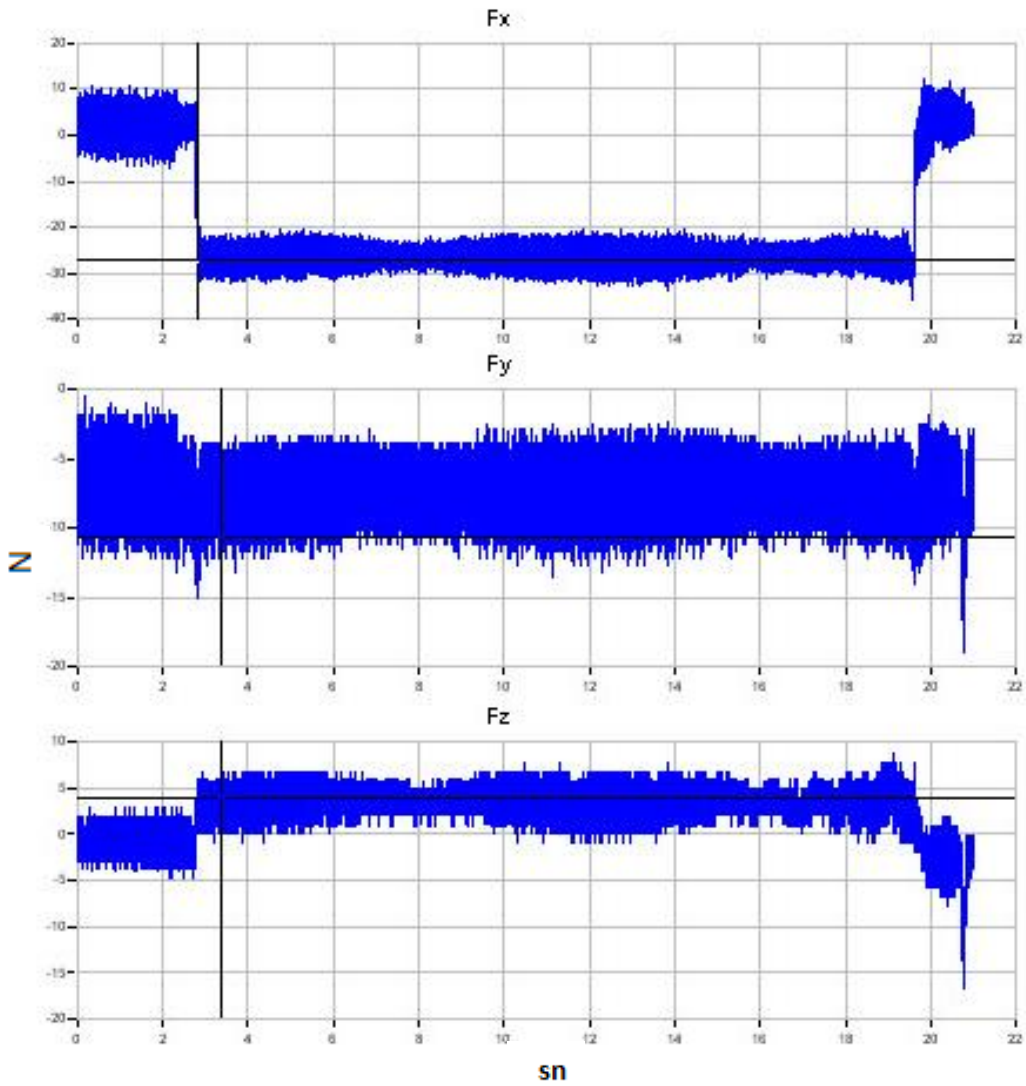
16 numaralı deneyde, soğutma sıvısı kullanmadan kuru işleme şartlarında deney yapılmıştır. Kesme hızı olarak 1000 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 0,5 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,1 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise VCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 3-11,5 sn aralığında ölçülmüştür. Kuvvetlerin dikkate alınması 5. sn'den sonradır. Şekil 4.17'de F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.17. 16 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

17 Numaralı deneysel çalışma

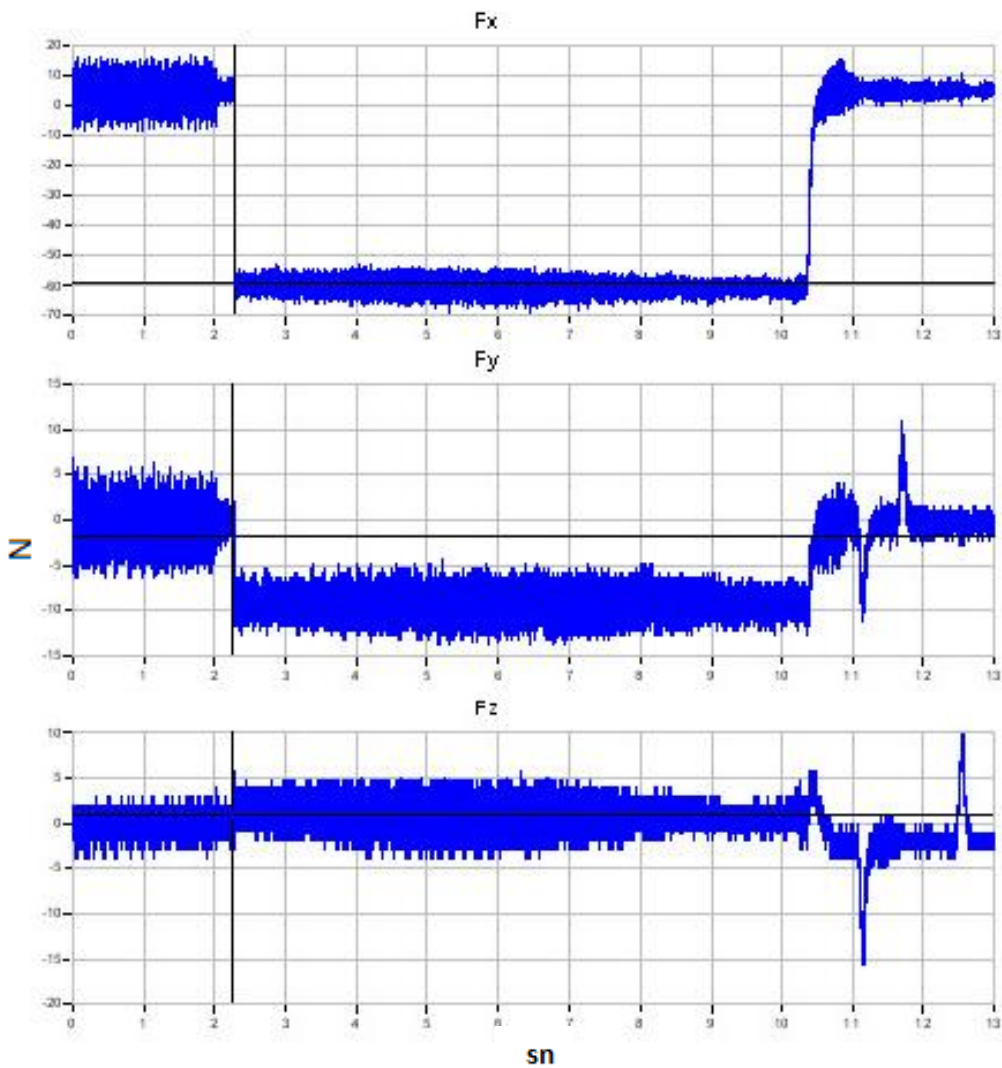
17 numaralı deneyde, soğutma sıvısı kullanmadan kuru işleme şartlarında deney yapılmıştır. Kesme hızı olarak 1000 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 1 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,05 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise CCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 2,5-18,5 sn aralığındadır. Bileşke kuvvet değeri bulunmuştur. Şekil 4.18’te F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.18. 17 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

18 Numaralı deney deneysel çalışma

18 numaralı deneyde, soğutma sıvısı kullanmadan kuru işleme şartlarında deney yapılmıştır. Kesme hızı olarak 1000 m/dk olarak belirlenmiş olup talaş derinliği 1,5 mm, kesici takım ilerlemesi ise 0,2 mm/dev olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan kesici takım ise DCGT seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan kuvvetler 2,5-10,5 sn aralığında ölçülmüştür. Şekil 4.19’da F_x , F_y ve F_z kuvvetleri verilmiştir.



Şekil 4.19. 18 numaralı deneyde F_x , F_y ve F_z kuvvetlerinde Kuvvet (N) – Zaman (sn)

4.8.3. Yüzey pürüzlülüğü deneyleri

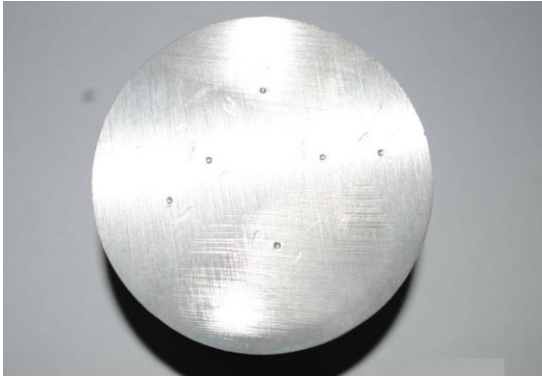
Yüzey pürüzlülük ölçümleri işlenmiş malzeme üzerinden 5 farklı noktadan 5 tekrarlı olarak alınmış olup veri kayıtları Microsoft Excel programına aktarılarak aritmetik ortalaması hesaplatılıp ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri bulunmuştur. Çalışmanın yüzey pürüzlülüğü ölçümünde, kesici takımın yüzeyde oluşturduğu girinti ve çıkıntıların toplam alanlarının eşit olduğu düzlemi referans kabul edilmiştir. Bu düzleme göre üstte ve altta kalan alanların eşit olduğu ikinci bir düzlem olan uzaklığın ölçüldüğü ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan (Ra) ölçüme esas alınmıştır. Resim 4.24'te ölçüm anı gösterilmiştir. Cihaz tarafından ölçülen Rz, Ry ve Rq değerleri de kayıt altına alınmıştır. Örnekleme ölçümünde örnekleme uzunluğu 0,25 mm ve ölçüm uzunluğu 1,75 mm seçilmiştir. Profil ölçme metodu, pürüzlülük ölçümlerinde kullanılmıştır. Ölçme işlemine geçmeden önce yüzey pürüzlülük cihazı, yüzey pürüzlülük değeri önceden bilinen kalibrasyon blokları ile kalibre edilmiştir. Ayrıca üreticinin silindir parçaların ölçümü için üretmiş olduğu dayamalar yardımıyla daha hassas ölçümler yapılmıştır.



Resim 4.24. AZ91D işleme sonrası yüzey pürüzlülük ölçümü

4.8.4. Sertlik ölçümleri

AZ91D malzeme üzerinde yapılan sertlik ölçme işlemleri TS EN ISO 6505-1 standardı Çizelge 2 ve 3'e göre HB 2,5 / 62,5 skalasında yapılmıştır. 6 farklı noktada yapılan bu deneylerin çapraz testleri de yapılmış olup sonuçlar kayıt altına alınarak ortalama değerleri bulunmuştur. Resim 4.25'te AZ91D üzerinde 6 farklı noktada sertliği ölçülen malzeme gösterilmektedir.



Resim 4.25. Sertlik ölçümü

4.8.5. Mikroyapı incelemeleri

AZ91D alaşımının mikro yapı incelemeleri x100 ve x200 büyütme altında inlenmiştir. Alaşım içinde magnezyumdan sonra en çok olması beklenen Al alaşımı Resim 4.26'da gösterilmiştir.



Resim 4.26. Mikroyapı fotoğrafları çekilen numuneler

4.8.6. Çekme deneyi

Deneyde kullanılan malzemelerin çekme deneyleri TS EN ISO 6892-1 / Mart 2011 standardına uygun olarak yapılmıştır. Laboratuarda ısıl denge şartları sağlandıktan sonra 4 numune üzerinde tamamlanmıştır. Çekme testi yapılan cihazın kalibrasyon ve doğrulama işlemleri TS EN ISO 7500-1 standardına uygun olduğu tespit edilmiştir. Çekme testi numunelerinin test sonrası görüntüleri Resim 4.27’de gösterilmiştir.



Resim 4.27. Çekme testi sonrası AZ91D alaşımı

4.8.7. Darbe deneyi

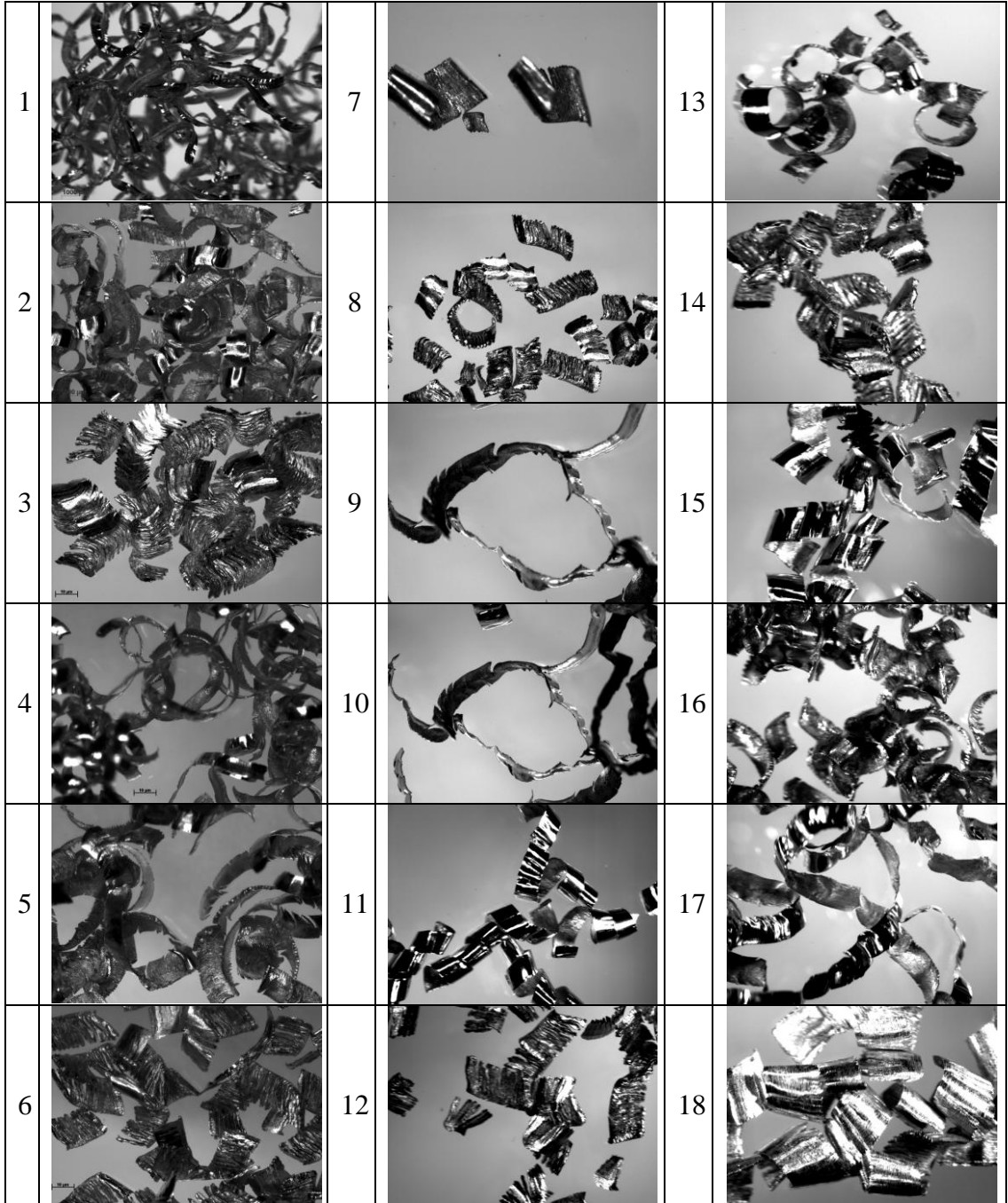
Deneyde kullanılan malzemelerin çentik darbe deneyleri TS EN ISO 148-1:2010 Nisan 2011 standardına uygun olarak yapılmıştır. Laboratuarda ısıl denge şartları sağlandıktan sonra 6 numune üzerinde tamamlanmıştır. çentik darbe deneyi numunelerinin test sonrası görüntüleri Resim 4.28’de gösterilmiştir.



Resim 4.28. Darbe testi sonrası AZ91D alaşımı

4.8.8. Talaş incelemeleri

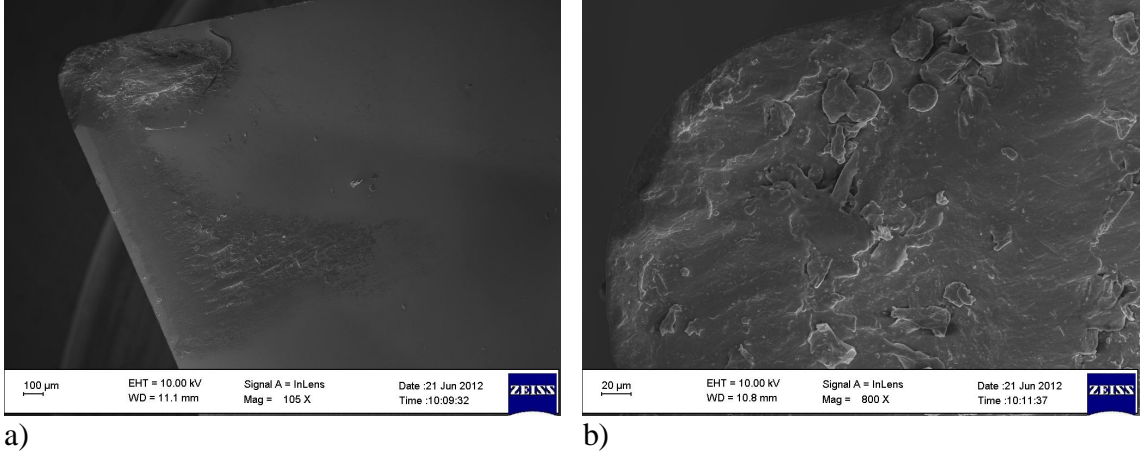
Deneysel çalışma esnasında toplanan talaşların oluşum tiplerinin görüntüleri Resim 4.29'da operasyon sırasına göre verilmiştir.



Resim 4.29. Deney sonrası oluşan talaş tipleri

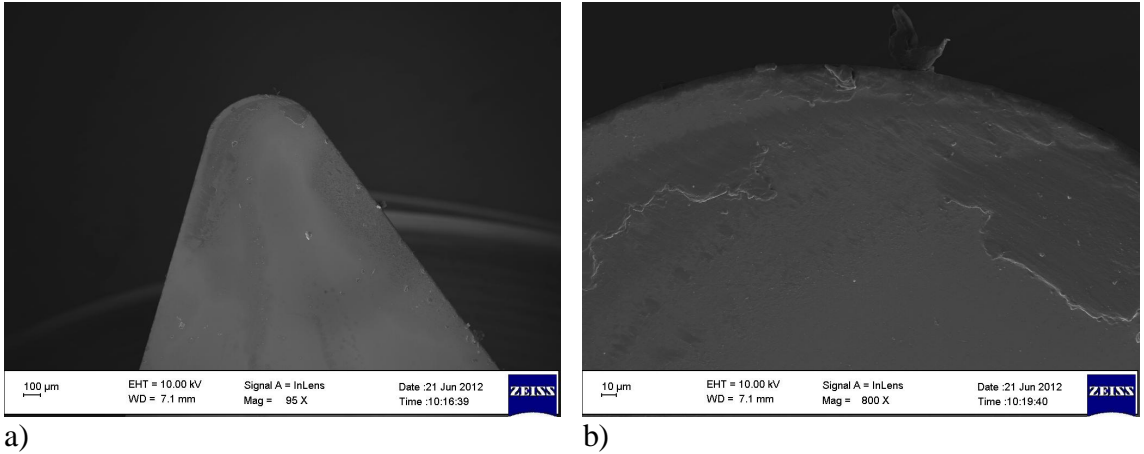
4.8.9. Takım yüzey incelemeleri

Deneysel çalışmada her bir kesici takımın deney sonrasında üzerinde olan değişiklikler görüntülenmiştir. Deneysel çalışma 1’de kullanılan DCGT takımın x105 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.30’da gösterilmiştir.



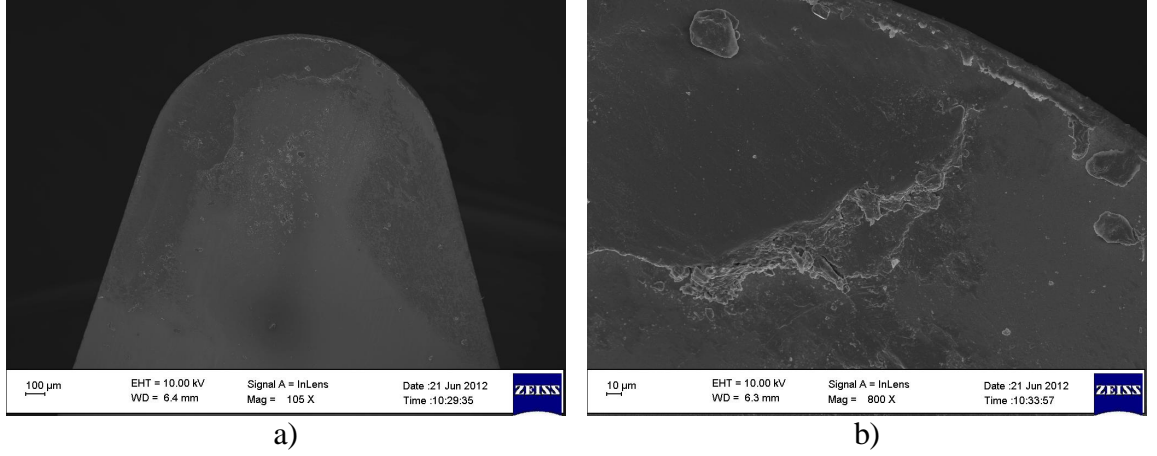
Resim 4.30. 1 numaralı kesici takım a) x105 büyütme b) x800 büyütme

Deneysel çalışma 2’de kullanılan CCGT takımın x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.31’de gösterilmiştir.



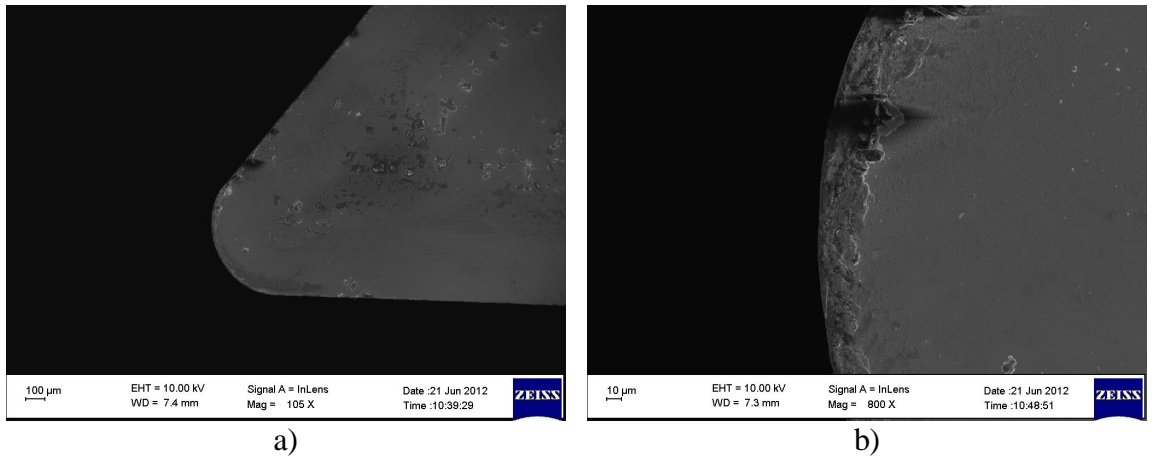
Resim 4.31. 2 numaralı kesici takım a) x95 büyütme b) x800 büyütme

Deneysel çalışma 3'te kullanılan VCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.32'de gösterilmiştir.



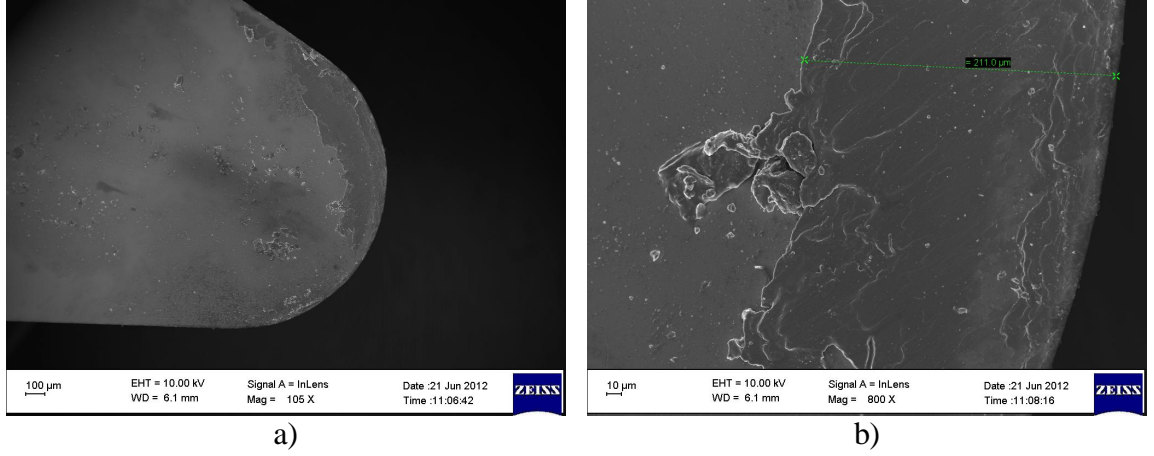
Resim 4.32. 3 numaralı kesici takım a) x105 büyütme b) x800 büyütme

Deneysel çalışma 4'de kullanılan CCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.33'te gösterilmiştir.



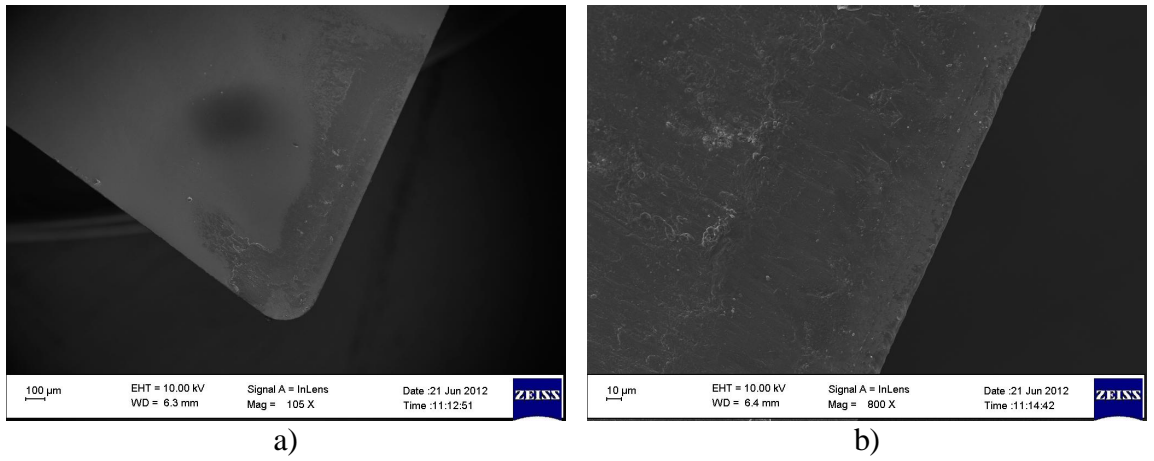
Resim 4.33. 4 numaralı kesici takım a) x105 büyütme b) x800 büyütme

Deneysel çalışma 5'te kullanılan VCGT takımının x105 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.34'te gösterilmiştir.



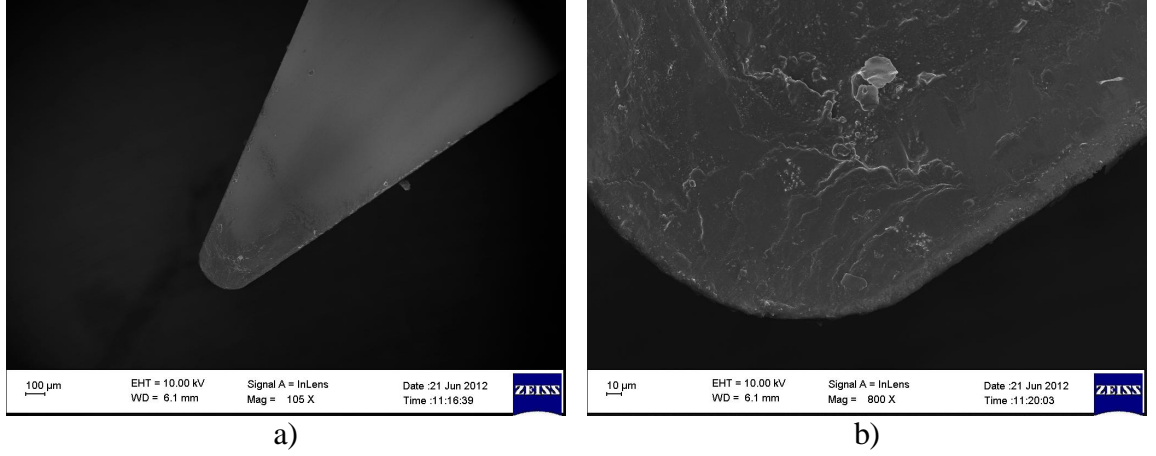
Resim 4.34. 5 numaralı kesici takım a) x105 büyütme b) x800 büyütme

Deneysel çalışma 6'da kullanılan DCGT takımının x105 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.35'te gösterilmiştir.



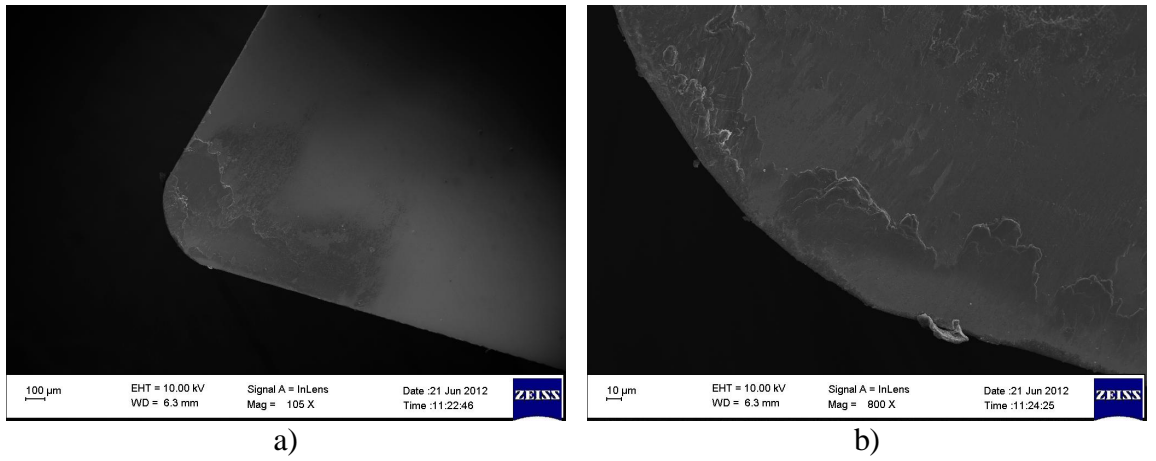
Resim 4.35. 6 numaralı kesici takım a) x105 büyütme b) x800 büyütme

Deneysel çalışma 7’de kullanılan VCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.36’da gösterilmiştir.



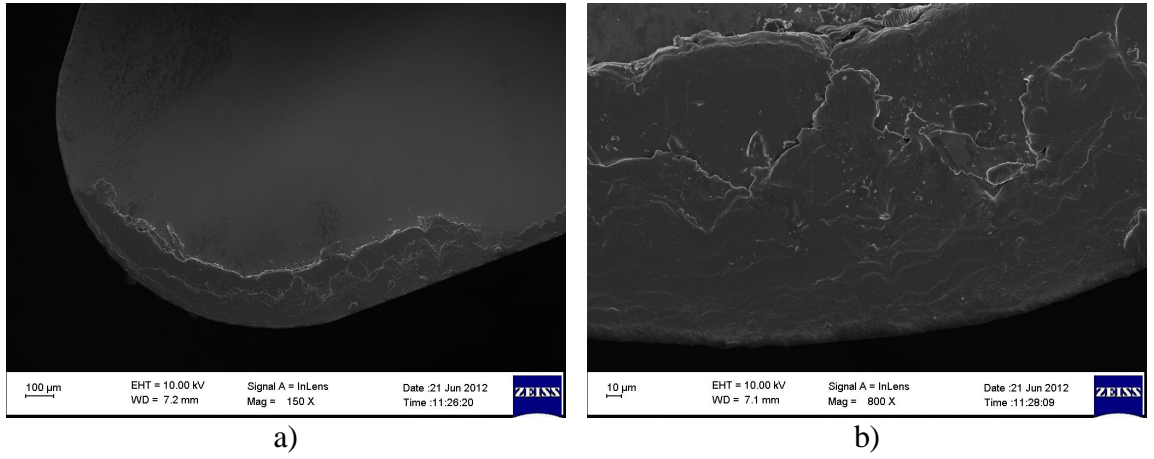
Resim 4.36. 7 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme

Deneysel çalışma 8’de kullanılan DCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.37’de gösterilmiştir.



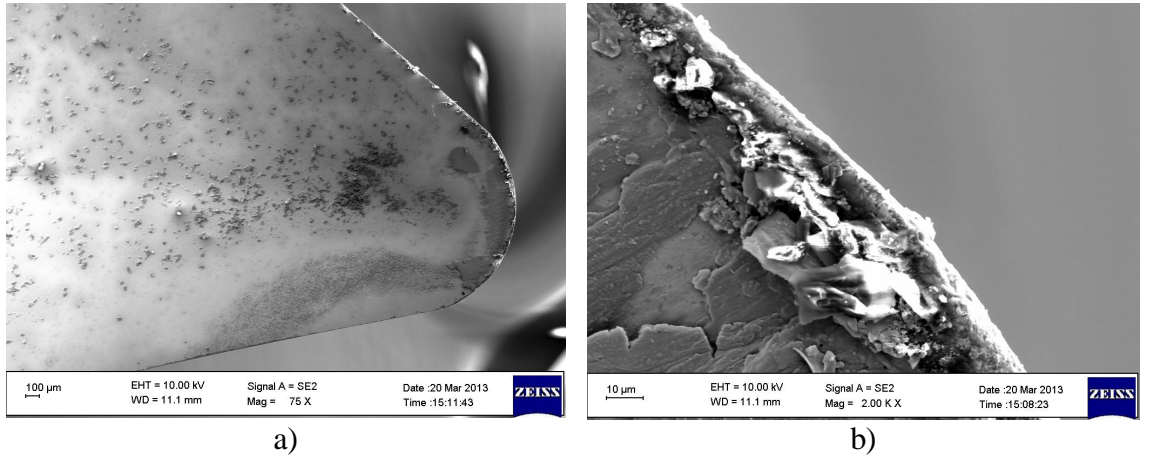
Resim 4.37. 8 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme

Deneysel çalışma 9’da kullanılan CCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.38’de gösterilmiştir.



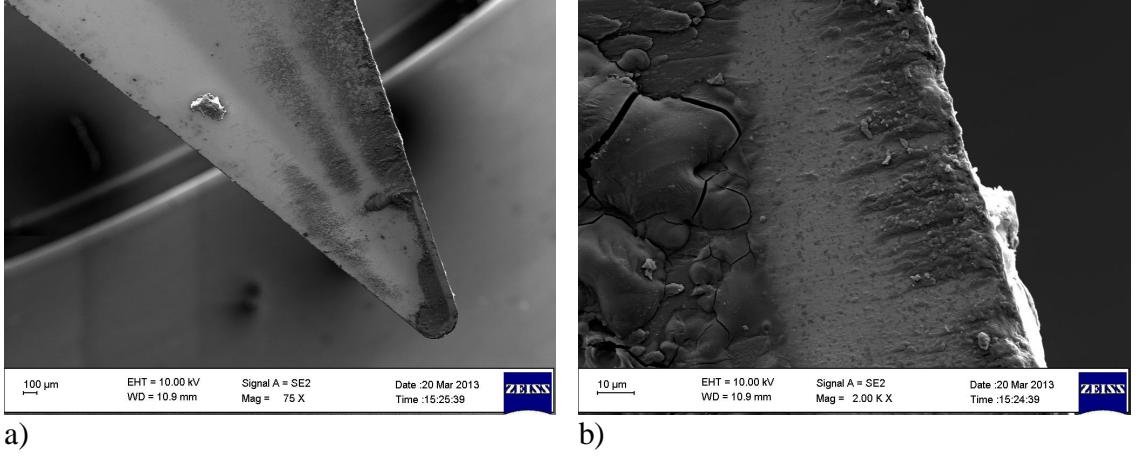
Resim 4.38. 9 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme

Deneysel çalışma 10’da kullanılan DCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.39’da gösterilmiştir.



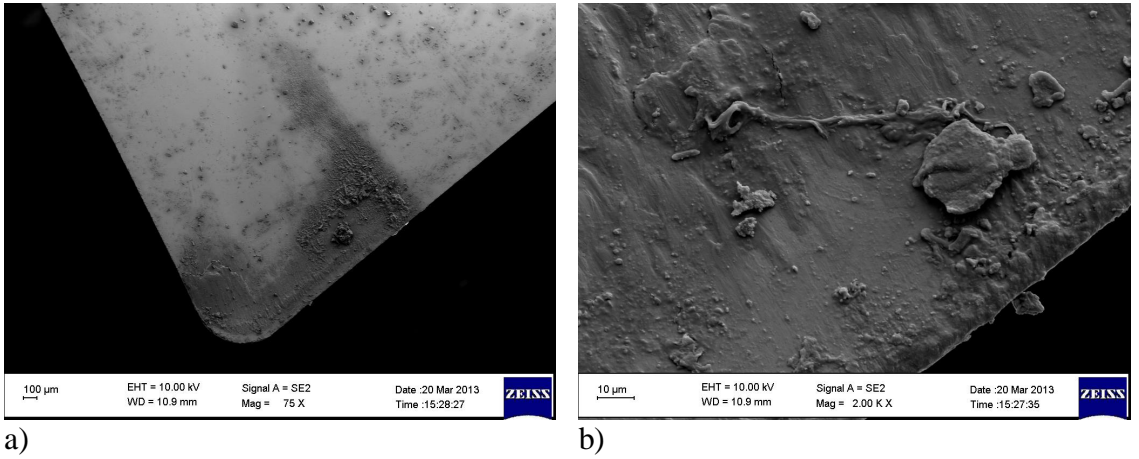
Resim 4.39. 10 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme

Deneysel çalışma 11’de kullanılan VCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.40’da gösterilmiştir.



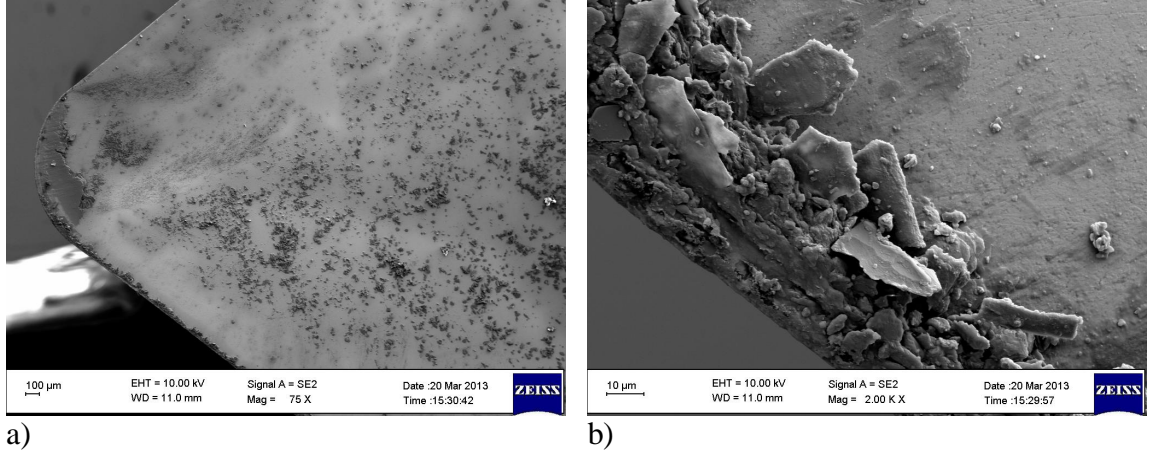
Resim 4.40. 11 numaralı kesici takım a) x105 büyütme b) x800 büyütme

Deneysel çalışma 12’de kullanılan DCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.41’de gösterilmiştir.



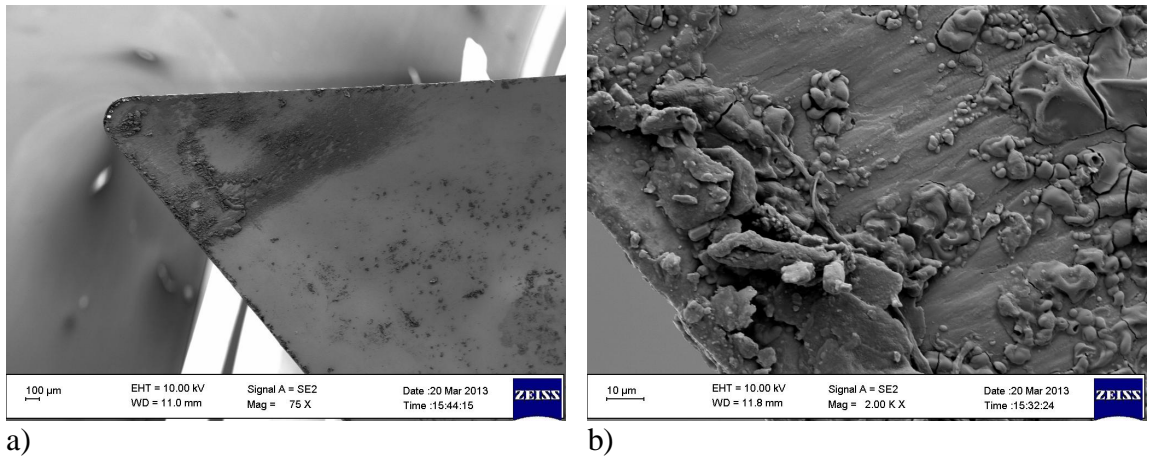
Resim 4.41. 12 numaralı kesici takım a) x105 büyütme b) x800 büyütme

Deneysel çalışma 13'te kullanılan CCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.42'de gösterilmiştir.



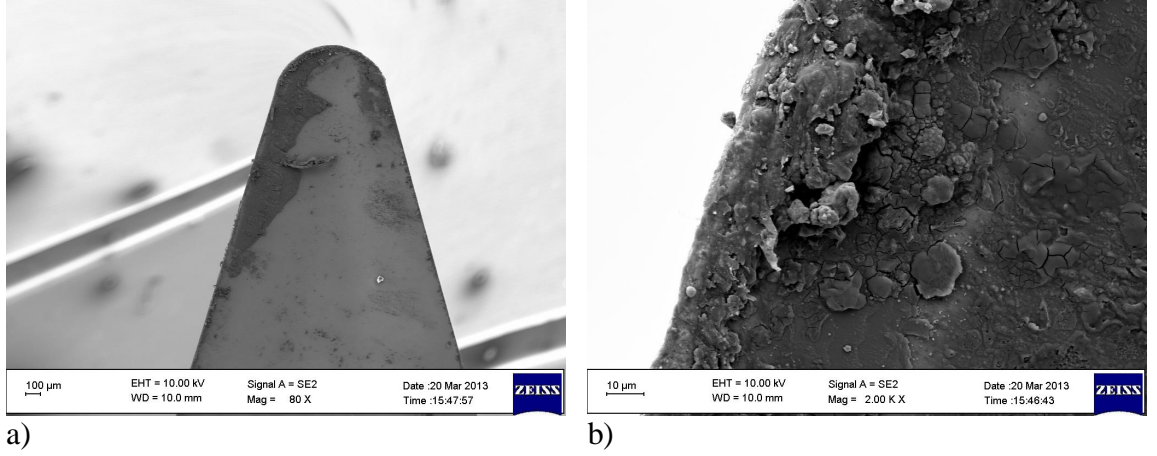
Resim 4.42. 13 numaralı kesici takım a) x105 büyütme b) x800 büyütme

Deneysel çalışma 14'te kullanılan DCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.43'te gösterilmiştir.



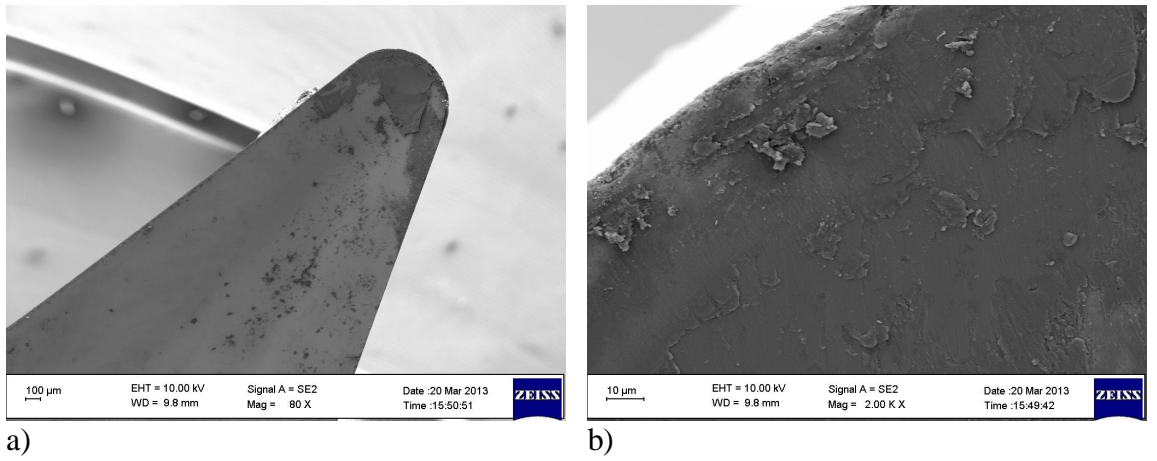
Resim 4.43. 14 numaralı kesici takım a) x105 büyütme b) x800 büyütme

Deneysel çalışma 15'te kullanılan VCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.44'te gösterilmiştir.



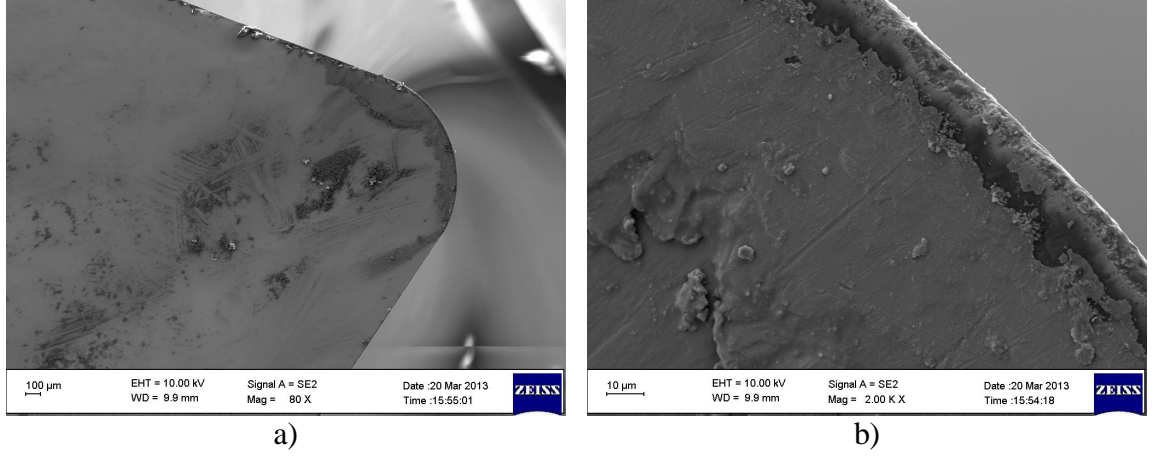
Resim 4.44. 15 numaralı kesici takım a) x105 büyütme b) x800 büyütme

Deneysel çalışma 16'da kullanılan VCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.45'te gösterilmiştir.



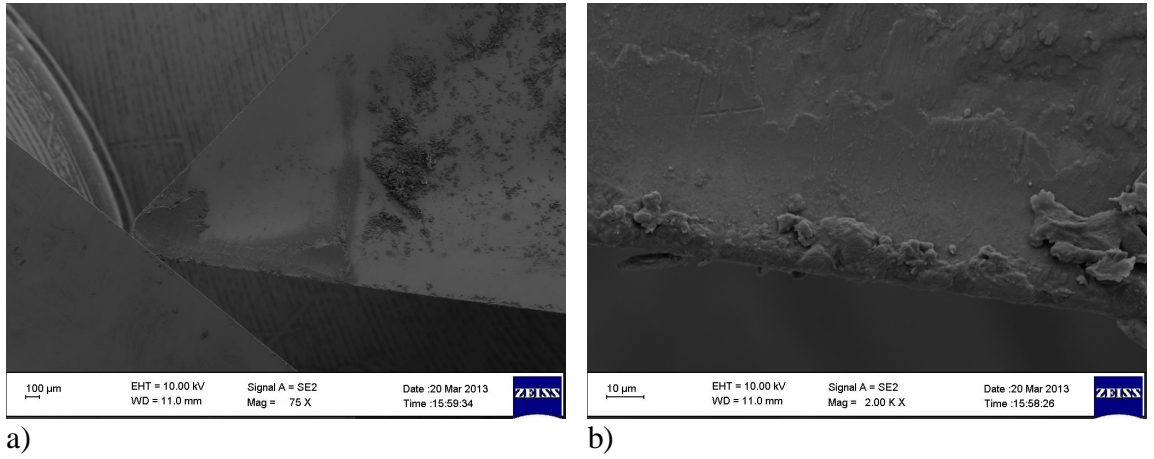
Resim 4.45. 16 numaralı kesici takım a) x105 büyütme b) x800 büyütme

Deneysel çalışma 17’de kullanılan CCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.46’da gösterilmiştir.



Resim 4.46. 17 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme

Deneysel çalışma 18’de kullanılan DCGT takımının x100 ve x800 büyütülmüş resimleri, Resim 4.47’de gösterilmiştir.



Resim 4.47. 18 numaralı kesici takım a) x105 büyültme b) x800 büyültme

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

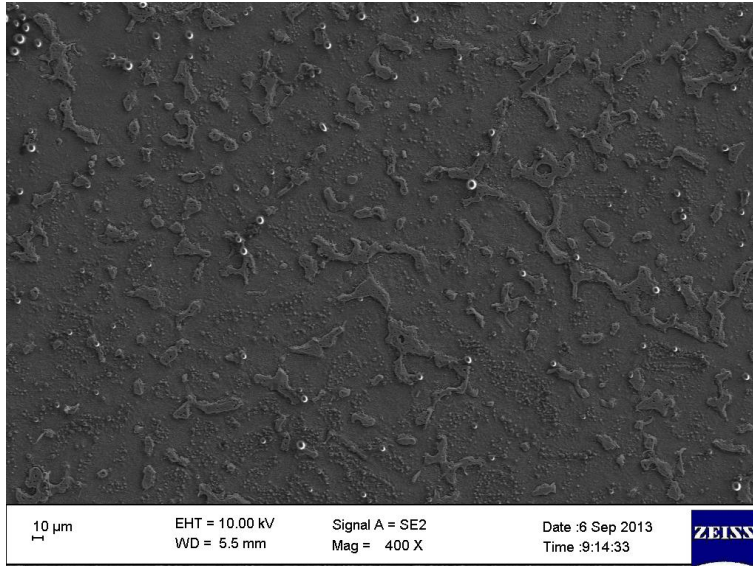
Bu bölüme kadar deneysel çalışmanın yapılması için gerekli hazırlıklar ve deneylerin yapılması anlatılmıştı. Bu bölümde ise sırasıyla bulunan sonuçlar açıklanmıştır. Deneyler çok tekrarlı yapılmış olup sonuçlar tek bir sonuç olarak verilmiştir.

5.1. AZ91D Alaşımının Mekanik Özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılmış olan AZ91D alaşımının mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan sonuçlar tespit edilmiştir.

5.1.1. Mikroyapı

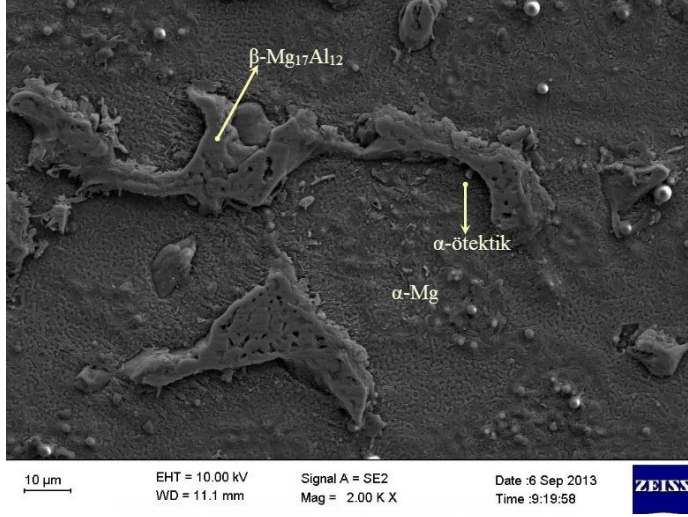
AZ91D alaşımının mikroyapısının incelenmesi için daha önce bahsedilen cihazlar yardımıyla fotoğrafları çekilmiştir. Resim 5.1’de AZ91D’nin 400x büyütmedeki SEM görüntüsü görülmektedir. Al, magnezyum içerisinde homojen dağılmış olarak görülmüştür.



Resim 5.1. 400x büyütmede AZ91D’nin mikroyapısı

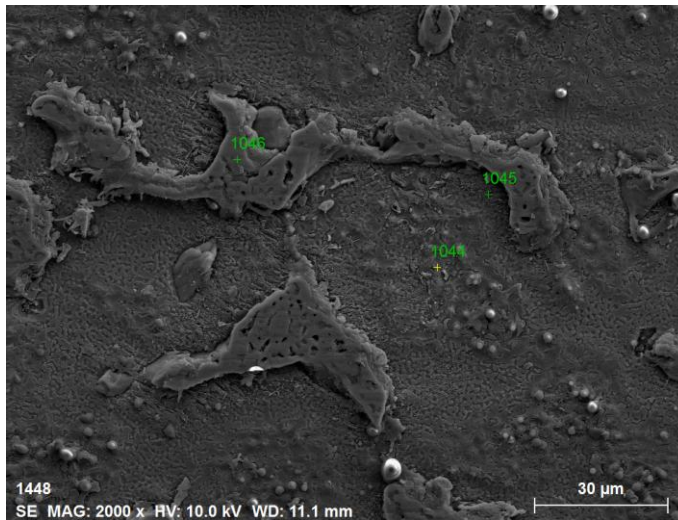
Aynı bölgeden 2000x büyütmede faz analizi de yapılmıştır. Faz analizi ise Resim 5.2’de gösterilmiştir. 2000x’de yapılan mikroyapı görüntü alma işleminde ötektik

dönüşüm esnasında dentritler arasında oluşmuş olan $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ intermetalik faz, alüminyumca zengin α -ötektik fazı ve magnezyumca zengin birincil $\alpha\text{-Mg}$ fazı Resim 5.2’de gösterilmektedir.



Resim 5.2. AZ91D malzemenin x2000 büyütmedeki mikroyapı görüntüsü

x2000 büyütmede yapılmış olan mikroyapı inceleme işleminde EDS analizi de yapılmıştır. EDS analizinin yapıldığı noktalar Resim 5.3’te 1044, 1045 ve 1046 numaraları ile gösterilmiştir. Bu noktalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1’de verilmiştir.



Resim 5.3. AZ91D malzemenin x2000 büyütmedeki EDS analiz bölgeleri

Resim 5.3'te gösterilen bölgelerde yapılan EDS analiz sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Analiz No 1044, 1045 ve 1046'dan alınan sonuçların kimyasal bileşimleri beklenen düzeyde olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.1. AZ91D EDS analiz sonuçları

Analiz No	Kimyasal Bileşimi (%)		
	Al	Mg	Zn
1044	7,17	92,83	-
1045	11,20	87,84	0,96
1046	25,02	72,59	2,39

5.1.2. Sertlik değeri

AZ91D malzemenin sertlik ölçümü yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra referans plaka ile doğrulama işlemi yapılmıştır. Resim 5.4' te bu doğrulama gösterilmiştir.



Resim 5.4. Sertlik ölçüm cihazının doğrulamasının gösterimi

Sertlik ölçümü malzeme üzerinde çapta, kesilen yüzeyde ve ters yüzeyde yapılmıştır. Ölçümler HB 2,5/62,5 skalasında yapılmış olup bu skala değeri TS EN ISO 6506–1 standardının Çizelge 2 ve 3 göz önünde bulundurulmuştur. Resim 5.5'te kesilen yüzeyde alınan ölçümler gösterilmektedir.



Resim 5.5. AZ91 kesilen yüzeyde sertlik ölçümü

Sertlik ölçüm değerleri sonucuna göre çaptaki değer 78,75 HB, kesilen yüzeyde 71,75 HB ve ters yüzeyde ise 76,25 HB olarak tespit edilmiştir.

5.1.3. Çekme dayanımı

Çekme deneyi yapılan AZ91D'nin deney sonrası görüntüleri Resim 5.6'da gösterilmiştir. Çizelge 5.2'de çekme deneyi için hazırlanan numunelerin ölçüleri verilmiş olup, deneyden elde edilen sonuçlar ise Çizelge 5.3'te verilmiştir. Çekme deneyinde 6 farklı numune kullanılmıştır ve sonuçta ortalama değerler verilmiştir.



Resim 5.6. Çekme deneyi sonrası görüntüler

Çizelge 5.2. Çekme deneyi numune ölçüleri

Çap (d) mm	Gövdenin İlk kesit alanı (S ₀) mm ²	İlk Ölçü Uzunluğu (L ₀) mm	Gövde Uzunluğu (L ₀) mm
10	78,5	50	60

Çizelge 5.3. Çekme deneyi sonuçları

En Yüksek Kuvvet (F_m),N	9812
Çekme Gerilimi (R_m)	126,63
Üst Akma Dayanımı (R_{cH})	95,87
Uzama Yüzdesi (A)	2,50
En Küçük Kesit Alanı (S_u), mm ²	77,80
Son Ölçü Uzunluğu (L_u), mm	51,25
Kesit Daralma Yüzdesi (Z), %	0,90

5.1.4. Darbe dayanımı

Darbe dayanım testi için hazırlanmış olan 8 adet AZ91D alaşımlarının test sonuçlarının resimleri Resim 5.7'de, ortalama sonuçları ise Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Darbe dayanım test sonuçları

	Boyutlar	Sonuçlar
Uzunluk, (mm)	55	55
Genişlik, (mm)	10	10
Çentik Açısı, (°)	45	45
Çentik Altı Yükseklik, (mm)	8	8
Çentik Tabanı Kavis Y.Çapı, (mm)	R 0,25	R 0,25
V-Çentik Darbe Mukavemeti J	2,45J	

TS EN ISO 148-1:2010 Nisan 2011 standardına göre yapılan deneylerin sonucu 2,45 J olarak tespit edilmiştir.



Resim 5.7. Çentik darbe testi sonucu

5.2. AZ91D Alaşımının İşlenebilirliği

AZ91D'nin CNC torna tezgahında kesme işleminin sonucunda ortaya çıkan işlenebilirlik değerleri bu bölümde verilmektedir.

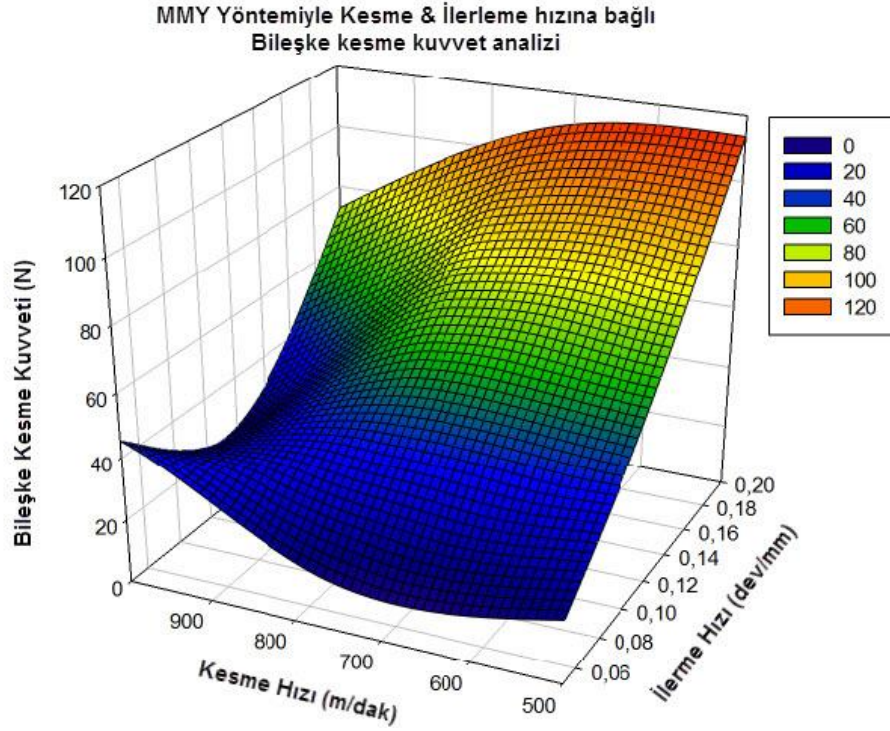
5.2.1. Kesme kuvveti değerleri

Alınan sonuçlara incelendiğinde AZ91D magnezyum alaşımı için gerekli duyulan kesme kuvvet değerleri, metal işlemede oluşan kuvvetlere göre çok daha düşük olduğu görülmüştür. Çizelge 5.5'te deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen kesme kuvveti değerlerinin ortalama sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kesme kuvveti sonuçları

	Soğutma	Kesme Hızı (m/dak)	Talaş Derinliği (mm)	İlerleme (dev/mm)	Takım Tipi	Devir (RPM)	F Bileşke (N)
1	MMY	500	0,5	0,05	CCGT	2653,93	19,95
2	MMY	500	1	0,1	DCGT	2653,93	45,98
3	MMY	500	1,5	0,2	VCGT	2653,93	113,66
4	MMY	750	0,5	0,05	DCGT	3980,89	14,70
5	MMY	750	1	0,1	VCGT	3980,89	48,54
6	MMY	750	1,5	0,2	CCGT	3980,89	107,01
7	MMY	1000	0,5	0,1	VCGT	5307,86	23,84
8	MMY	1000	1	0,2	CCGT	5307,86	72,72
9	MMY	1000	1,5	0,05	DCGT	5307,86	45,37
10	Kuru	500	0,5	0,2	DCGT	2653,93	45,61
11	Kuru	500	1	0,05	VCGT	2653,93	27,24
12	Kuru	500	1,5	0,2	CCGT	2653,93	120,61
13	Kuru	750	0,5	0,1	CCGT	3980,89	24,42
14	Kuru	750	1	0,2	DCGT	3980,89	80,95
15	Kuru	750	1,5	0,05	VCGT	3980,89	44,01
16	Kuru	1000	0,5	0,1	VCGT	5307,86	29,52
17	Kuru	1000	1	0,05	CCGT	5307,86	32,26
18	Kuru	1000	1,5	0,2	DCGT	5307,86	65,48

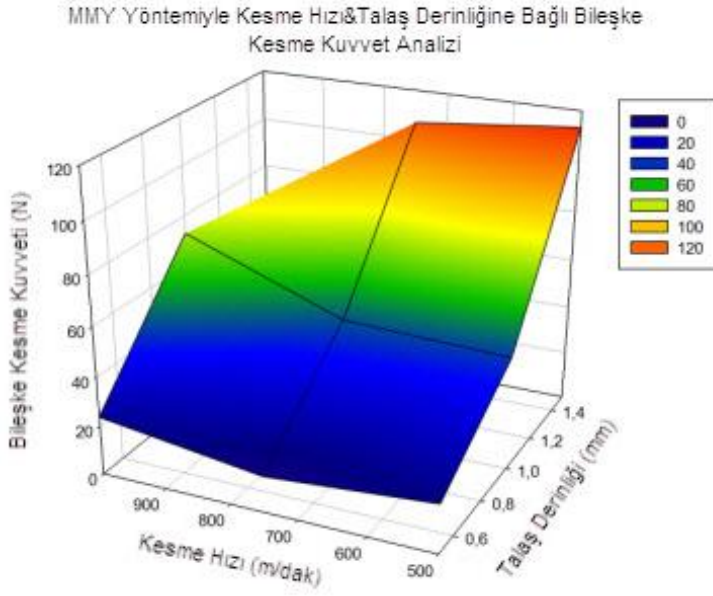
Deney sonuçlarında ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti değerleri MMY işleme şartlarında, kesme hızı (m/dak) ve ilerleme hızı (dev/mm) arasındaki ilişki Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. MMY yöntemiyle kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri

Şekil 5.1 incelendiğinde MMY işleme şartlarında kesme hızı ve ilerleme hızı arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet sonuçları görülebilmektedir. AZ91D'nin işlenebilirliği için ilerleme hız değerinin seçilen parametreler içerisinde artmasıyla kesme kuvveti değerinde artış eğilimi görülmüştür. Düşük kesme hızlarındaki artış değeri yüksek kesme hızlarına göre yüksektir. İlerleme hızına bağlı olarak, hız arttıkça bileşke kesme kuvveti değeri artmıştır. 500 ve 750 m/dak'lık kesme hızı, 0,2 dev/mm ilerleme hızında en yüksek kesme kuvvetleri görülmüştür. 750 m/dk kesme hızı ve 0,5 dev/mm ilerleme hız değerlerinde ise en düşük kesme kuvvet değeri görülmüştür. 1000 m/dk ile yapılan kesme hızı değerlerinde oluşan kesme kuvvet değerlerinin ortalamaları diğer kesme hızlarına göre düşüktür.

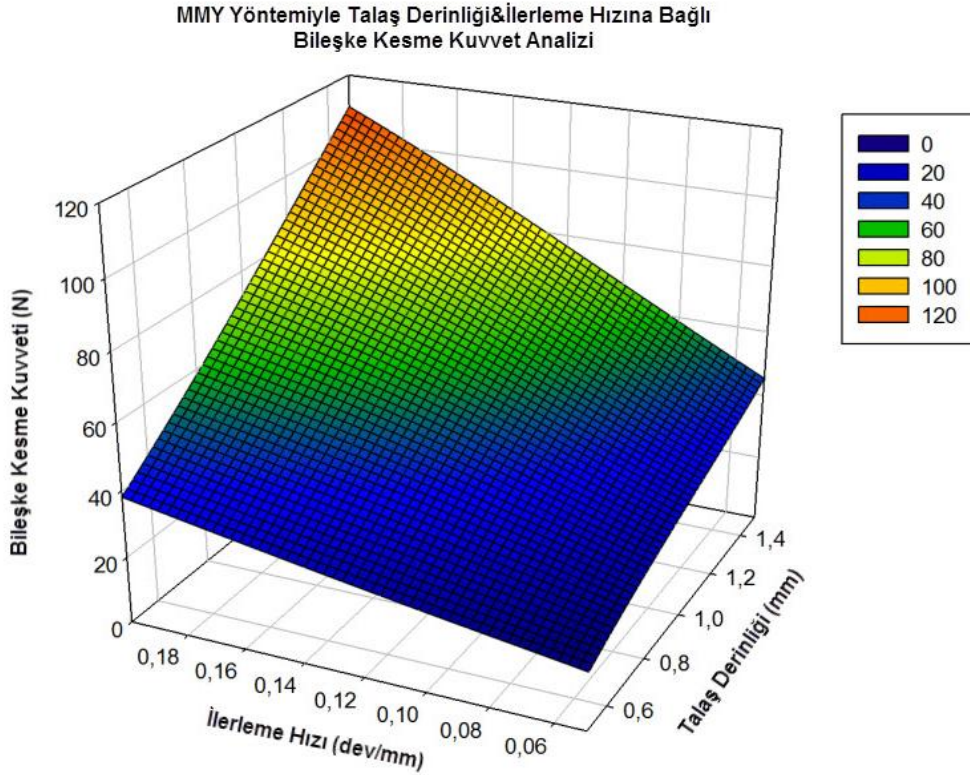
Deney sonuçlarında ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti değerleri, MMY işleme şartlarında, kesme hızı (m/dak) ve talaş derinliği (mm) arasındaki ilişki Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. MMY yöntemiyle kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri

Şekil 5.2 incelendiğinde MMY işleme şartlarında kesme hızı ve talaş derinliği arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet sonuçları görülebilmektedir. MMY işlemi ile AZ91D’nin işlenebilirliği için yapılan deneylerde talaş derinliğinin önemli olduğu fakat bunun kesme hızına da bağlı olduğu Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Deneylerde seçilen talaş derinliklerinin artmasıyla kesme kuvveti değeri artmıştır. En düşük kesme kuvvet değerleri 750 m/dk kesme hızında, 0,5 mm talaş derinliğindeyken en büyük kesme kuvveti kesme hızının 500 m/dk ve 1,5 mm talaş derinliğinde olduğu tespit edilmiştir. Talaş derinliğinin artması ve kesme hızı değerinin azalması sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet değerleri artış eğilimi göstermiştir. Talaş derinliğinin az olduğu tüm kesme hızı değerlerinde tepit edilen bileşke kesme kuvvet değerleri düşüktü. Bu sonuçların haritalandırılması, ara değerlerdeki kesme parametrelerin ne sonuçlar vereceğinin tahmininde kullanılabilir.

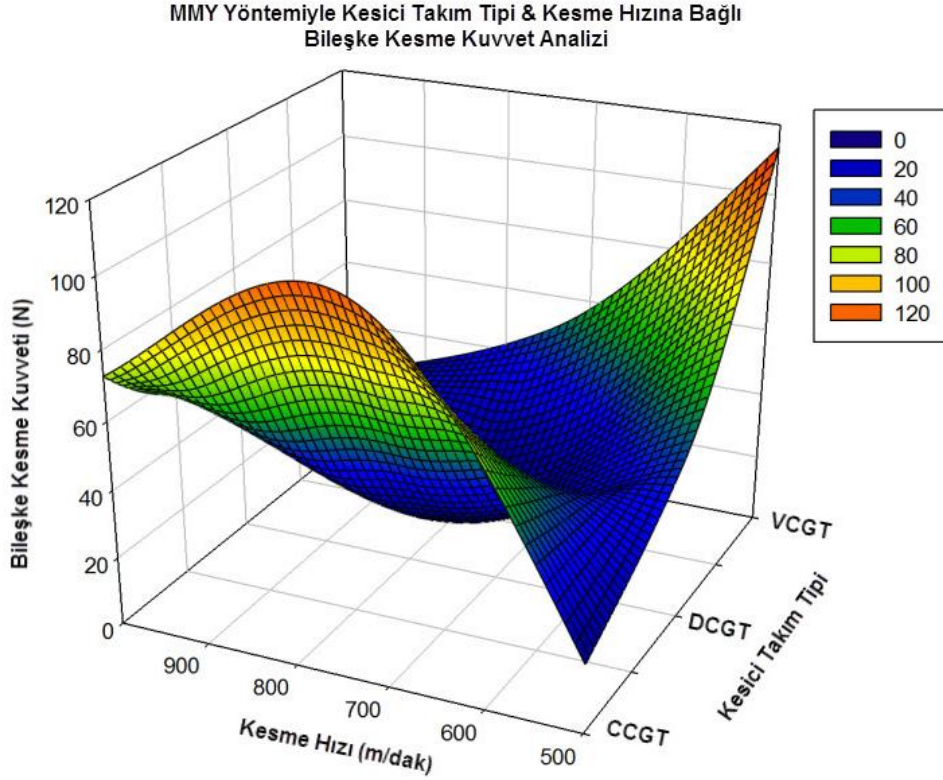
Deney sonuçlarında ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti değerleri, MMY işleme şartlarında, kesme hızı (m/dak) ve talaş derinliği (mm) arasındaki ilişki Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. MMY yöntemiyle altında talaş derinliği ve ilerleme hızına bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri

Şekil 5.3 incelendiğinde MMY işleme şartlarında kesme hızı ve talaş derinliği arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet sonuçları görülebilmektedir. MMY yöntemiyle yapılan deneylerde AZ91D'nin işlenebilirliği için talaş derinliğinin önemli olduğu değişken ilerleme hızlarının kullanılmasıyla da ortaya çıkmıştır. Deneylerde seçilen talaş derinliklerinin artmasıyla kesme kuvveti değeri artmıştır. Talaş derinliğinin 1,5 mm ve ilerleme hızının 0,2 dev/mm olduğu tüm kesme hızlarında büyük kesme kuvvetleri bulunmuştur. 0,5 mm talaş derinliği ve 0,05 dev/mm ilerleme hızlarında ise tüm kesme değerlerinde düşük kesme kuvvetleri bulunmuştur. Bu aralıklarda kullanılan değerlerin oluşturduğu kesme kuvveti değerleri Şekil 5.3'te gösterilmektedir.

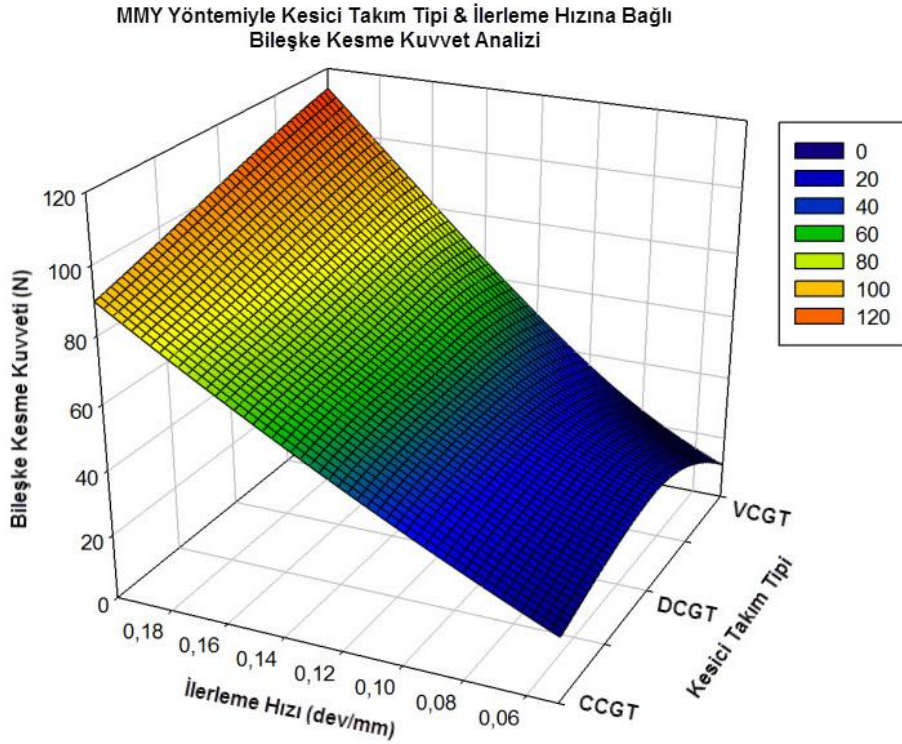
Deney sonuçlarında ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti değerleri, MMY işleme şartlarında, kesme hızı (m/dak) ve talaş derinliği (mm) arasındaki ilişki Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. MMY yöntemiyle kesici takım tipi ve kesme hızına bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri

Şekil 5.3 incelendiğinde MMY işleme şartlarında kesme hızı ve kesici takım tipi arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet sonuçları görülebilmektedir. MMY yöntemiyle yapılan deneylerde, AZ91D'nin işlenebilirliği için kullanılan CCGT, DCGT ve VCGT tipi kesici takımlarla, farklı kesme hızlarıyla yapılan deneylerde elde edilen bileşke kesme kuvvetleri incelendiğinde VCGT ve CCGT takımlarda benzer sonuçlar görülmüştür. DCGT tipi kesici takımlar ile farklı kesme hızlarında yapılan deneylerde elde edilen ortalama bileşke kesme kuvvet değerleri daha düşüktür. VCGT takım tipinde 500, CCGT takım tiplerinde 750 m/dk kesme hızında en yüksek kesme kuvveti değerleri bulunmuştur. CCGT'de 500, DCGT'de 750 ve VCGT'de 1000 m/dk kesme hızlarında en düşük değerler bulunmuştur.

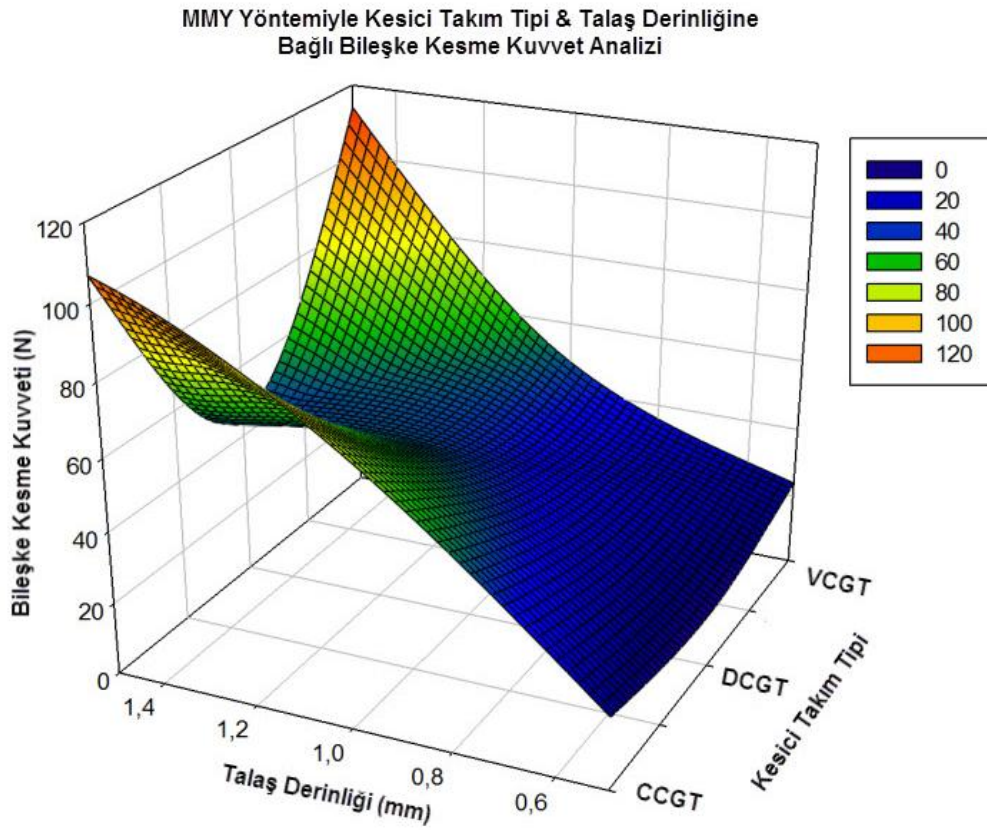
Deney sonuçlarında ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti değerleri, MMY işleme şartlarında, kesme hızı (m/dak) ve talaş derinliği (mm) arasındaki ilişki Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. MMY yöntemiyle kesici takım tipi ve ilerleme hızına bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri

Şekil 5.5 incelendiğinde MMY işleme şartlarında ilerleme hızı ve kesici takım tipi arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet sonuçları görülebilmektedir. MMY yöntemiyle yapılan, AZ91D'nin işlenebilirliği deneylerinde kullanılan CCGT, DCGT ve VCGT kesici takımlar düşük ilerleme hızlarında düşük bileşke kesme kuvvetleri meydana getirmiştir. Fakat yine bu kesici takımlar ile yapılan kesme deneylerinde ilerleme hızının artmasıyla yüksek bileşke kesme kuvvet değerleri de görülmüştür. Yani oluşan bileşke kuvvetler göz önüne alındığında MMY soğutma şartlarında kullanılan kesici takım tiplerinin ilerleme hızı ile değerlendirmede kesici takım tipi etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. Değerlendirmeye alınması durumunda diğer kesme parametreleri göz önünden bulundurulmalıdır.

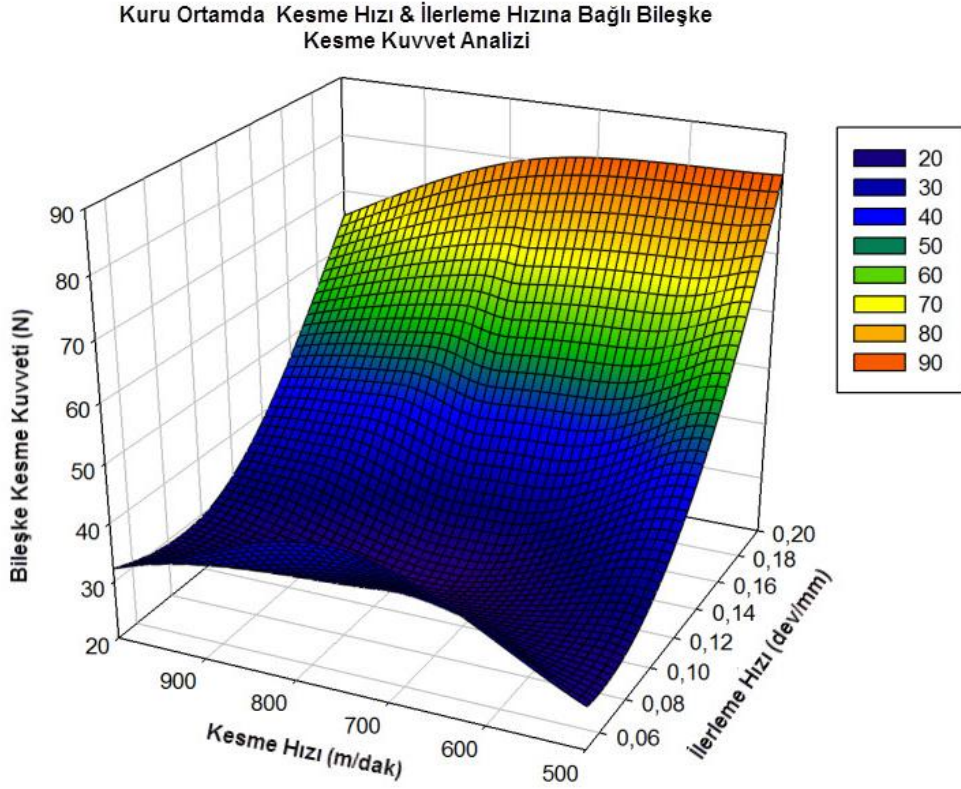
Deney sonuçlarında ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti değerleri, MMY işleme şartlarında, kesme hızı (m/dak) ve talaş derinliği (mm) arasındaki ilişki Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. MMY yöntemiyle kesici takım tipi ve talaş derinliği bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri

Şekil 5.6 incelendiğinde MMY işleme şartlarında talaş derinliği ve kesici takım tipi arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet sonuçları görülebilmektedir. CCGT, DCGT ve VCGT'nin kesme kuvvetlerine etkileri talaş derinliği ile karşılaştırıldığında 1,5 mm talaş derinliğine ortaya çıkan kesme kuvveti değerleri VCGT ve CCGT kesici takımlarda daha yüksektir. Tüm kesici takımlarda 0,5 mm talaş derinliğinde yapılan çalışmalarda ise kesme kuvveti değerleri oldukça düşüktür. DCGT kesici takımlarla yapılan kesme işlemlerinde bulunan kesme kuvveti değerleri diğer 2 kesici takıma göre daha düşüktür. En düşük kesme kuvveti değeri DCGT kesici takımda 750 m/dk kesme hızında, 0,5 mm talaş derinliğinde bulunmuştur.

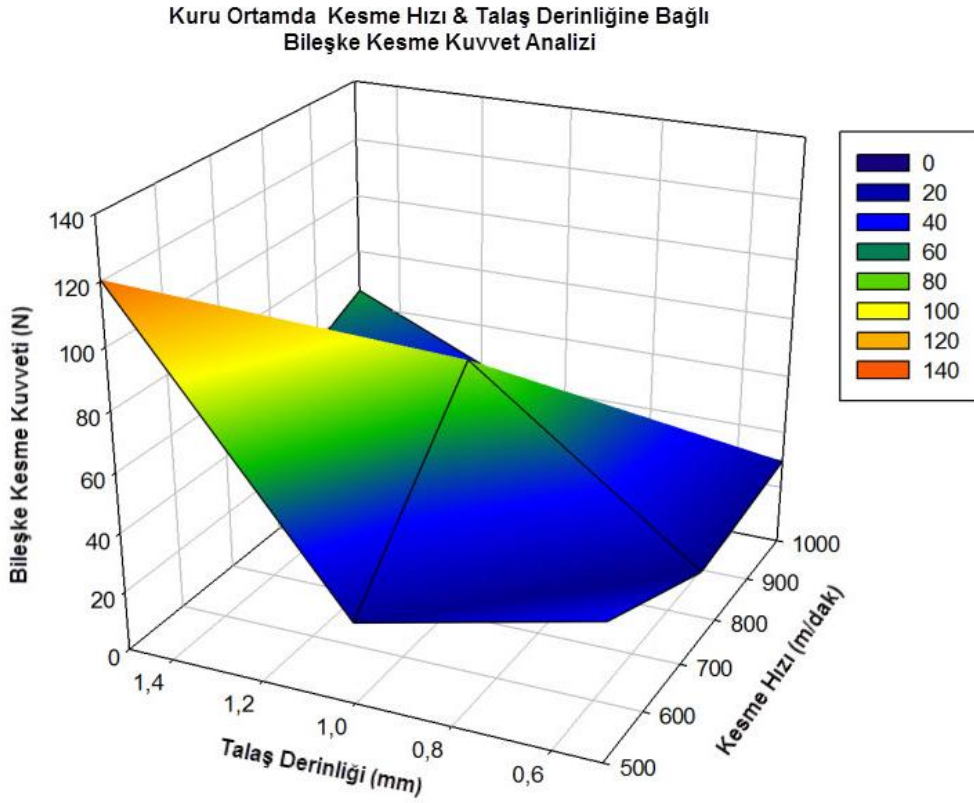
Deney sonuçlarında ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti değerleri, kuru işleme şartlarında, kesme (m/dak) ve ilerleme hızı (dev/mm) arasındaki ilişki Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Kuru ortamda kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri

Şekil 5.7 incelendiğinde kuru işleme şartlarında kesme hızı ve ilerleme hızı arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet sonuçları görülebilmektedir. AZ91D'nin işlenebilirliği için tüm kesme hızlarında ilerleme hız değerinin artmasıyla kesme kuvveti değerinde artış eğilimi görülmüştür. 0,05 dev/mm ilerleme hızlarında yapılan deneylerde düşük kesme kuvvet değerleri bulunmuştur. Kesme hızının düşmesiyle, ilerleme hızının artmasıyla ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet değeri en yüksek değerdir. 500 m/dk kesme hızında 0,2 dev/mm ilerleme hızında en yüksek kesme kuvveti değeri bulunmuştur. Düşük kesme kuvveti 750 m/dk da 0,05 dev/mm değerlerinde bulunmuştur. Bu sonuçların grafiklendirilmesi, ara değerlerdeki kesme parametrelerin ne sonuçlar vereceğinin tahmininde kullanılabilir.

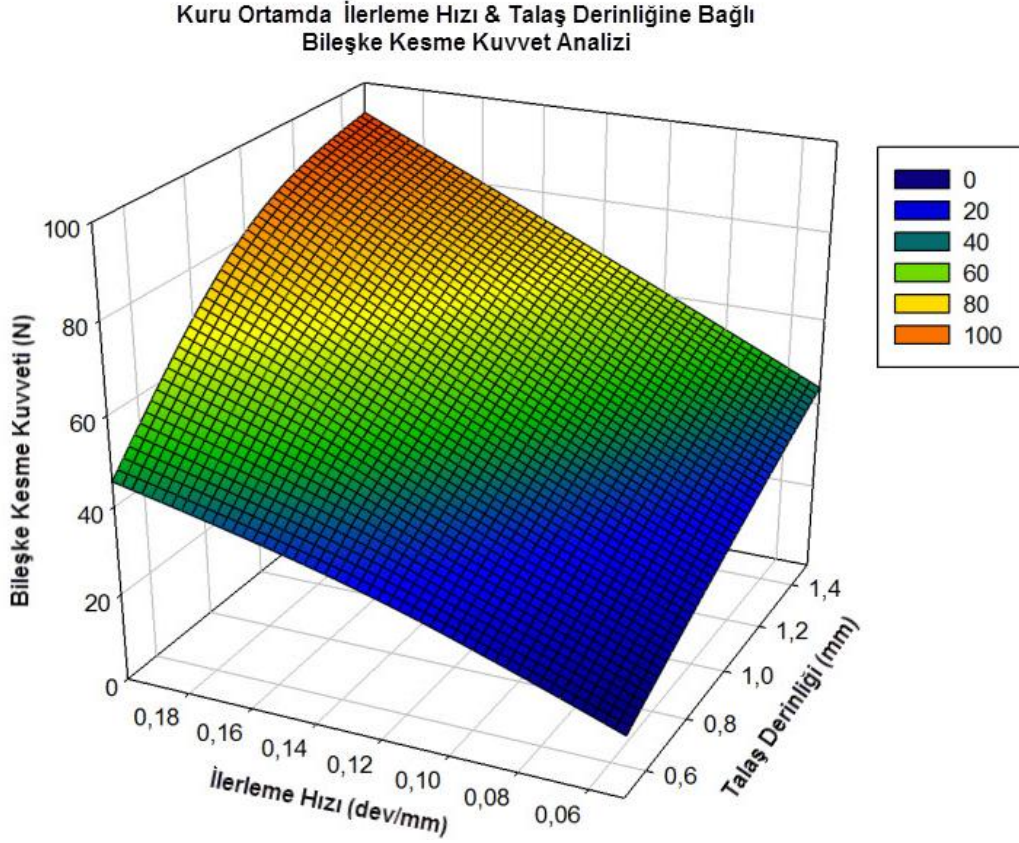
Deney sonuçlarında ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti değerleri kuru işleme şartlarında, kesme hızı (m/dak) ve talaş derinliği (mm) arasındaki ilişki Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Kuru ortamda kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri

Şekil 5.8 incelendiğinde kuru işleme şartlarında kesme hızı ve talaş derinliği arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet sonuçları görülebilmektedir. AZ91D'nin işlenebilirliği için talaş derinliğinin önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Deneylede seçilen talaş derinliklerinin artmasıyla ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti değerleri artmıştır. En düşük kesme kuvvet değerleri 750 m/dk kesme hızında, 0,5 mm talaş derinliğindeyken en büyük kesme kuvveti kesme hızının 500 m/dk ve 1,5 mm talaş derinliğinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçların grafiklendirilmesi, ara değerlerdeki kesme parametrelerin ne sonuçlar vereceğinin tahmininde kullanılabilir.

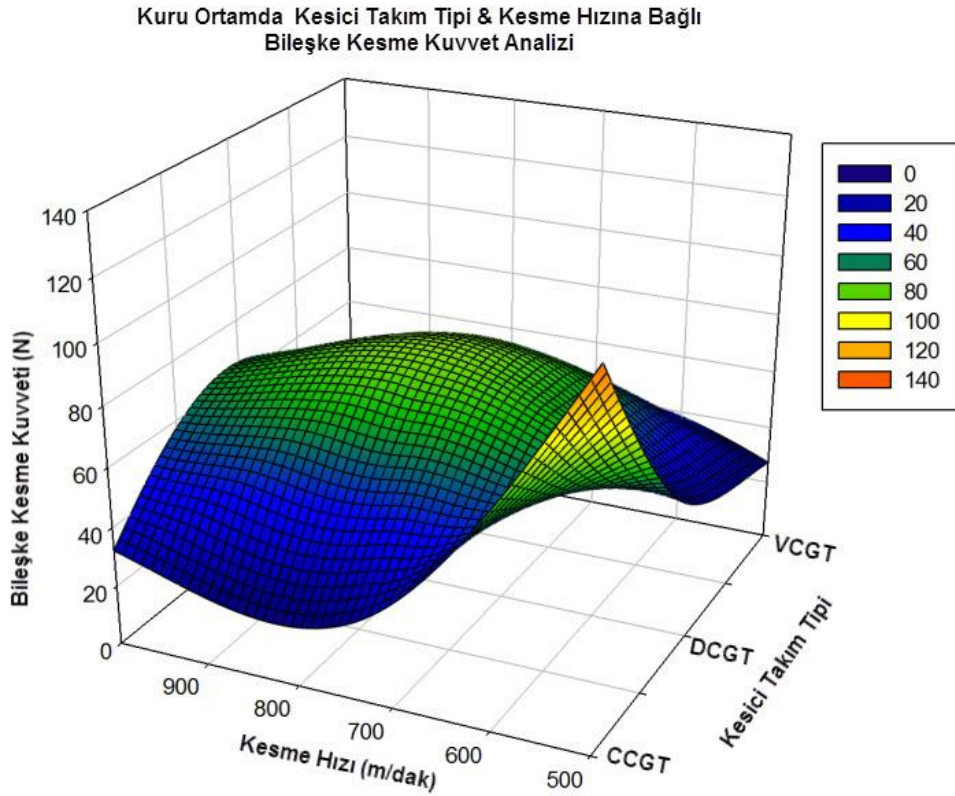
Deney sonuçlarında ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti değerleri kuru işleme şartlarında, kesme hızı (m/dak) ve talaş derinliği (mm) arasındaki ilişki Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Kuru ortamda talaş derinliği ve ilerleme hızı bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri

Şekil 5.9 incelendiğinde kuru işleme şartlarında ilerleme hızı ve talaş derinliği arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet sonuçları görülebilmektedir. Deneylerde seçilen talaş derinliklerinin artmasına ek olarak ilerleme hızı değeri de arttırıldığında kesme kuvveti değeri en yüksek değere çıkmıştır. Talaş derinliğinin 1,5 mm ve ilerleme hızınının 0,2 dev/mm olduğu değerlerde ortaya en büyük bileşke kesme kuvvet değeri çıkmıştır. En düşük kesme kuvveti değerleri ise 0,5 mm talaş derinliği ve 0,05 dev/mm ilerleme hızlarında oluşmuştur. Fakat 0,5 mm talaş derinliğinde ilerlemenin artmasıyla da kesme kuvveti değerinde de artış gözlemlenmiştir.

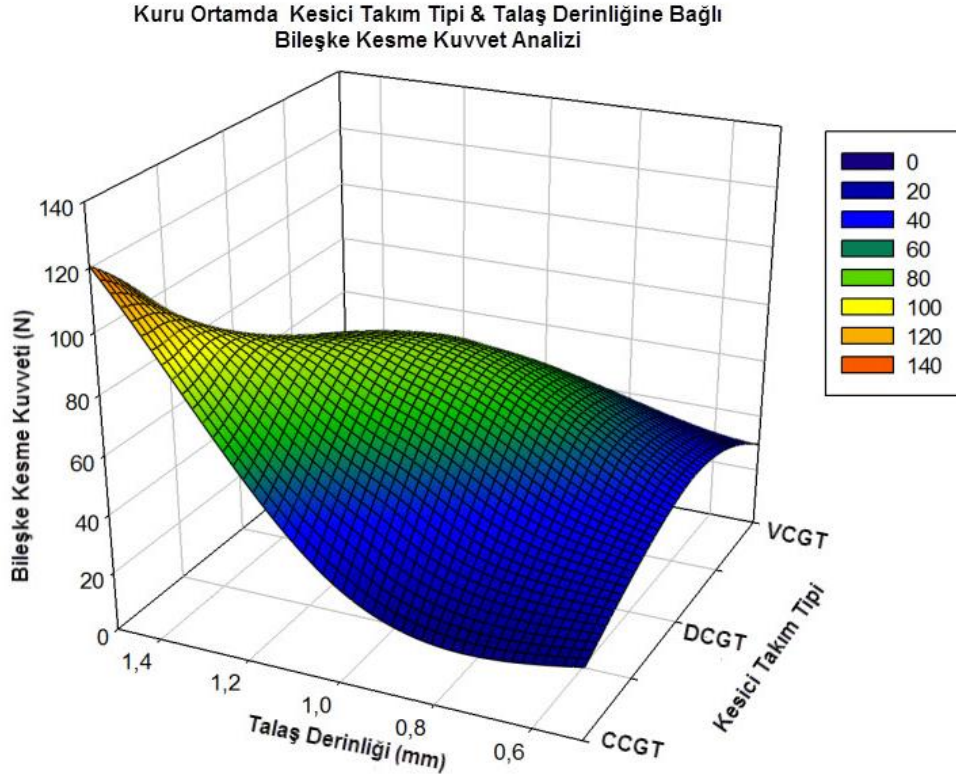
Deney sonuçlarında ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti değerleri kuru işleme şartlarında, kesici takım tipi ve kesme hızı (m/dak) arasındaki ilişki Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Kuru ortamda talaş derinliği ve ilerleme hızı bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri

Şekil 5.10 incelendiğinde kuru işleme şartlarında kesme hızı ve kesici takım tipi arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet sonuçları görülebilmektedir. Kuru işleme deneylerinde AZ91D'nin işlenebilirliği için kullanılan 3 farklı takım tipi olan CCGT, DCGT ve VCGT'nin kesme kuvvetlerine etkileri kesme hızı (m/dak) ile karşılaştırıldığında CCGT ve DCGT kesici takımlar ile 500 ve 750 m/dak'lık kesme hızların büyük kesme kuvveti değerleri tespit edilmiştir. VCGT kesici takımlar ile her üç kesme hızı değerlerinde de diğer kesici takımlara göre daha düşük bileşke kesme kuvvetleri tespit edilmiştir. CCGT kesici takımlarla yapılan kesme işleminde 750 m/dak kesme hızında da VCGT kesici takımla elde edilen bileşke kesme kuvvetine yakın değerler tespit edilmiştir.

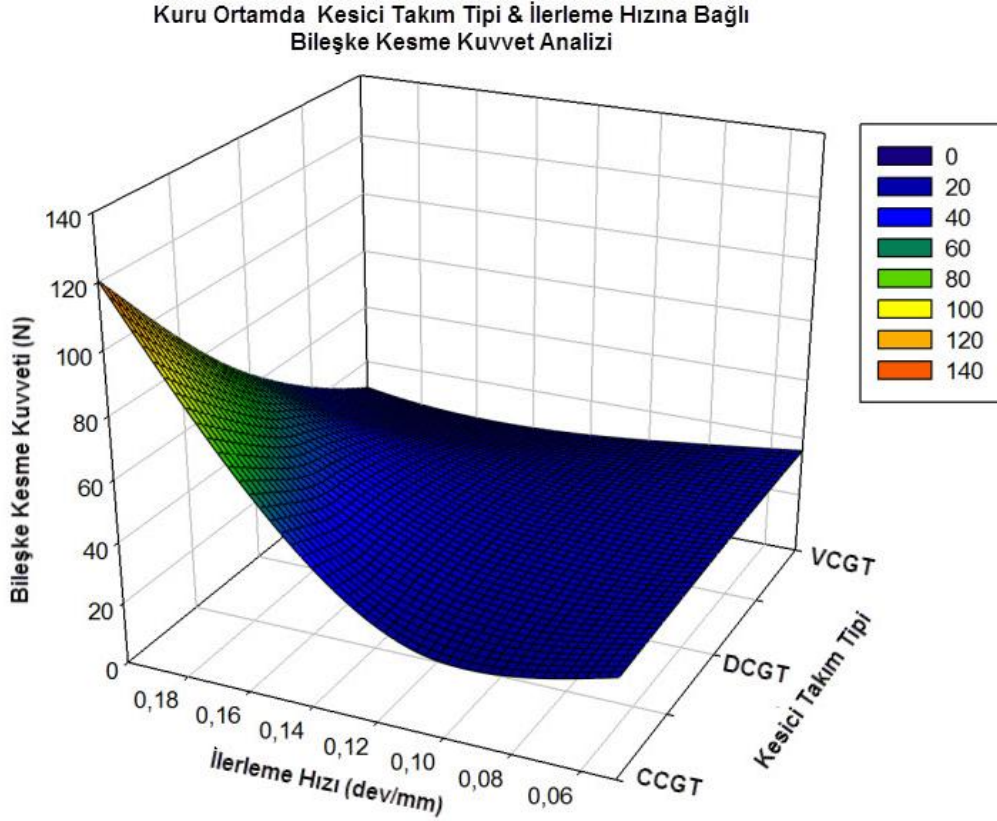
Deney sonuçlarında ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti değerleri kuru işleme şartlarında, kesici takım tipi ve talaş derinliği (mm) arasındaki ilişki Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Kuru ortamda kesici takım tipi ve talaş derinliğine (mm) bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri

Şekil 5.11 incelendiğinde kuru işleme şartlarında kesme hızı ve kesici takım tipi arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet sonuçları görülebilmektedir. AZ91D alaşımının, kuru işleme şartları altında yapılan deneylerinde ortaya çıkan bileşke kuvvetlerin, CCGT, DCGT ve VCGT kesici takım tipleriyle 0,5 – 1 ve 1,5 mm talaş derinliklerindeki sonuçları bulunmuştur. Şekil 5.11 incelendiğinde bileşke kuvvet değerlerinin, CCGT kesici takımlarla 1,5 mm talaş derinliklerinde yapılan deneylerin diğer takım tipleriyle yapılan deneylere göre daha büyük bileşke kesme kuvvetleri oluşturduğu görülebilmektedir. CCGT ve DCGT kesici takım tipleri ile yapılan deneylerde ortalama olarak büyük bileşke kesme kuvvet değerleri bulunurken VCGT kesici takım tipleri ile yapılanlarda daha düşük bileşke kesme kuvveti değerleri tespit edilmiştir.

Deney sonuçlarında ortaya çıkan bileşke kesme kuvveti değerleri kuru işleme şartlarında, kesici takım tipi ve ilerleme hızı (dev/mm) arasındaki ilişki Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Kuru ortamda kesici takım tipi ve ilerleme hızına (dev/mm) bağlı oluşan bileşke kesme kuvveti değeri

Şekil 5.12 incelendiğinde kuru işleme şartlarında kesme hızı ve kesici takım tipi arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan bileşke kesme kuvvet sonuçları görülebilmektedir. AZ91D alaşımının, kuru işleme şartları altında yapılan deneylerinde ortaya çıkan bileşke kuvvetlerin, CCGT, DCGT ve VCGT kesici takım tipleriyle farklı ilerleme hızlarında sonuçlar bulunmuştur. Şekil 5.12 incelendiğinde bileşke kuvvet değerlerinin, 0,2 dev/mm ilerleme hızlarında CCGT kesici takımla yüksek çıktığı görülebilmektedir. 0,1 dev/mm ilerleme hız değerinde ise VCGT ve CCGT kesici takımlarda düşük bileşke kesme kuvvetlerinin oluştuğu tespit edilmiştir. En düşük bileşke kesme kuvvet değeri CCGT takımla 0,1 dev/mm kesme hızında bulunmuştur.

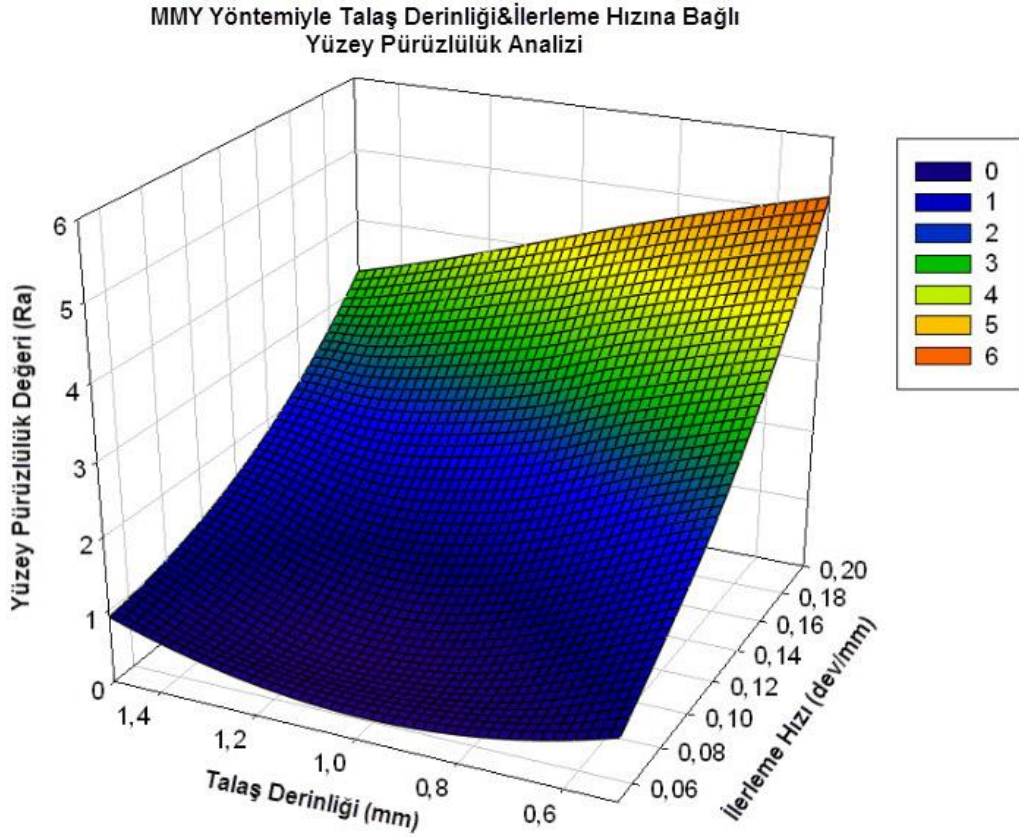
5.2.2. Yüzey pürüzlülük değerleri

AZ91D alaşımı ile yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen yüzeyler 5 farklı noktadan 5 tekrarlı olarak ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçlarının ortalamaları alınarak Ra değerleri bulunmuştur. Deneysel çalışma için belirlenen deney tasarımı doğrultusunda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, çok farklı Ra değerleri bulunmuştur. Bulunan sonuçlar Çizelge 5.6'da verilmiştir. Deneysel çalışmada belirlenmiş olan değişkenler olan soğutma tipleri, kesme hız değerleri, talaş derinlik değerleri, ilerleme hız değerleri ve kesici takım tipleri bu çizelgede verilmiştir.

Çizelge 5.6. Yüzey pürüzlülük sonuçları

	Soğutma	Kesme Hızı (m/dak)	Talaş Derinliği (mm)	İlerleme (dev/mm)	Takım Tipi	Devir (RPM)	Ra
1	MMY	500	0,5	0,05	CCGT	2653,93	0,72
2	MMY	500	1	0,1	DCGT	2653,93	0,79
3	MMY	500	1,5	0,2	VCGT	2653,93	2,244
4	MMY	750	0,5	0,05	DCGT	3980,89	0,994
5	MMY	750	1	0,1	VCGT	3980,89	0,572
6	MMY	750	1,5	0,2	CCGT	3980,89	4,246
7	MMY	1000	0,5	0,1	VCGT	5307,86	1,9
8	MMY	1000	1	0,2	CCGT	5307,86	4,26
9	MMY	1000	1,5	0,05	DCGT	5307,86	0,91
10	Kuru	500	0,5	0,2	DCGT	2653,93	2,188
11	Kuru	500	1	0,05	VCGT	2653,93	0,772
12	Kuru	500	1,5	0,2	CCGT	2653,93	4,28
13	Kuru	750	0,5	0,1	CCGT	3980,89	1,232
14	Kuru	750	1	0,2	DCGT	3980,89	9,01
15	Kuru	750	1,5	0,05	VCGT	3980,89	0,514
16	Kuru	1000	0,5	0,1	VCGT	5307,86	0,67
17	Kuru	1000	1	0,05	CCGT	5307,86	0,75
18	Kuru	1000	1,5	0,1	DCGT	5307,86	1,876

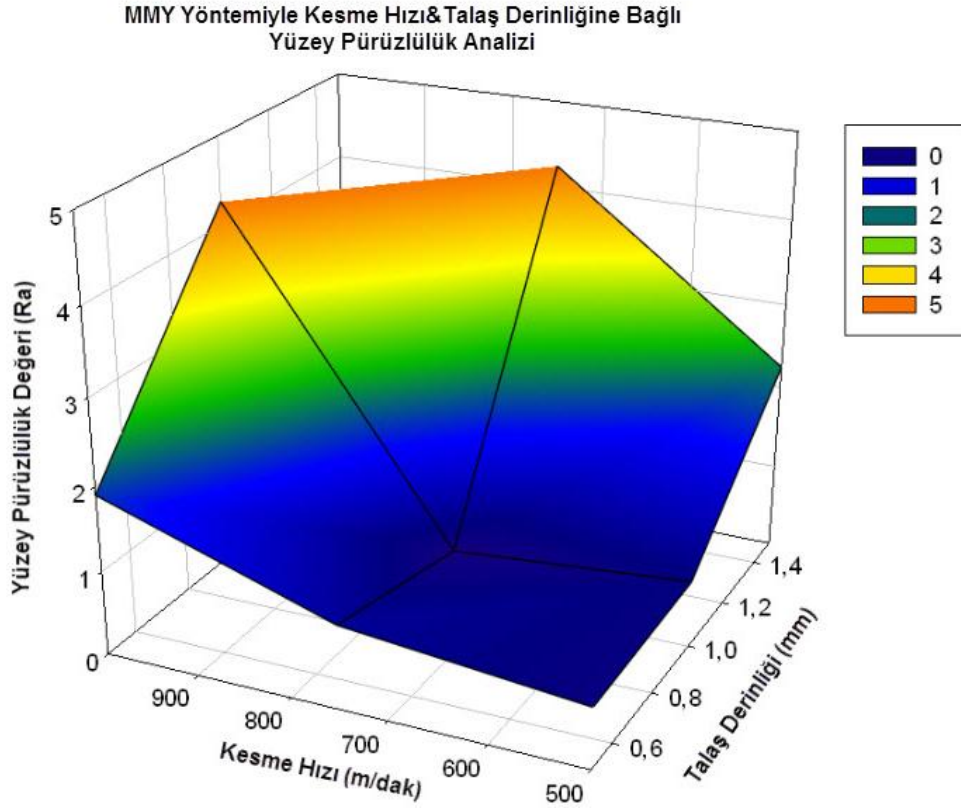
Deney sonuçlarında ortaya çıkan yüzey pürüzlülük değerleri, MMY işleme şartlarında, talaş derinliği (mm) ve ilerleme hızı (dev/mm) arasındaki ilişki Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13. MMY işleme şartlarında talaş derinliği ve ilerleme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri

Şekil 5.13 incelendiğinde MMY işleme şartlarında talaş derinliği ve ilerleme hızı arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülük (R_a) sonuçları görülebilmektedir. 1 mm talaş derinliğinde ve 0,05 dev/mm ilerleme hızında elde edilen yüzey pürüzlülük değeri en düşük olmandır. 0,05 dev/mm ilerlemede talaş derinliği arttıkça ve azaldıkça elde edilen değerde az da olsa bir artış gözlemlenmiştir. En büyük yüzey pürüzlülük değeri ilerlemenin artması ile oluşmuştur. Bu özellikle düşük talaş derinliklerinde daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Bu artış 1,5 mm talaş derinliğinde tespit edilmiştir fakat 0,5 mm talaş derinliğinde ki kadar belirgin ve ani bir artış görülmemiştir.

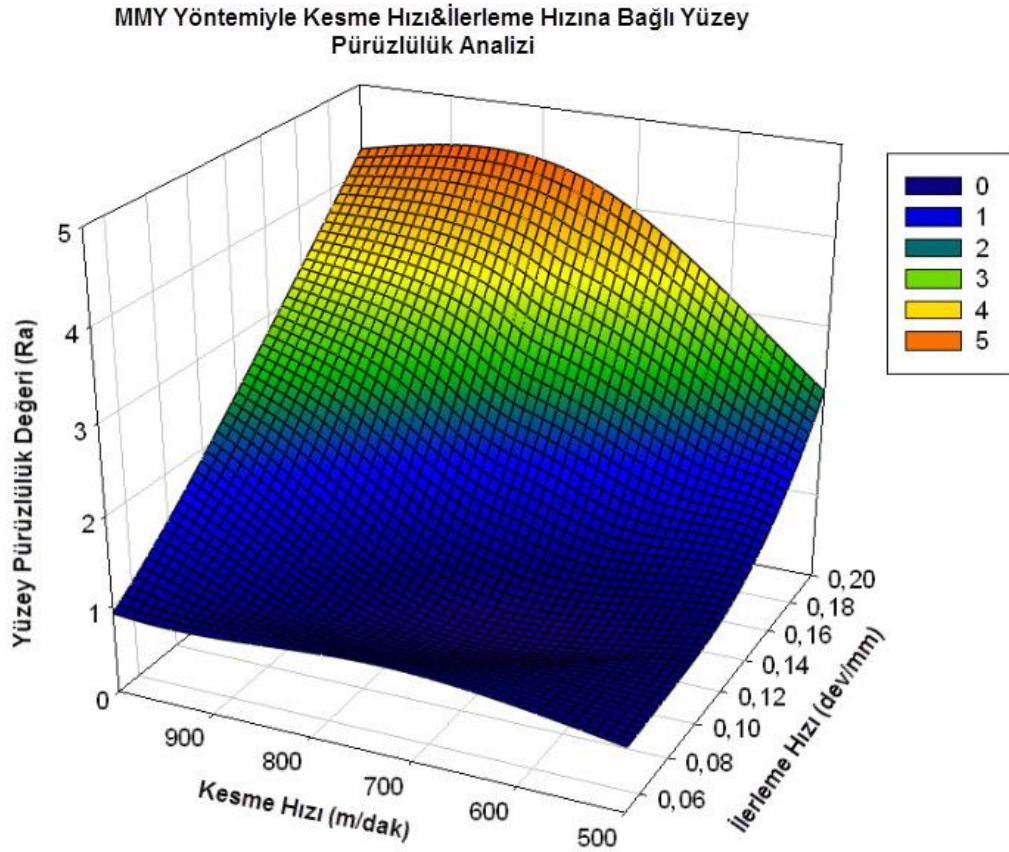
Deney sonuçlarında ortaya çıkan yüzey pürüzlülük değerleri, MMY işleme şartlarında, kesme hızı (m/dak) ve talaş derinliği arasındaki ilişki Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14. MMY işleme şartlarında kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri

Şekil 5.14 incelendiğinde MMY işleme şartlarında talaş derinliği ve ilerleme hızı arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülük (R_a) sonuçları görülebilmektedir. AZ91D alaşımının, MMY şartları altında yapılan deneylerinde yüzey pürüzlülük değerlerinin, 500, 750 ve 1000 m/dk kesme hızlarında 0,5 – 1 ve 1,5 mm talaş derinliklerindeki sonuçları bulunmuştur. Şekil 5.14 incelendiğinde yüzey pürüzlülük değerlerinin, kesme hızı ve talaş derinliğinin artmasıyla arttığı görülmüştür. 750 m/dk kesme hızı 1,5 mm talaş derinliğinde ve 1000 m/dk kesme hızı 1 mm talaş derinliğinde en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri görülmüştür. 500 m/dk da 0,5 ve 1 mm talaş derinlikleri ile 750 m/dk 0,5 mm talaş derinliklerinde ise en düşük yüzey pürüzlülük değerleri bulunmuştur. Ara değerlerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ise Şekil 5.14'te incelenebilmektedir.

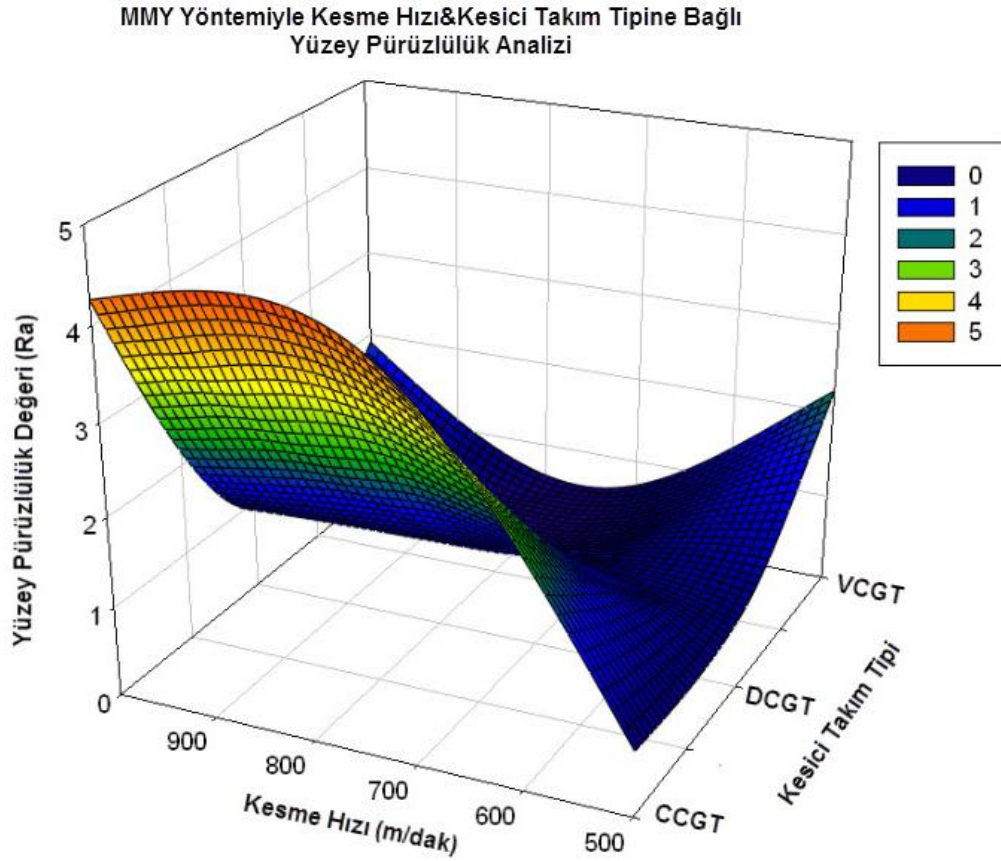
Deney sonuçlarında ortaya çıkan yüzey pürüzlülük değerleri MMY işleme şartlarında, kesme hızı (m/dk) ve ilerleme hızı (dev/mm) arasındaki ilişki Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.15. MMY işleme şartlarında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri

Şekil 5.15 incelendiğinde MMY işleme şartlarında talaş derinliği ve ilerleme hızı arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülük (R_a) sonuçları görülebilmektedir. Düşük ilerleme hızlarında, kesme hızının artması yüzey pürüzlüğün değerini çok etkilememektedir. Fakat yüzey pürüzlülük değerlerinin, ilerleme hızının artmasıyla arttığı görülmüştür. 750 ve 1000 m/dk kesme hızlarında 0,20 dev/mm ilerleme hızı değerinde en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri görülmüştür. 750 m/dk kesme hızı ve 0,1 dev/mm ilerleme hızı değerinde ise düşük yüzey pürüzlülük değerleri bulunmuştur. Ara değerlerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ise Şekil 5.15'te incelenebilmektedir.

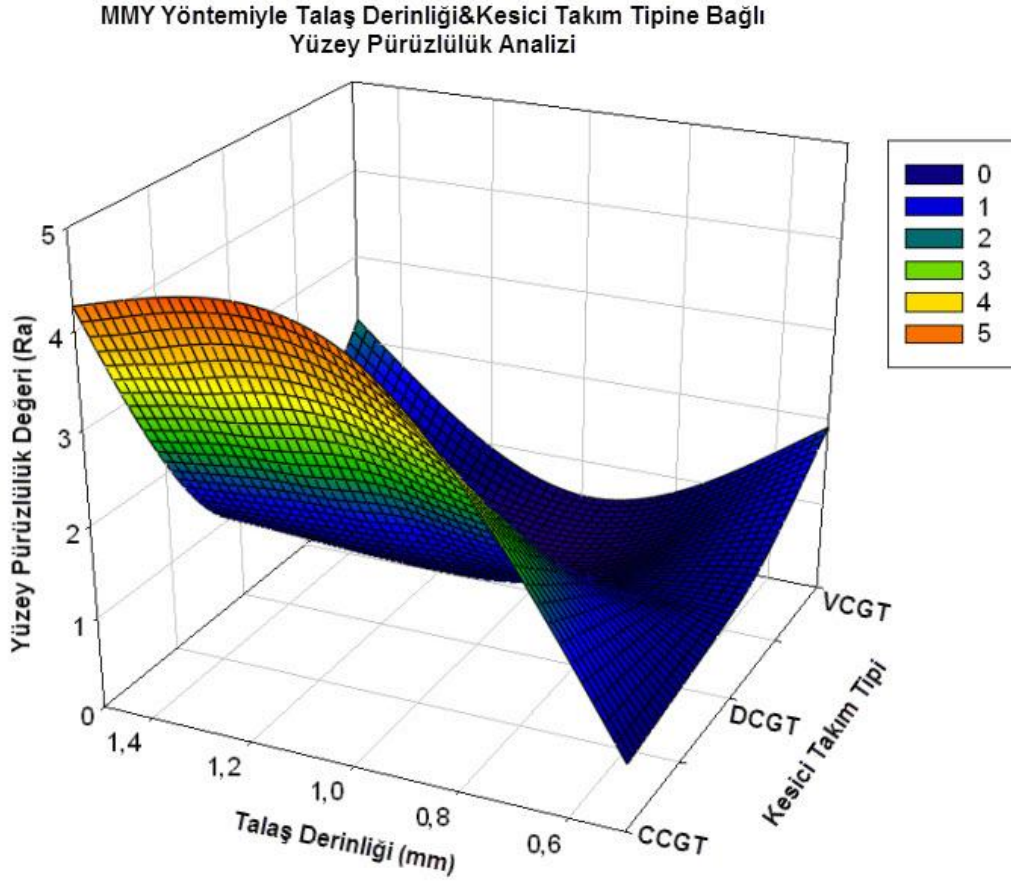
Deney sonuçlarında ortaya çıkan yüzey pürüzlülük değerleri MMY işleme şartlarında, kesme hızı (m/dk) ve kesici takım tipi arasındaki ilişki Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



Şekil 5.16. MMY işleme şartlarında kesme hızı ve kesici takım tipine bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri

Şekil 5.16 incelendiğinde MMY işleme şartlarında kesme hızı ve kesici takım tipi arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülük (R_a) sonuçları görülebilmektedir. Düşük kesme hızlarında CCGT ve DCGT kesici takımlardan elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri düşük olup, VCGT kesici takımlar ile yapılan deneylerde diğer 2 tipe göre daha yüksektir. CCGT kesici takımlarda kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görülmüştür ve en yüksek pürüzlülük değeri bu kesici takımla yüksek kesme hızlarında görülmüştür. VCGT serisi kesici takımlarda ise elde edilen pürüzlülük değerleri kesme hızının artmasıyla önce düşüş daha sonra yeniden artış göstermiştir.

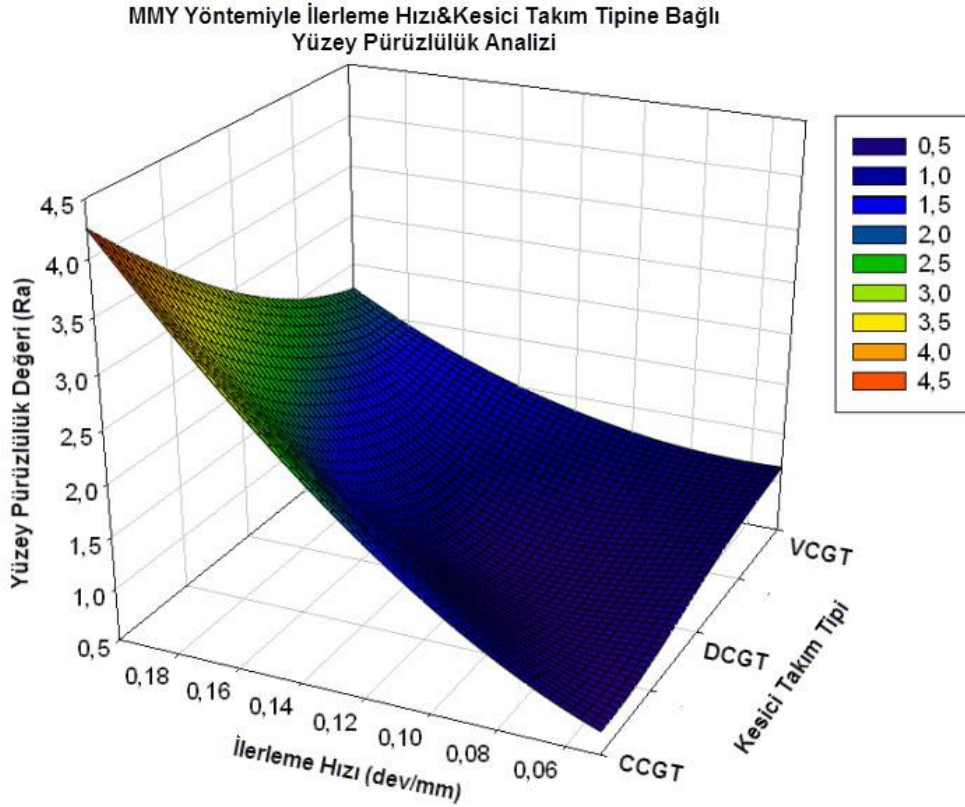
Deney sonuçlarında ortaya çıkan yüzey pürüzlülük değerleri MMY işleme şartlarında, talaş derinliği (mm) ve kesici takım tipi arasındaki ilişki Şekil 5.17’de gösterilmiştir.



Şekil 5.17. MMY işleme şartlarında talaş derinliği ve kesici takım tipine bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri

Şekil 5.17 incelendiğinde MMY işleme şartlarında talaş derinliği ve kesici takım tipi arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülük (R_a) sonuçları görülebilmektedir. Düşük talaş derinliklerinde CCGT ve DCGT kesici takımlardan elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri düşük olup, VCGT kesici takımlar ile yapılan deneylerde diğer 2 tipe göre daha yüksektir. CCGT kesici takımlarda talaş derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görülmüştür ve en yüksek pürüzlülük değeri bu kesici takım ile yüksek talaş derinliklerinde görülmüştür. VCGT serisi kesici takımlarda ise elde edilen pürüzlülük değerleri kesme hızının artmasıyla önce düşüş daha sonra yeniden artış göstermiştir.

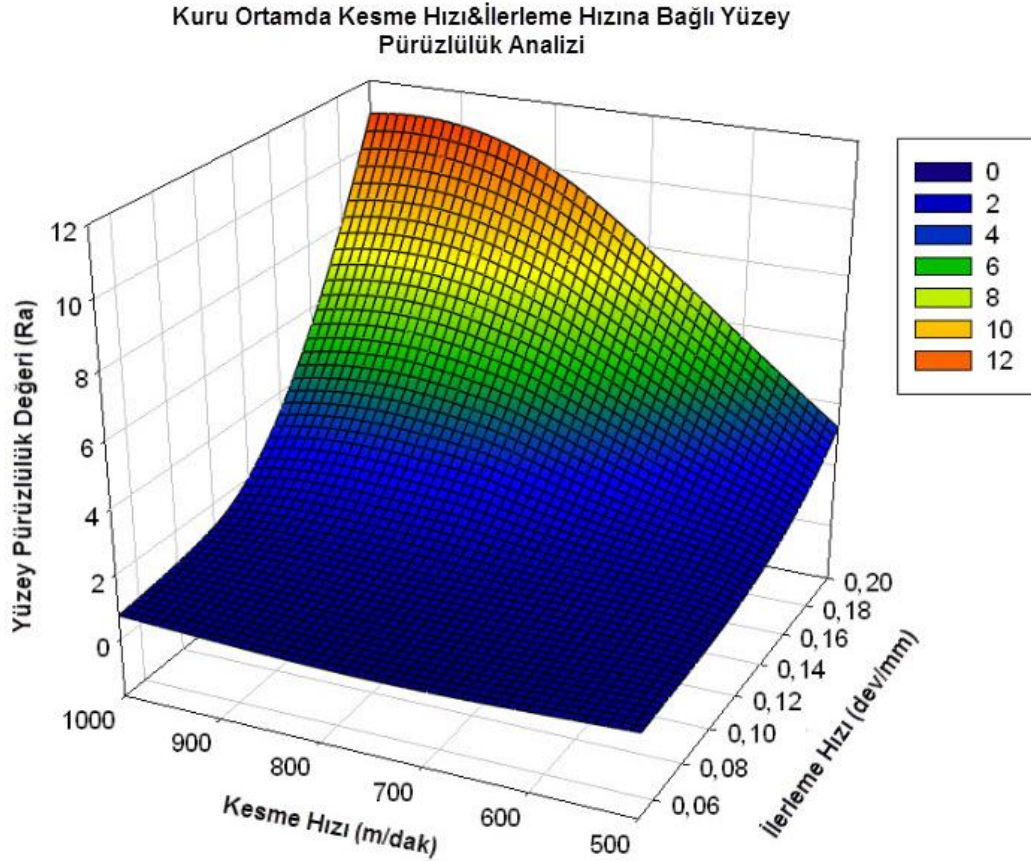
Deney sonuçlarında ortaya çıkan yüzey pürüzlülük değerleri MMY işleme şartlarında, ilerleme hızı (dev/mm) ve kesici takım tipi arasındaki ilişki Şekil 5.18’de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. MMY işleme şartlarında talaş derinliği ve kesici takım tipine bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri

Şekil 5.18 incelendiğinde MMY işleme şartlarında ilerleme hızı ve kesici takım tipi arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülük (R_a) sonuçları görülebilmektedir. Düşük ilerleme hızlarında CCGT, DCGT ve VCGT kesici takımlardan elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri düşüktür. CCGT kesici takımında bulunan sonuç en düşük değerdir. 3 kesici takımla da yapılan deneylerde ilerleme hızları arttıkça yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır fakat bu artış en çok CCGT kesici takımlarla yapılan deneylerde görülmüştür. En büyük yüzey pürüzlülük değeri CCGT kesici takımlarla 0,12 dev/mm hızında yapılan deneylerde bulunmuştur. En iyi yüzey profili VCGT takımlarla elde edilmiştir.

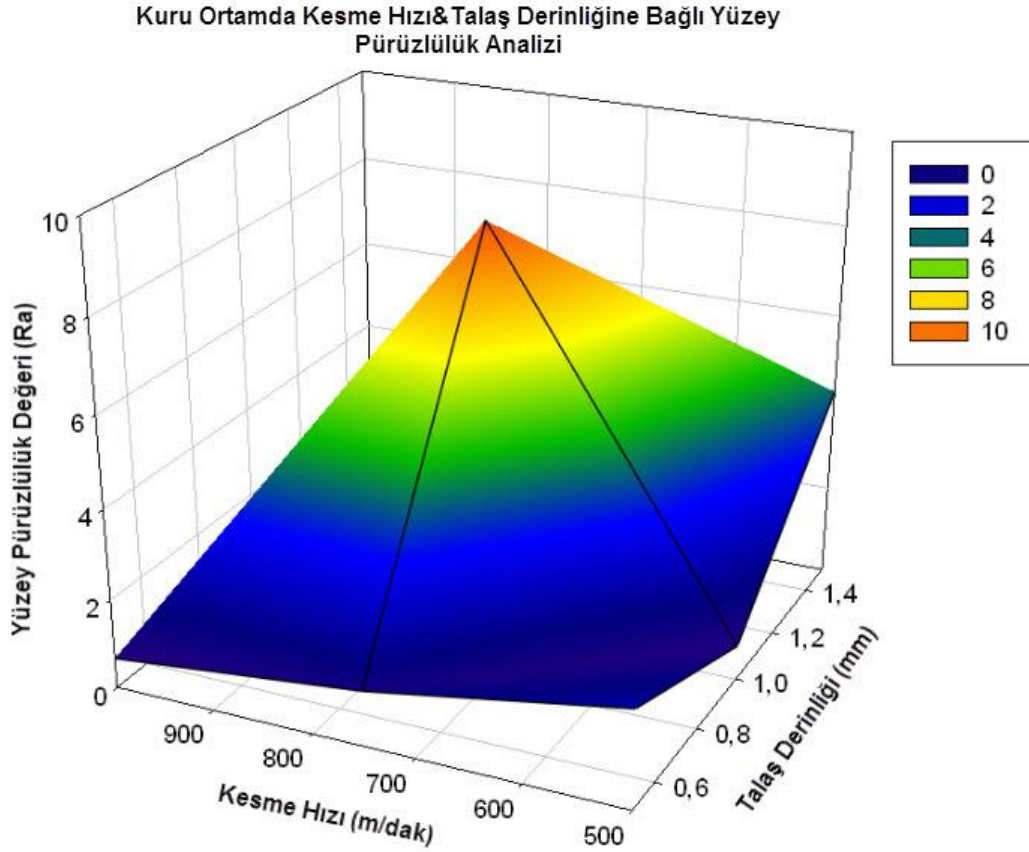
Deney sonuçlarında ortaya yüzey pürüzlülük değerleri kuru işleme şartlarında, kesme hızı (m/dk) ve ilerleme hızı (dev/mm) arasındaki ilişki Şekil 5.19’da gösterilmiştir.



Şekil 5.19. Kuru işleme şartlarında kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri

Şekil 5.19 incelendiğinde kuru işleme şartlarında kesme hızı ve ilerleme hızı arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülük sonuçları görülebilmektedir. AZ91D alaşımının, kuru işleme şartları altında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinin, 500, 750 ve 1000 m/dk kesme hızlarında 0,05 – 0,10 ve 0,20 dev/mm ilerleme hızlarındaki değerleri bulunmuştur. 500 ve 750 m/dk kesme hızlarında ilerleme hızı 0,05’ten 0,2 dev/mm’ye kadar arttırıldığında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır. 1000 m/dk kesme hızlarında 0,10 dev/mm ilerleme hızı değerinde yapılan deneysel çalışmada, kuru işleme şartlarında bulunabilecek en düşük yüzey pürüzlülük değeri bulunmuştur. İlerleme hızı düşük olduğu sürece kesme hızı artsa dahi düşük yüzey pürüzlülük değerleri bulunmuştur.

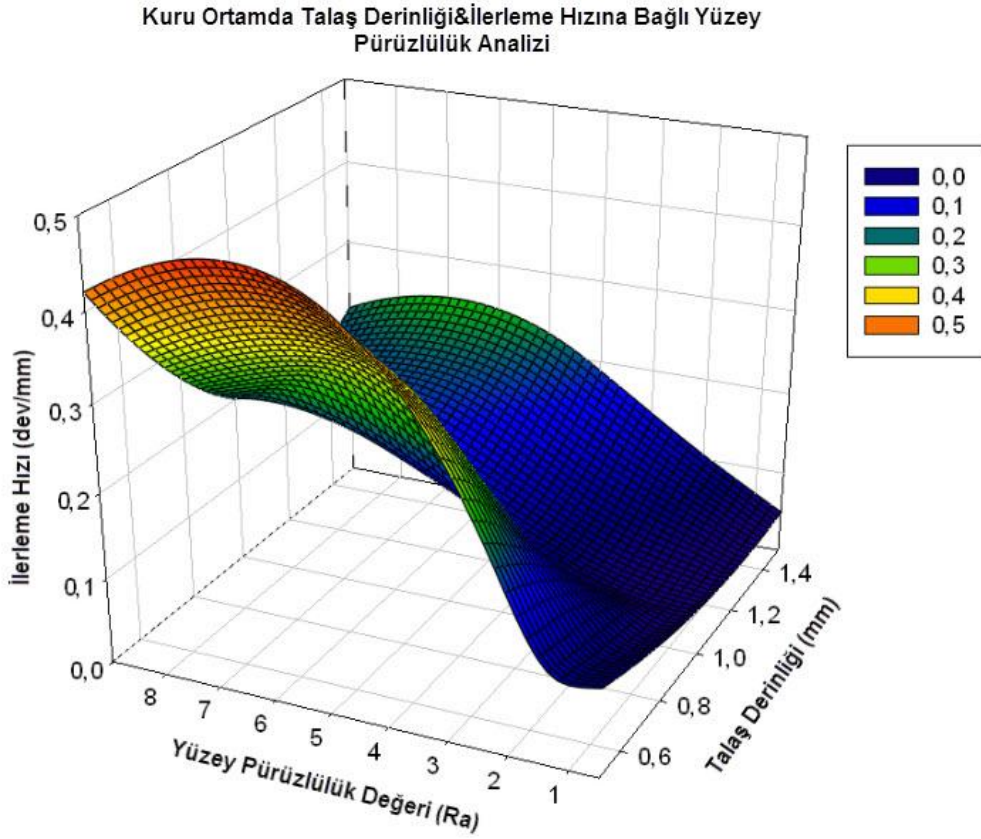
Deney sonuçlarında ortaya yüzey pürüzlülük değerleri kuru işleme şartlarında, kesme hızı (m/dk) ve talaş derinliği (mm) arasındaki ilişki Şekil 5.20’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20. Kuru işleme şartlarında kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri

Şekil 5.20 incelendiğinde kuru işleme şartlarında kesme hızı ve talaş derinliği arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülük sonuçları görülebilmektedir. AZ91D alaşımının, kuru işleme şartları altında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinin 500, 750 ve 1000 m/dk kesme hızlarında 0,5 – 0,1 ve 1,5 dev/mm talaş derinliklerindeki değerleri bulunmuştur. 1000 m/dk kesme hızında talaş derinlikleri 0,05 ve 1 mm iken düşük yüzey pürüzlülük değerleri bulunmuştur. Bu değerlere yakın yüzey pürüzlülük değeri 500 m/dk’lık kesme değerlerinde 1 mm talaş derinliğinde de bulunmuştur. En yüksek pürüzlülük değerleri 750 m/dk kesme hızında 1 mm talaş derinliğinde yapılan kesme deneylerinde görülmüştür.

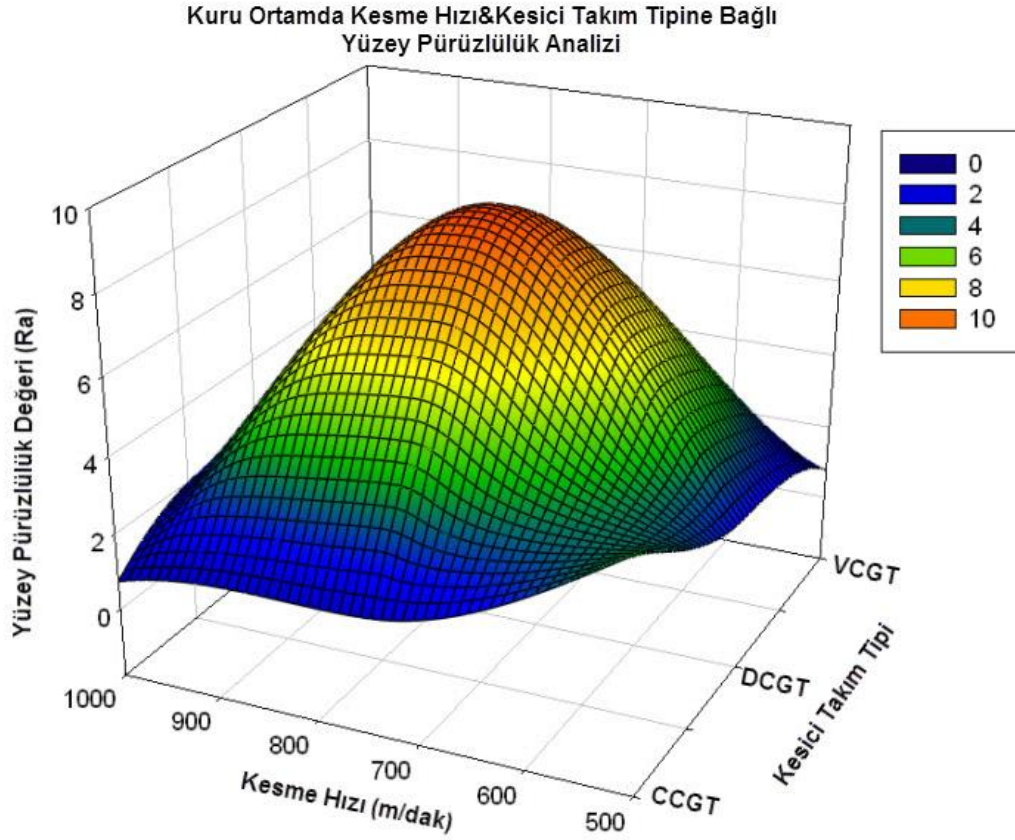
Deney sonuçlarında ortaya yüzey pürüzlülük değerleri kuru işleme şartlarında, talaş derinliği (mm) ve ilerleme hızı (dev/mm) arasındaki ilişki Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.21. Kuru işleme şartlarında talaş derinliği ve ilerleme hızına bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri

Şekil 5.21 incelendiğinde kuru işleme şartlarında kesme hızı ve talaş derinliği arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülük sonuçları görülebilmektedir. AZ91D alaşımının, kuru işleme şartları altında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinin 500, 750 ve 1000 m/dk kesme hızlarında 0,5 – 0,1 ve 1,5 dev/mm talaş derinliklerindeki değerleri bulunmuştur. 1000 m/dk kesme hızında talaş derinlikleri 0,05 ve 1 mm iken düşük yüzey pürüzlülük değerleri bulunmuştur. Bu değerlere yakın yüzey pürüzlülük değeri 500 m/dk’lık kesme değerlerinde 1 mm talaş derinliğinde de bulunmuştur. En yüksek pürüzlülük değerleri 750 m/dk kesme hızında 1 mm talaş derinliğinde yapılan kesme operasyonlarında görülmüştür.

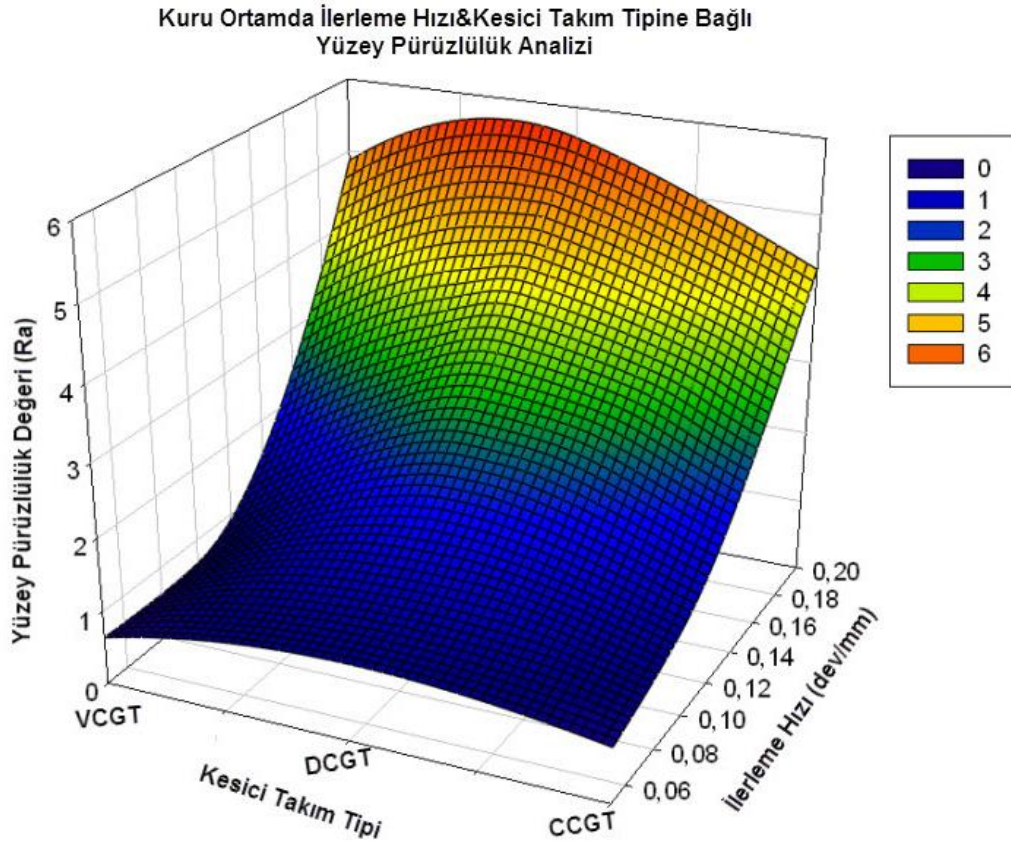
Deney sonuçlarında ortaya yüzey pürüzlülük değerleri kuru işleme şartlarında, kesici takım tipi ve kesme hızı arasındaki ilişki Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.22. Kuru işleme şartlarında kesme hızı ve kesici takım tipine bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri

Şekil 5.22 incelendiğinde kuru işleme şartlarında kesme hızı ve talaş derinliği arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülük sonuçları görülebilmektedir. Kuru işleme şartları altında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinin en düşük olduğu kesici takım VCGT olarak tespit edilmiştir. 500, 750 ve 1000 m/dk kesme hızlarında tamamında VCGT tipi kesici takım düşük yüzey pürüzlülük sonuçları vermiştir. DCGT kesici takımlar ile yapılan deneylerde ise 750 m/dak’lık kesme hızında en yüksek yüzey pürüzlülük sonucu elde edilmiştir. VCGT tipi 750 m/dak kesme hızında ise en düşük yüzey pürüzlülük sonuçları bulunmuştur.

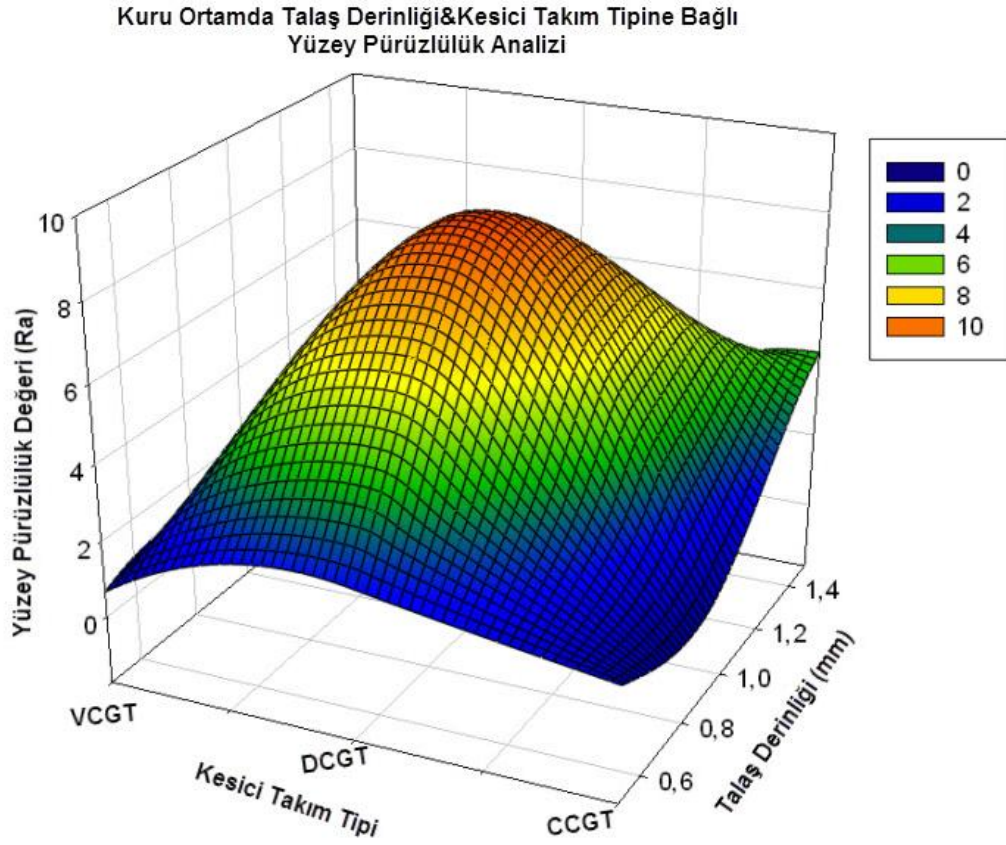
Deney sonuçlarında ortaya yüzey pürüzlülük değerleri kuru işleme şartlarında, kesici takım tipi ve ilerleme hızı arasındaki ilişki Şekil 5.23'te gösterilmiştir.



Şekil 5.23. Kuru işleme şartlarında kesme hızı ve kesici takım tipine bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri

Şekil 5.23 incelendiğinde kuru işleme şartlarında kesme hızı ve talaş derinliği arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülük sonuçları görülebilmektedir. Kuru işleme şartları altında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinin en düşük olduğu kesici takım VCGT olarak tespit edilmiştir. Özellikle 0,05 dev/mm ilerleme hızlarında en düşük değer bulunmuştur. İlerleme hız değeri arttıkça yüzey pürüzlülük değeri artmıştır. 0,2 dev/mm ilerleme hızlarında yüzey pürüzlülük değerleri yüksek çıkmıştır. DCGT kesici takımlar ile yapılan deneylerde 0,2 dev/mm ilerleme hızlarında en büyük yüzey pürüzlülük değeri görülmüştür.

Deney sonuçlarında ortaya yüzey pürüzlülük değerleri kuru işleme şartlarında, kesici takım tipi ve talaş derinliği arasındaki ilişki Şekil 5.24'te gösterilmiştir.



Şekil 5.24. Kuru işleme şartlarında talaş derinliği ve kesici takım tipine bağlı oluşan yüzey pürüzlülük değeri

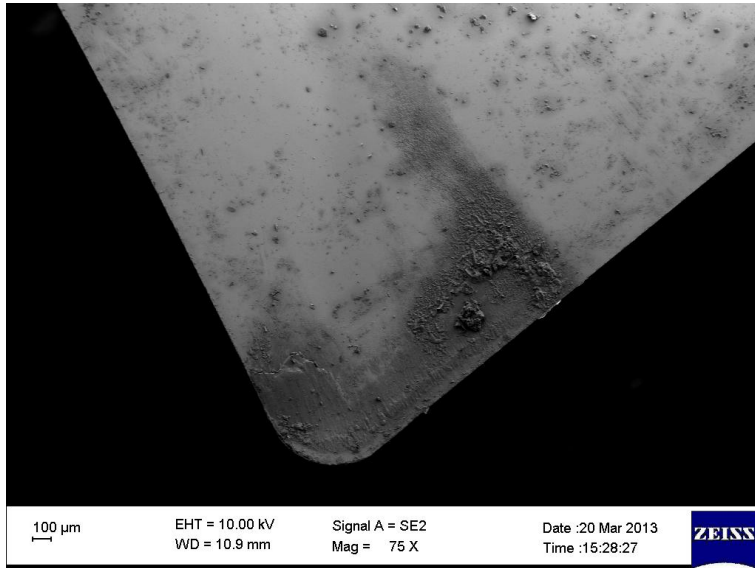
Şekil 5.24 incelendiğinde kuru işleme şartlarında kesme hızı ve talaş derinliği arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan yüzey pürüzlülük sonuçları görülebilmektedir. Kuru işleme şartları altında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinin en düşük olduğu kesici takım VCGT olarak tespit edilmiştir. DCGT kesici takımlarla elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri daha yüksek bulunmuştur. Talaş derinliği değeri arttıkça yüzey pürüzlülük değeri artmıştır.

5.2.3. Kesici uç incelemeleri

DCGT, CCGT ve VCGT kesici takım tipleriyle yapılan deneysel çalışmalarda kesici takımların SEM görüntüleri bölüm 4.8.9'da gösterilmiştir. Kesici takımlar üzerinde aşınmadan bahsetmek mümkün olmamakla beraber sıvanmalar ve yıgılmalar tespit edilmiştir. AZ91D alaşımının rakipleri olarak görülen alüminyum ve titanyum gibi hafif metaller karşılaştırıldığında takımlar üzerinde daha başarılı sonuçlar verdiği söylenebilir.

DCGT takımların incelenmesi

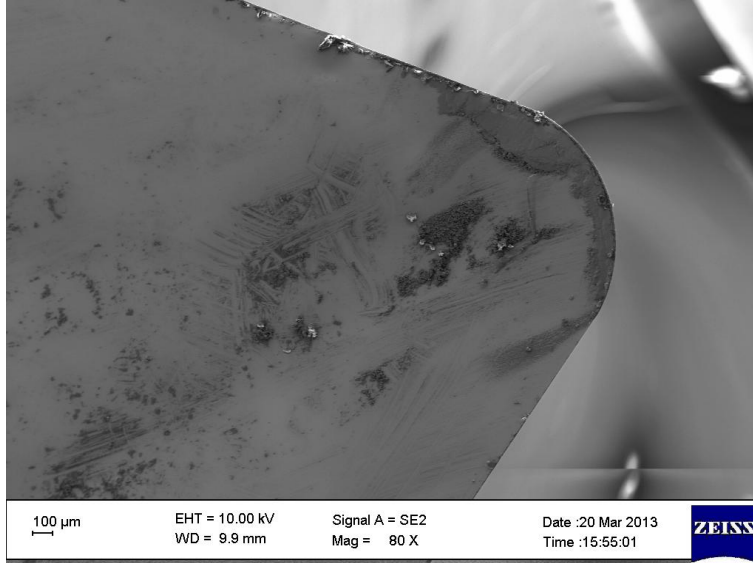
DCGT serisi kesici takımlarla yapılan deneyler sonrasında kesme bölgesinin SEM görüntüsü Resim 5.8'de gösterilmiştir. Talaş derinliği boyunca kesme anında takım üzerine yapışan AZ91D alaşımı da Resim 5.8 üzerinde görülebilmektedir.



Resim 5.8. DCGT kesici takımla deney sonrası takım ucu SEM görüntüsü

CCGT takımların incelenmesi

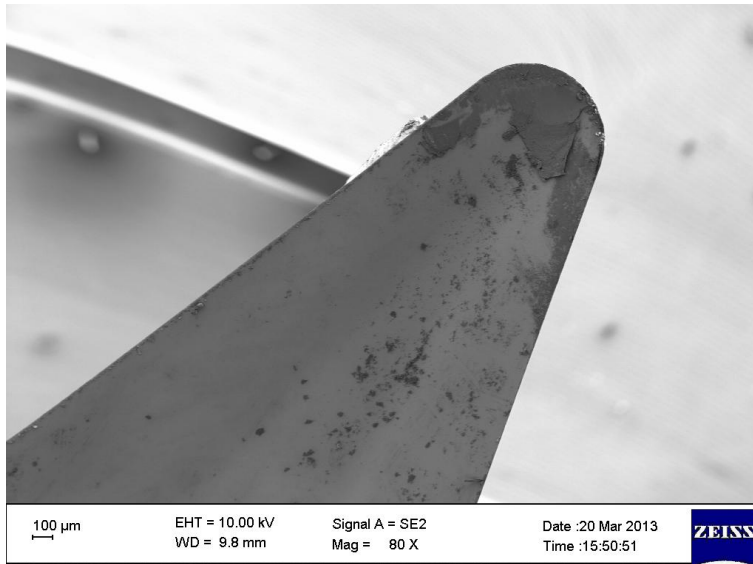
CCGT serisi kesici takımlarla yapılan deneyler sonrasında kesme bölgesinin SEM görüntüsü Resim 5.9'da gösterilmiştir. Talaş derinliği boyunca kesme anında takım üzerine yapışan AZ91D alaşımı da Resim 5.9 üzerinde görülebilmektedir.



Resim 5.9. CCGT kesici takımla deney sonrası takım ucu SEM görüntüsü

VCGT takımların incelenmesi

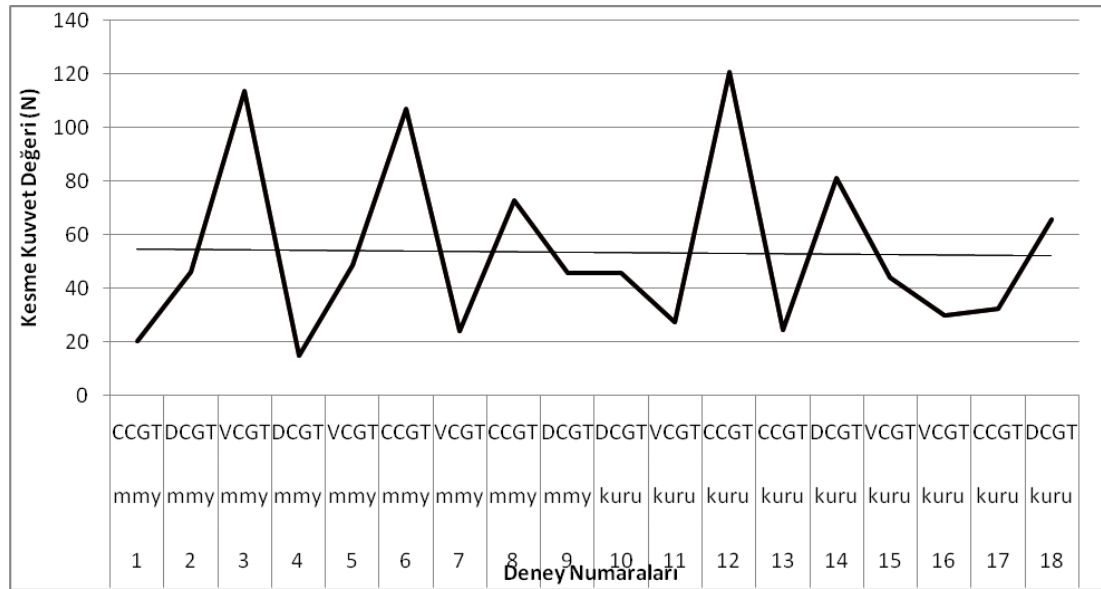
VCGT serisi kesici takımlarla yapılan deneyler sonrasında kesme bölgesinin SEM görüntüsü Resim 5.10’da gösterilmiştir. Talaş derinliği boyunca kesme anında takım üzerine yapışan AZ91D alaşımı da Resim 5.10 üzerinde görülebilmektedir.



Resim 5.10. VCGT kesici takımla deney sonrası takım ucu SEM görüntüsü

5.2.4. Kuru ve MMY yöntemiyle işleme değerleri

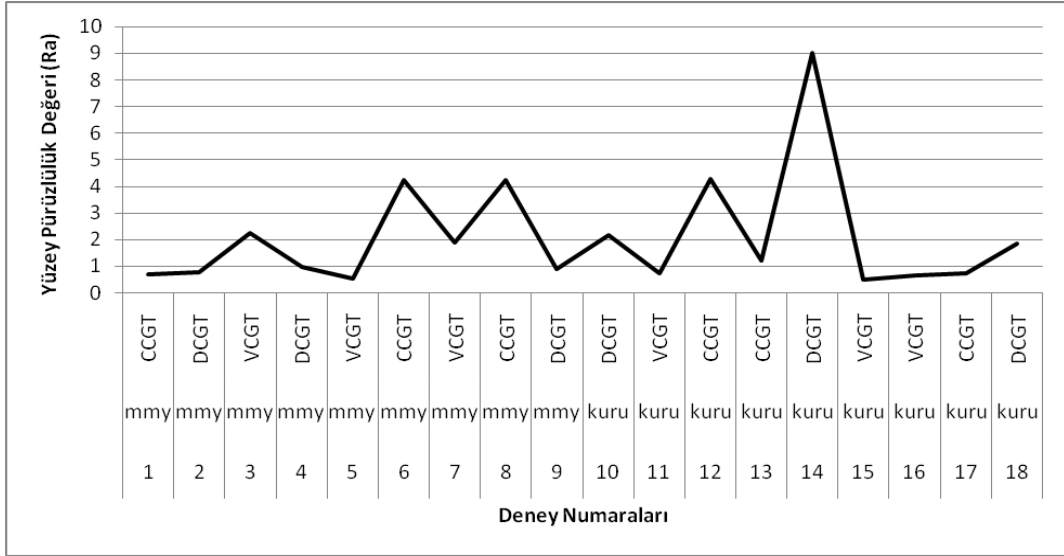
Deneysel çalışmanın yarısı kuru işleme diğer yarısı ise MMY yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde oluşan bileşke kuvvet değerleri birbirlerine yakınlık gösterirken yüzey pürüzlülük değerlerinde MMY yönteminde daha başarılı sonuçlar bulunmuştur. Deney sonrası ortaya çıkan kesme kuvvet değerleri incelendiğine kuru işleme için ortaya çıkan değer 54,64 N, MMY şartları altında ise 53,06 N olduğu görülmüştür. Tüm deneylerde ortaya çıkan kuvvet ise 53,43 N'dur. Gerçekleşen bu kuvvet değerleri Şekil 5.25'te verilmiştir.



Şekil 5.25. Kesme kuvvet değer grafiği

Kesme kuvveti değer grafiği incelendiğinde deney numaralarına göre elde edilen yüksek ve düşük kesme kuvvetleri görülebilmektedir.

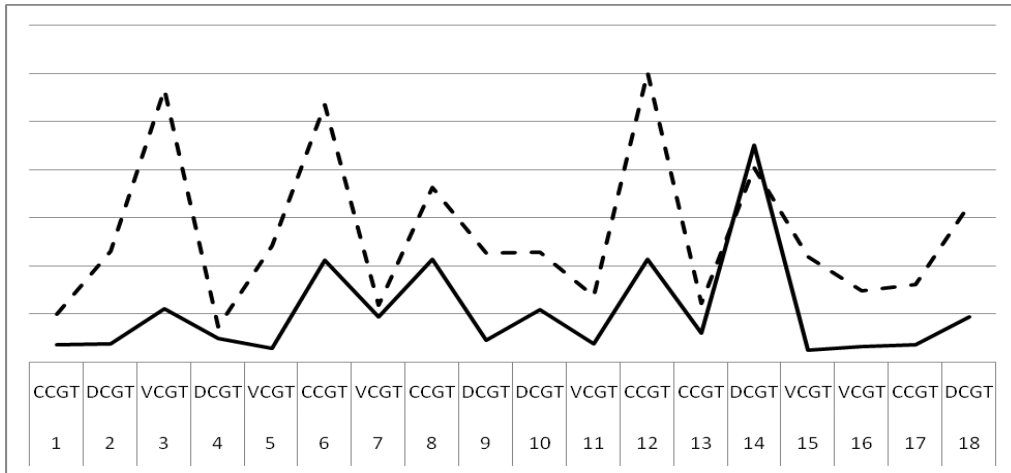
Yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde MMY ve kuru işleme olarak ayrı ayrı incelendiğinde MMY'de elde edilen sonuçların ortalaması 1,84 olarak tespit edilmiştir. Kuru işlemede ise bu değer ortalamasının 2,36 olarak tespit edilmiştir. Deney sonrası ortaya çıkan ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 2,10 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu değerlerin grafikleri Şekil 5.26'da gösterilmiştir.



Şekil 5.25. Yüzej pürüzlülük değer grafiği

Yüzej pürüzlülük değer grafiği incelendiğinde denej numaralarına göre elde edilen yüzej pürüzlülük değerleri görülebilmektedir.

Denejlerde elde edilen kesme kuvvetleriyle, yüzej pürüzlülük sonuçları karşılaştırmalı olarak incelendiğinde ortaya çıkan grafik Şekil 5.27’de gösterilmiştir. Her iki değer karşılaştırıldığında eğilimler de bir benzerlik olduğu görülmüştür.



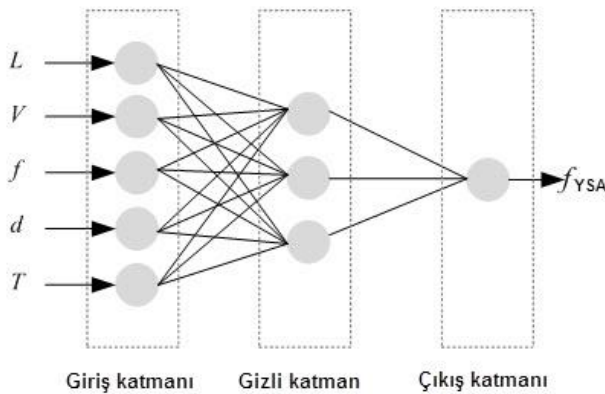
Şekil 5.27. Kesme kuvveti ve yüzej pürüzlülük sonuçları karşılaştırması

6. DENEY SONUÇLARININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Deneysel çalışmanın tamamlanması sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülük sonuçları Yapay Sinir Ağları ile optimize edilerek sonuçların tutarlılıkları karşılaştırılmıştır. YSA insan beynin sahip olduğu örenebilme yeteneği ve bu öğrendiklerinden yeni bilgiler türetebilmesine benzer yapıda oluşturulan bir sistemdir. YSA insan beyninin çalışma prensibinin taklit edilerek geliştirilmiştir. Çalışmanın bu kısmında YSA’da çok katmanlı bir model oluşturularak Levenberg–Marquardt (LM) algoritması kullanılmıştır [67, 68]. LM öğrenme algoritması çok kullanılan ve uygulamalarında başarılı olunan bir geri yayılım algoritmasının farklı öğrenme tekniklerindedir. Çalışma prensibi çok sayıda komşuluk fikri üzerine kuruludur ve en küçük kareler yaklaşım metodudur. Hızlı yakınsama özelliği LM’ye avantaj sağlamaktadır.

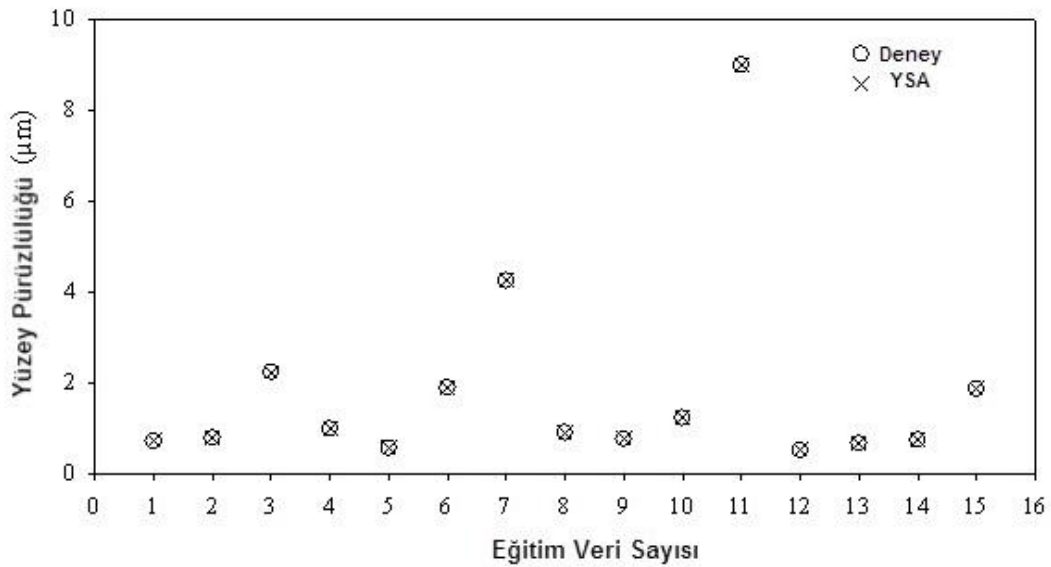
6.1. YSA’nın Eğitim Aşaması

YSA modeli elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerinin (R_a) çok katmanlı algılama mantığına uygun olarak oluşturulmuştur. Şekil 6.1’de oluşturulan YSA modeli 3 nörondan oluşan 1 gizli katman ve toplamda 3 layer ve toplamda 9 nörondan oluşmaktadır. Çalışmada YSA modeli AZ91D’de yüzey pürüzlülüğünün tahmini için uyarlanmıştır. Şekil 6.1’de gösterildiği üzere soğutma tipi (L), kesme hızı (V), ilerleme (f), talaş derinliği (d) ve kesici takım (T) ile belirtilmiştir.



Şekil 6.1. Yapay sinir ağlarında sistemin oluşturulması

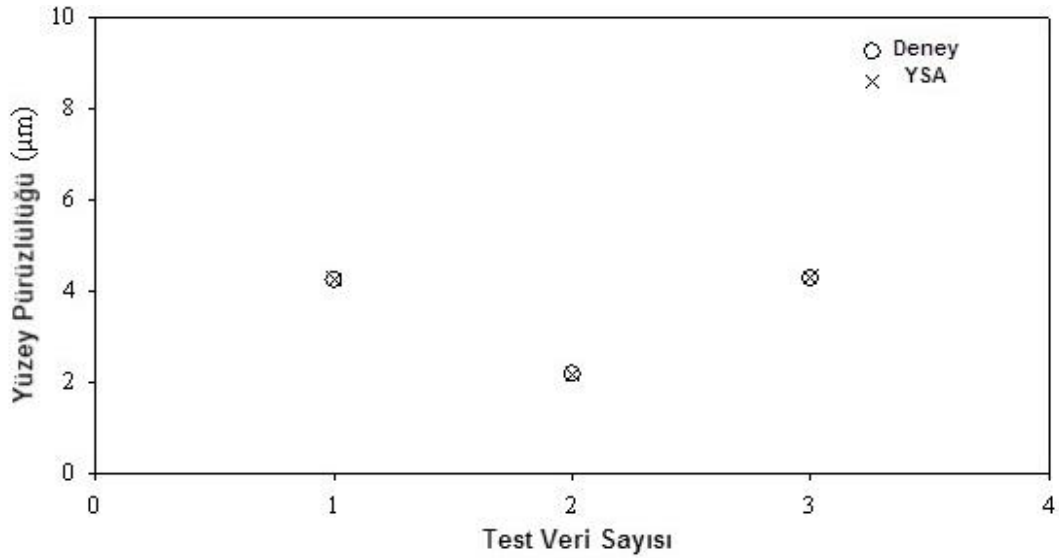
Bu değerler sistemde giriş katmanı olanı olarak belirtilmiştir. Bu değerler doğrultusunda gizli katmanda yer alan bilinmeyenlerin bilinmesi sağalanarak arzulan yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşılır. Deney tasarımında belirlenen ve tamamlanan 18 deney içinden 15'i YSA yapısında eğitim olarak kullanılırken geri kalan 3 deney ise test için kullanılmıştır. YSA yapısında LM algoritmasının eğitim için tercih edilmesi, sistemin hızlı öğrenmesini ve iyi yakınsama sonucu vermesini sağlamıştır. Eğitim için ayarlanan parametreler, epok sayısı, en küçük gradyan, momentum (μ), μ artış miktarı, μ azalma miktarı, maksimum μ ve rastgele seed değerleridir. Bu değerler sırasıyla 500, 10^{-10} , 0.0002, 8, 0.1, 10^{10} , 27275627 olarak ayarlanmıştır. Tanjant Sigmoid aktivasyon fonksiyonu giriş ve gizli katmanlar için kullanılmış olup Purelin fonksiyonu ise çıkış katmanında kullanılmıştır. YSA modelinin eğitim sonuçları ve deneysel çalışmanın sonuçları Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen veriler ile YSA'nın eğitiminden elde edilen sonuçların uyumu mükemmel düzeydedir. Eğitimde ortalama hata oranı ise %0,0000672'dir.



Şekil 6.2. Deneysel çalışma ile YSA eğitim karşılaştırması

6.2. YSA'nın Test Aşaması

YSA'nın eğitim sürecinin yapısı Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Test aşamasında, eğitim süreci sonrasında eğitim performansının testi yapılmaktadır. Buradaki amaç, 18 verinin içindeki 3 temsili verinin deneysel çalışma ile aynı sonuçları verip vermediğidir. Şekil 6.3'de YSA modelinin test sonuçları ile deneysel çalışma sonucu elde edilen aynı testlerin sonuçları karşılaştırılması gösterilmiştir. Şekil 6.3 bu sonuçların mükemmel düzeyde olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.3. Test sonuçlarının ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

Test sonuçları Çizelge 6.1'de gösterilmiştir. Çizelge 6.1'de YSA sonuçları ile deneysel çalışma sonuçları arasında iyi bir uyum olduğu gösterilmiştir. Rastgele seçilen 3 veri için YSA'da bulunan yüzey pürüzlülük sonuçlarının ortalama hatası %0,52 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.1. YSA'da bulunan yüzey pürüzlülük değerlerinin deneysel çalışma ile karşılaştırılması (hata %)

Parametreler					Yüzey Pürüzlülüğü (μm)		Hata (%)
L	V	f	d	T	Deneysel	YSA	
1,00	750,00	1,50	0,20	1,00	4,25	4,25	0,01
2,00	500,00	0,50	0,20	2,00	2,19	2,16	1,19
2,00	500,00	1,50	0,20	1,00	4,28	4,30	0,37
Ortalama (%)							0,52

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

AZ91D magnezyum alaşımlarıyla yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler bu kısımda yer almıştır.

- Deneysel Tasarım oluşturması, yapılması gereken deney sayılarını azaltmıştır. Deneysel sayılarının azaltılmasının getirileri ise zaman ve malzeme sarfiyatından elde edilen kazanımlardır. Magnezyum gibi ekonomik değeri yüksek olan malzemeler için bu çok daha önem kazanmaktadır. Deneysel çalışmaların başladığı süre içerisinde bu alaşımları elde etmek daha kolay iken son bir yılda bu üreticiler koymuş olduğu kotalar yüzünden magnezyum alaşımlarını temin etmek zorlaşmıştır ve fiyatları artmıştır. Klasik yöntemlerle yapılması gerek deney sayısı 108 iken Deneysel Tasarım yöntemlerinden Taguchi metoduna göre 18’de başarıya ulaşılmıştır. Toplamda 11 serbestlik derecesine sahip olan deneysel tasarım modeli 18 den küçük olduğu için uygulanabilir olmuştur. Bu yöntemle zaman ve malzeme sarfiyatı en aza indirilmiştir.
- AZ91D magnezyum alaşımının sertlik ölçüm değerleri çapta 78,75 HB kgf/mm^2 , kesilen yüzeyde 71,75 HB ve ters yüzeyde ise 76,25 HB’dir. V-Çentik Darbe Mukavemeti 2,45 J’dur.
- Deneysel ortaya çıkan kesme kuvveti değerlerinin ortalaması 53 N olarak tespit edilmiştir. Bu değer talaşlı imalatı yapılan bir metal için düşüktür. AZ91D’nin tornalanması esnasında görülen bu düşük kesme kuvveti değerleri kesici takım aşınmamasında önemli bir etkidir.
- En düşük ortalama kesme kuvveti değeri VCGT kesici takımlarla yapılan deneysel sonuçların ortalaması 47,8 N olarak tespit edilmiştir. Bu kesici takımla yapılan deneysel sonuçlarında 23,84 N gibi düşük kesme kuvveti değeri olmakla beraber 113,6 N gibi büyük bir değerde görülmüştür. Bu kesici takım üzerine düşen kuvvetlerin oluşmasında kesici

takım tipine ilave olarak diğer kesme parametreleri de etkili olduğu görülmüştür.

- Deneysel çalışmanın tamamında görülen en düşük kesme kuvveti değeri DCGT kesici takımla 4 numaralı deneyde 14,70 N olarak tespit edilmiştir. Fakat bu kesici takımla yapılan diğer deneylerde bulunan sonuçlar incelendiğinde en büyük kesme kuvveti dışındaki değerler 45 N civarında tespit edilmiştir. Bu kesici takımla elde edilen en büyük kesme kuvveti değeri ise 80,95N olarak bulunmuştur.
- CCGT kesici takımlarla yapılan deneylerde ise elde edilen kesme ortalama kuvveti değeri diğer 2 kesici takıma göre en yüksek olanıdır. Elde edilen değer 62,82 N'dur. Tüm deneyler içinde en yüksek kesme kuvveti değeri de 120,61 N ile bu kesici takımda görülmüştür. CCGT kesici takımlar, diğer kesme parametrelerde göz önüne alındığında en kötü performansı göstermiştir.
- Magnezyum alaşımlarının korozyon direncinin düşük olduğu daha önce yapılan araştırmalardan bilinmekteydi. Fakat AZ91D'nin tormalama işlemi sonrası ortaya çıkan oksitlenme durumu bilinmemekteydi. Deney öncesi ve sonrası yapılan ölçümlerde yüzeyde oksit tabakaları görülmüştür. AZ91D oda şartlarında dahi kolayca korozyona uğrayan bir malzemedir.
- AZ91D kuru işleme anında birçok söylendiği gibi ateş alıp yanmamıştır.
- Kesme kuvvetlerinin düşük olması, kesme anında ısının açığa çıkmaması kesici takım üzerinde deformasyon olmaması ve ortaya çıkan talaş tipleri göz önüne alındığında endüstriyel uygulaması mümkün görülmüştür.
- Belirlenmiş olan kesici takımlardan istenilen performans sağlanmıştır. Takım üzerinde uzun süreli kesme operasyonlarında ise kesici takım üzerinde sıvanma söz konusudur.
- Deney sonucunda elde edilen yüzey kaliteleri değerlendirildiğinde ortamla yüzey pürüzlülük değeri 2,1 Ra olarak bulunmuştur. Bu değer yüzey kalite sisteminde N7'ye denk gelmektedir. Kesici takım tiplerine göre incelendiğinde elde edilen en iyi yüzey ortalama değeri VCGT kesici takımlarla sağlanmıştır. Bu kesici takımla elde edilen değer 1,112 Ra'dır. Elde edilen en iyi yüzey kalite değeri ise 0,514 Ra, N5 olarak tespit edilmiştir

- VCGT kesici takımlarla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1,112 Ra olup yine tüm deneyler içersinde en düşük yüzey pürüzlülük değeri bu kesici takımla 0,514 Ra olarak bulunmuştur. Aynı kesici takımla 2,24 Ra değeri gibi bir değerin bulunması da yüzey pürüzlülüğü elde ederken diğer kesici parametrelerinde etkili olduğunu göstermektedir.
- DCGT kesici takımlarla elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 2,628 Ra olarak bulunmuştur fakat tüm deneyler içinde elde edilen en yüksek yüzey pürüzlülük değeri 9,01 Ra ile yine bu kesici takıma aittir.
- CCGT kesici takımlarda ise bulunan ortalama yüzey pürüzlülük değeri 2,58 Ra olarak bulunmuştur. Bu kesici takımla bir çok farklı değerlerde sonuçlar elde edilmiştir.
- Deneysel çalışmanın sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük sonuçları YSA ile modellenerek sonuçlar tahmin edilmiştir. Eğitim kısmında girilen deneysel çalışma sonuçları, tahmin kısmında tam uyum göstermiştir. YSA ile deney sonuçlarının tutarlı olması sonuçların istenilen doğrulukta yapıldığını da ispatlamıştır.
- Magnezyum alaşımlarının düşük korozyon dirençlerine sahip olmalarından dolayı deneysel çalışmada MMY yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemle yapılan deneylerde ortaya çıkan ortalama kesme kuvveti değeri 54,64 N ve yüzey pürüzlülük değeri 1,84 Ra'dır.
- Kuru işleme şartlarında yapılan deneylerde ise elde edilen sonuçlar, ortalama kesme kuvveti değeri 53,06 N ve yüzey pürüzlülük değeri 2,36 Ra olarak bulunmuştur.
- Kuru işleme ile MMY işleme tipi karşılaştırıldığında elde edilen kuvvet değerleri birbirlerine oldukça yakındır.
- Kuru işleme ve MMY işleme tipi karşılaştırıldığında elde edilen yüzey pürüzlülük değerinde MMY ile daha iyi yüzey elde edilmiştir.

7.2. Öneriler

- Denev düzeneğinin ayarlanması durumunda Yüksek Hızda kesme çalışması yapılabilir. 10.000 RPM üzerinde çalışmalar araştırılabilir.
- AZ91D alaşımının kimyasal özellikleri değiştirilerek dayanım gücü artırılıp, kesme parametrelerin araştırılabilir.
- Korozyon direncinin artırılarak daha iyi hale getirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Tönshoff H. K., Winkler J., “The influence of tool coatings in machining of magnesium”, *Surface and Coating Technology*, 94-95: 610-616 (1997).
2. Şık A., “Comparison between microstructure characteristics and joint performance of AZ31 magnesium alloy welded by tig and friction stir welding (fsw) processes”, *Kovové materiály - Metallic Materials*, 51 (3): 197-203 (2013).
3. Mendi, F., Başkal, T., Altunpak, Y., "Genetik algoritmayla kaynak alanı optimizasyonu", *Karaelmas Üniversitesi Teknoloji Dergisi*, 34 (65): 250-262 (2008).
4. Ertürk, İ., “Gazaltı kaynak yöntemleri”, *Gazi Üniversitesi ESEF*, Ankara, 1-4 (2010).
5. Kulekci, M. K., “Magnesium and its alloys applications in automotive industry”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39: 851-865 (2008).
6. Kim J. D., Lee K. B., “Surface roughness evaluation in dry-cutting of magnesium alloy by air pressure coolant” *Scientific Research Engineering*, 2: 788-792 (2010).
7. Fang F. Z., Lee L.C., Liu X. D., “Mean flank temperature measurement in high speed dry cutting of magnesium alloy” *Journal of Materials Processing Technology*, 167: 119-123 (2005).
8. Akyüz B., “Machinability of magnesium and its alloys” *The Online Journal of Science And Technology*, 1 (3): 31-38 (2011).
9. Cus F., Zuperl U., Gecevska V., “High-Speed milling of light metals” *Journal of Achievements in Materials And Manufacturing Engineering*, 20 (1-2): 419-422 (2007).
10. Kauppinen V., “High-speed milling – A new manufacturing technology”, *4th International DAAAM Conference Industrial Engineering Innovation as Competitive Edge for SME*, Tallinn, Estonia, 131-133 (2004).
11. Lü Y. Z., Wang Q. D., Ding W. J., Zeng X. Q., Zhu Y. P., “Fracture behavior of AZ91 magnesium alloy”, *Materials Letters*, 44: 265-268 (2000).
12. Aldarwish M. M., Shoeib M., Bakarar Y., “Corrosion fatigue of AZ91C” *Magnesium Alloy in Aqueous Solutions*, 42 (1): 164-171 (2010).

13. Li F., Wang Y., Chen L., Liu Z., Zhou J., “Low-cycle fatigue behavior of two magnesium alloys”, *Journal of Materials Science*, 40: 1529-1531 (2005).
14. Wang S. R., Geng H. R., Wang Y. Z., “Fabrication and machinability of Si₃N₄-Mg-Al-Zn (AZ91) composites”, *Materials Science and Technology*, 22 (2): 223-226 (2006).
15. Chen T. J., Ma Y., Li B., Li Y. D., Hao Y., “Effects of processing parameters on wear behaviours of thixoformed AZ91D magnesium alloys”, *Materials and Design*, 30: 235-244 (2009).
16. An J., Li R. G., Lu Y., Chen C. M., Xu Y., Chen X., Wang L. M., “Dry sliding wear behavior of magnesium alloys”, *Wear*, 265 (1-2): 97-104 (2008).
17. Bhowmick S., Lukitsch M. J., Alpas A. T., “Dry and minimum quantity lubrication drilling of cast magnesium alloy (AM60)”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 50: 444-457 (2010).
18. Gariboldi E., “Drilling a magnesium alloy using pvd coated twist drills”, *Journal of Materials Processing Technology*, 134: 287-295 (2003).
19. Mohd Ruzi H, Norhamidi M, Abu Bakar S, Khairur R.J, Nor Hafiez M.N, Sufizar A, Mohd Halim I.I, Murtadhahadi, “A review of workability of wrought magnesium alloys” *Advanced Manufacturing Research Group’09 Seminar 3*, Malaysia, 1-15 (2009).
20. Lee A S., Chena Y. H., Wangb J.Y., “Isothermal sheet formability of magnesium alloy AZ31 and AZ61”, *Journal of Materials Processing Technology*, 124: 19-24 (2002).
21. Maki S, Harada Y., Makino H., “Mushy state forming of magnesium alloy making use of resistance heating ”, *Material Science Forums*, 419-422: 387-392 (2003).
22. Kohzu M., Yoshida F., Higashi K., “Evaluation of press formability in magnesium alloys”, *Materials Science Forum*, 419-422: 321-326 (2003).
23. Takahashi H., Oishi Y., Wakamatsu K., Kawabw N., “Tensile properties and bending formability of drawn magnesium alloy pipes”, *Material Science Forums*, 419-422: 345-348 (2003).
24. Zhang Z., Couture A., “An investigation of the properties of Mg-Zn-Al alloys”, *Scripta Materialia*, 39 (1): 45-53, (1998).
25. Men H., Hu Z. Q., Xu J., “Bulk metallic glass formation in the Mg-Cu-Zn-Y system”, *Scripta Materialia*, 46: 699-703 (2002).

26. Trojanova Z., Lukac P., “Compressive deformation behavior of magnesium alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163: 416-421, (2005).
27. Spigarelli S., Ciccarelli D., Evangelista E., “Compressive deformation of an Mg-Al-Si-RE alloy between 120 and 180 °C”, *Materials Letters*, 58: 460- 464 (2004).
28. Ogawa N., Shiomi M., Osakada K., “Forming limit of magnesium alloy at elevated temperatures for precision forging”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42: 607-614 (2002).
29. Yoshihara S., Mac Donald B., Hasegawa T., Kawahara M., Yamamoto H., “Design improvement of spin forming of magnesium alloy tubes using finite element”, *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154: 816-820 (2004).
30. Yoshihara S., Yamamoto H., Manabe K., Nishimura H., “Formability enhancement in magnesium alloy deep drawing by local heating and cooling technique”, *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144: 612-615 (2003).
31. Yoshihara S., Nishimura H., Yamamoto H., Manabe K., “Formability enhancement in magnesium alloy stamping using a local heating and cooling technique: circular cup deep drawing process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 142: 609-613 (2003).
32. Hamana D., Boucheur M., Derafa A., “Effect of plastic deformation on the formation and dissolution of transition phases in Al-12 wt.% Mg alloy”, *Materials Chemistry and Physics*, 57: 99-110 (1998).
33. Gennari F.C., Castro F.J., “Formation, composition and stability of Mg–Co compounds”, *Journal of Alloys and Compounds*, 396: 182-192 (2005).
34. Lai M.O., Lu L., Chung B.Y., “Formation of Mg-Al-Ti/MgO composite via reduction of TiO₂”, *Composite Structures*, 57: 183-187 (2002).
35. Chen F. K., Huang T. B., “Formability of stamping magnesium-alloy AZ31 sheets”, *Journal of Materials Processing Technology*, 142: 643-647 (2003).
36. Takuda H., Yoshii T., Hatta N., “Finite-element analysis of the formability of a magnesium-based alloy AZ31 sheet”, *Journal of Materials Processing Technology*, 89- 90: 135-140 (1999).

37. Tegenkamp C., Michailov M., Wollschlager J., Pfnur H., “Growth and surface alloy formation of Mg on Ag 100”, *Applied Surface Science*, 151: 40-48 (1999).
38. Iwanaga K., Tashiro H., Okamoto H., Shimizu K., “Improvement of formability from room temperature to warm temperature in Az-31 magnesium alloy”, *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156: 1313-1316 (2004).
39. Atalay, O., “Magnezyum ve alaşımlarının konstrüksiyon malzemesi olarak otomotivde kullanımı” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 33-37 (2006).
40. Şık, A., “Otomobil saclarının MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 38-46 (2002).
41. Zeytin, H. K.; Magnezyum Alaşımları: Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği”, *Marmara Araştırma Merkezi*, Gebze Kocaeli, (1999).
42. Buldum, B., Şık, A., Özkul, İ., “Investigation of magnesium alloys machinability” *International Journal of Electronics Mechanical and Mechatronics Engineering*, 2 (3): 261-268 (2012).
43. Kimura, K., Nishii, K., Kawarada, M., “Recycling magnesium alloy housings for notebook computers”, *Fujitsu Science Technology Journal*, 38 (1): 102-111 (2002).
44. Czerwinski, F., “Magnesium injection molding”, *Husky Injection Molding Systems Ltd. Springer Science&Business Media*, 1-545 (2008).
45. H. E. Friedrich, B. L. Mordike, “Magnesium technology: metallurgy, design data, applications”, *Verlag Berlin Heidelberg*, 278-292 (2006).
46. Günay, M., “Toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş Al-Si/SiC_p kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 106–107 (2009).
47. Morehead, M.D., “Machinability and microstructure stability during the machining of pure copper and titanium processed by equal channel angular pressing”, MSc, Thesis, *Clemson University*, Clemson, 10-11 (2007).
48. Motorcu, A. R., “Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1, (2006).

49. Şahin, Y., “Talaş kaldırma prensipleri-1”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 335-346 (2000).
50. Çakır, C., “Modern talaşlı imalatın esasları”, *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları*, Bursa, 140: 1-110 (1999).
51. Coromant, S., “Modern metal cutting- a practical handbook”, English Edition, *Sandvik Coromant*, Sweden, I-III: 35-120 (1994).
52. Özçatalbaş, Y., “1050, 4140 ve 8620 Çeliklerinin ısı ilemele değişen mikroyapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlikleri” Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 25-26 (1996).
53. DeGarmo, E. P., Black, J. T., and Kohser, R.A., “Materials and processes in manufacturing”, *8th Edition, Prentice-Hall*, USA, 88-92 (1997).
54. S. J. Ojolo, O. Awe, “Investigation into the effect of tool-chip contact length on cutting stability”, *JETEAS*, 2-4: 626-630 (2011).
55. E. O. Ezugwu, “Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys, international”, *Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1353-1367 (2005).
56. Sur, G., “Karma takviyeli alüminyum matriksli kompozitlerin üretimi mekanik özellikler ve işlenebilirliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 100-102 (2008).
57. Topal, E., S., Çoğun, C., Odabaş D., “Tornalama işleminde kesme kuvvetlerini ölçen gerinim ölçer esaslı dinamometre tasarımı ve imalatı”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26 (2): 190-202 (2010).
58. Kurt, A., Şeker, U., “Kesici takım gerilmelerinin sonlu elemanların metodu kullanılarak incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20 (4): 491-497 (2005).
59. Hicks, R.C., “Deney düzenlemede istatistiksel yöntemler”, Çeviri Editörü, Muluk, Z., Toktamış, Ö., Kurt, S. ve Karaağaoğlu, E., *Akademi Matbaası*, Ankara, 1-10 (1985).
60. Muluk, Z., Saraçbaşı, T., Aktaş, S. ve Başar, Ç., “Taguchi üzerine araştırma”, 94K120340/2 nolu DPT Projesi, *Devlet Planlama Teşkilatı*, Ankara, 71-80 (1998).
61. Montgomery, D. C., “Design and analysis of experiments”, 5th Edition, *John Wiley, Wiley & Sons*, New York, 1-19 (2001).

62. Yang W. H., Tarn Y. S., “Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi Method”, *Journal of Materials Processing Technology*, 84: 122- 129 (1998).
63. Gökçe, B., Taşgetiren S., “Kalite için deney tasarımı”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1): 71-83 (2009).
64. Ross, P. J., “Taguchi techniques for quality engineering, loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design”, *McGraw-Hill International Book Company*, 167-202 (1996).
65. Güral, G. “Gazaltı kaynağında proses parametrelerinin optimizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir , 18-22 (2003).
66. Koç, M., L., Balas, C. E., Arslan A., “Taş dolgu dalgakıranların yapay sinir ağı ile ön tasarımı”, *İMO Teknik Dergi*, 225: 3351-3375 (2004).
67. Kayabaşı, A., Biçer, M., B., Akdağlı A., Topktaş A., “UHF bandında çalışan H şekilli kompakt mikroşerit antenlerin rezonans frekansının yapay sinir ağı kullanılarak hesaplanması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (4): 833-840 (2011).
68. Gavin, H., “The levenberg-marquardt method for nonlinear least squares curve-fitting problems”, *Department of Civil and Environmental Engineering Duke University*, 1-2 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : BULDUM, Berat Barış
 Uyuğu : T.C
 Doğum tarihi ve yeri : 23.05.1979 Tarsus
 Telefon : 0 (324) 361 00 01
 Belgegeçer : 0 (324) 361 02 08
 e-posta : bbuldum@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Eğt.	2006
Lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Eğt.	2003
Lisans	İ. Aydın Üniversitesi/ Makine Müh.	2013
Lise	Mersin I. Anadolu Teknik Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012	Mersin Üni. MEİTAM Kalibrasyon	Lab. Sorumlu
2006-2012	Mersin Üni. Tarsus MYO	Öğr. Gör.
2003-2006	Gazi Üniversitesi	Öğr. Elm. (ücretli)

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Buldum, B., Şık, A., Özkul, İ., "Investigation of magnesium alloys machinability" *International Journal of Electronics Mechanical and Mechatronics Engineering*, 2 (3): 261-268 (2012).

2. Buldum, B., Eşme, U., Kulekci, M. K., Şık, A., "Use of Grey-Taguchi Method for the Optimization of Oblique Turning Process of AZ91D Magnesium Alloy", *Materials Testing*, 59 (11-12): 779-785 (2012).
3. Buldum, B., Şık, A., Ertürk, İ., "Tıg ve sürtünme karıştırma kaynağı (skk) ile birleştirilen magnezyum levhaların eğme yorulma dayanımının incelenmesi", *23-25 Mayıs Teknik Eğitim Kaynak Kongre ve Sergisi*, Ankara, 214-217 (2010).
4. Buldum, B., Külekci, K., "Uygulama: kaynak teknolojileri uygulamalarından: mikro kaynak ve yeni teknolojilerde uygulama alanları", *Mühendis ve Makina Dergisi*, 610: 10 (2010).
5. Buldum, B. B., Külekci, M. K., Büyükakkılı, K., Kırıtöğlü, C., Eskidemir, İ.H., "Tarsus meslek yüksekokulunda verilen öğrenci danışmanlığı eğitim-öğretim ve idari hizmetlerinin ölçülmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi" *UMYOS'2009*, Konya (2009).
6. Buldum, B. B., Külekci, M. K., "Mersin bölgesinde kurulu olan fotovoltaik sistemlerde güneş takip sistemlerinin tasarımı" *Mersin Sempozyumu 2008*, Mersin, 346-352 (2008)
7. Buldum, B.B., "Mersin ilinin güneş enerjisi potansiyelinin iktisadi faydaları", *Mersin SMMMO Mali Ufuklar*, 76-81 (2009)
8. Buldum, B. B., Külekci, M. K., "Mersin ilinin güneş enerjisi potansiyeli ve mevcut durumu", *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008*, 385-393, İstanbul (2008).
9. Gülesin, M., Güllü, A., Buldum, B. B., "Makina teknolojileri için birimler, formüller ve çizelgeler", *Seçkin Yayıncılık*, Ankara (2003).
10. Buldum B. B., Güllü A., Üçtaşlı M. B., "Dental restoratif materyallerin yorulma ve kırılma dayanıklılığını test eden plc kontrollü okluzal yükleme makinasının tasarımı ve imalatı", *4th International Advanced Technologies Symposium*, Konya, Turkey (2005).